



Lentorobotit sähköverkon tarkastuksissa

2014

V1.0

Jouko Tervo

Sisällysluettelo

TIIVISTELMÄ

1	JOHDANTO	6
2	SELVITYKSEN TAUSTAT, TAVOITTEET JA TEKOTAPA.....	8
2.1	Selvityksen taustaa.....	8
2.2	Selvitykselle asetetut tavoitteet	8
2.3	Työn toteutustapa.....	10
2.4	Projektin ohjausryhmä ja resurssit	11
2.5	Raportin linkit ja kuvat.....	11
3	SÄHKÖVERKKOYHTIÖIDEN TARPEET ILMAHAVAINNOINTIIN	12
3.1	Suurhäiriön tilannekuvan muodostaminen	12
3.2	Kunnossapitoa vaativien kohteiden havaitseminen määräaikaistarkastuksissa.....	12
3.3	Verkoston suunnitteluun liittyvät ilma- ja satelliittikuvat, laserkeilausaineisto sekä kartat	13
3.4	Muu helikoptereiden käyttö	15
4	ILMAKUVAUKSET JA ETÄHAVAINNOINTI.....	17
4.1	Yleistä ilmakuvauksista.....	17
4.2	Eri korkeusvyöhykkeiden hyödyntäminen ilmahavainnoissa	19
4.3	Näköalueen kamerat (RGB-kamerat).....	21
4.4	Laserkeilaus	25
5	ILMAILULAINSÄÄDÄNTÖ JA LENTOTOIMINNAN EDELLYTYKSET.....	30
5.1	Yleistä ilmailun sääntelystä ja toimintamallista	30
5.2	Kansainväliset ja kansalliset sopimukset ja lainsäädäntö.....	30
5.3	Ilmatilan rakenne	32
5.4	Lentäminen valvomattomassa ilmatilassa	35
5.5	Lentäminen valvotussa ilmatilassa.....	35
5.6	Lentosuunnitelma ja ilmailukartat.....	36
5.7	RPAS-koulutus	37
5.8	Tarkastuslentotoiminnassa tarvittavat luvat ja kelpuutukset	37
5.9	Toiminnan vakuutukset.....	38
6	LENTOROBOTTIEN OMINAISUUDET, SUORITUSKYKY JA SOVELTUVUUS.....	
	LENTOTARKASTUKSIIN.....	39
6.1	Ilma-alusten rakenneratkaisuja	39
6.2	Ilma-alusten ominaisuuksista ja voimanlähteistä.....	40

6.3	Lentorobottien suorituskykyvertailu	42
6.4	Lentorobottien turvallisuusjärjestelmät ja ominaisuudet	42
7	LENTOROBOTTIEN NAVIGOINTI JA OHJAUS	44
7.1	Operointi valvomattomassa ilmatilassa	44
7.2	Operointi valvotussa ilmatilassa	47
7.3	Kauko-ohjauksen viestintä ja käytettävät radiotaajuudet	48
8	LENTOTARKASTUSPALVELUT JA NIIDEN KEHITYSNÄKYMÄT	50
8.1	Lentoyritystoiminta Suomessa sähköverkkoyhtiöiden kannalta	50
8.2	Ilmakuvaus- ja laserkeilauspalvelut ja markkinatilanne	50
8.3	Lentokartoitustoiminnan kehittäminen lentorobotteja hyödyntäen	51
9	LENTOTARKASTUSTEN KUSTANNUKSET JA POTENTIAALI	53
9.1	Lentotarkastusten kustannuksista miehitetyillä helikoptereilla	53
9.2	Lentorobottien käyttömahdollisuudet ja kustannussäästöpotentiaali	53
10	VERTAILUA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ	55
10.1	Lentorobottien ja perinteisten miehitettyjen helikopterien vertailua	55
10.2	Lentorobottien hyödyntämispotentiaali nopealla aikataululla	56
10.3	Lentorobottien hyödyntämispotentiaali tulevaisuudessa	56
10.4	Kehittämisehdotuksia ja suosituksia	56
11	LYHENTEITÄ JA TERMEJÄ	58
	TIETO- JA LÄHDELUETTELO	
	LIITTEET	

LENTOROBOTIT SÄHKÖVERKON TARKASTUKSISSA

TIIVISTELMÄ

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

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

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

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

Vauhdilla kehittyvien miehittämättömien ilma-alusten käytöllä odotetaan saavutettavan pitkälle samat hyödyt kuin miehitetyillä helikoptereilla, mutta oleellisesti edullisempaan hintaan. Miehittämättömien ilma-alusten odotetaan tulevaisuudessa pitkälle korvaavan miehitetyt helikopterit verkoston vikapartiointiin sekä säännölliseen kunnossapitoon liittyvissä tarkastuslennoissa. Energiateollisuus ry pitää erittäin myönteisenä keveiden miehittämättömien ilma-alusten sektorilla tapahtuvaa nopeaa teknistä kehitystä ja on halunnut osaltaan tukea niiden soveltuvuuden selvittämistä verkkoyhtiöiden tarpeisiin.

Työn alkuosassa on tietohakujen, asiantuntijatapaamisten ja laaja-alaisten haastattelujen avulla selvitetty sähköverkkoyhtiöiden vaatimuksia tarkastuslentojen suhteen, kartoitettu julkisista lähteistä saatavissa olevaa materiaalia sekä perehdytty ilmakuvauksen ja muun ilmahavainnoinnin tekniikkaan ja rajoituksiin.

Luvussa 5 perehdyttiin ilmailun lainsäädäntöön ja maallikolle sangen monimutkaiseen ilmatilamme rakenteeseen ja varauskäytäntöön. Ilmailulainsäädännön todettiin olevan miehittämättömien ilma-alusten kannalta hyvin rajoittavaa ja vanhentunutta. Tällä hetkellä Euroopan unionissa käytetty ja kansallinen täydentävä ilmailulainsäädäntö mahdollistaa erittäin huonosti miehitettyjen ilma-alusten tehokkaan käytön erityisesti siviili-ilmailussa. Sääntelyn tulisi mahdollistaa riittävän pitkät yhtäjaksoisesti lennettävät, suoran näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvat lennot, joissa navigointi on toteutettu pitkälle automaattisin navigointijärjestelmien avulla. Lentoturvallisuuden kannalta oleellista on häiriöttömien ja laadukkaiden ohjaus- ja viestintätaajuuksien saatavuus, jossa on selviä puutteita. YK:n alainen tietoliikennejärjestö ITU on osoittanut kansainvälisesti taajuudet ainoastaan suoralla näköyhteydellä tapahtuvaan lentotoimintaan. Pitkiä, näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvia lentoja varten tarvitaan kipeästi taajuuksia selkeyttämään valmistajakohtaisten ratkaisujen sekavuutta. Positiivista on kuitenkin poliitikkojen ja viranomaisten ilmaisema tahotila, jossa miehittämättömät ilma-alukset halutaan integroida kiinteäksi osaksi ilmailutoimintaa.

Luvuissa 6 ja 7 on käsitelty lentorobottien käyttöä ja navigointia erityisesti verkoston tarkastuslentojen kannalta. Johtopäätös on, että miehittämättömät ilma-alukset soveltuvat teknisesti sähköverkkoston, sekä myös yhteiskunnan muun huoltovarmuus kriittisen infrastruktuurin tarkastuksiin jo nykyisellä suorituskyvyllä. Lennot voidaan tehdä pääosin matalalla, alle 150 metrin korkeudella niin sanotussa valvomattomassa ilmatilassa ja turvallisesti häiritsemättä muuta ilmaliikennettä.

Luvussa 8 on tarkasteltu lentotarkastuspalvelujen saatavuutta ja kehitysnäkymiä. Luonnollisia palvelutuottajia olisivat nykyiset lentoliiketoiminnanharjoittajat tai erikoistuneet palvelutuottajat. Seuraavaksi on tarkasteltu lentotoiminnan kustannuksia niin miehitettyjen kuin miehittämättömienkin ilma-alusten osalta. Miehittämättömät ilma-alukset eivät voi vielä menetyksellisesti kilpailla suurhäiriötilanne- ja pitkän matkan tarkastuslennoissa miehitettyjen helikoptereiden kanssa, mutta aika on uuden teknologian puolella.

Luvussa 10 esitetään miehitettyjen ja miehittämättömien ilma-alusten yhteenvetovertailu sekä arvioidaan miehittämättömien ilma-alusten käytön mahdollisuuksia verkkoyhtiöiden lentotarkastuksissa sekä nopealla aikataululla että myöhemmin muutaman vuoden aikaperspektiivillä. Näköyhteydellä tehtävissä tarkastus- ja kuvauslennoissa miehittämättömät ilma-alukset ovat erittäin kilpailukykyisiä jo tänä päivänä. Pitkää lentomatkaa edellyttävissä tehtävissä miehitetyt helikopterit ovat pääasiainen valinta vielä muutamia vuosia.

Lisäksi kirjoittaja on koonnut viimeiseen lukuun muutamia suosituksia ja toimenpide-ehdotuksia miehittämättömien ilma-alusten kehittämisen ja hyödyntämisen vauhdittamiseksi.

Lopuksi kiitokset Energiategollisuudelle työn taloudellisesta tukemisesta sekä kaikille työhön osallistuneille asiantuntijatahoille arvokkaista tiedoista, neuvoista ja luovutetusta materiaalista. Ne ovat olleet selvitystyön kannalta korvaamattomia.

1 JOHDANTO

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

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

Miehittämättömät ilma-alukset, RPAS (Remote Piloted Aircraft Systems) tai UAV (Unmanned Aerial Vehicle) ovat kehittyneet vauhdilla viimeisen kymmenen vuoden aikana. Erityisen pitkälle nämä lentorobotit¹ ovat kehittyneet sotilassovellutuksissa, jossa miehittämättömiä ilma-aluksia käytetään kauko-ohjatuksi maalinosoitus- ja tiedustelutehtävissä. Pitkälle kehitettyjä lentorobotteja hyödynnetään myös taistelutehtävissä ohjusten ja pommien kantolaitteina. Näitä aluksia ohjataan risteilyohjusten tavoin erittäin kehittyneillä satelliittipaikannukseen ja edistyneeseen viestintään perustuvilla navigointijärjestelmillä. Voimalaitteena suorituskykyisissä sotilaallisissa RPAS-laitteissa on pitkän toimintasäteen takaamiseksi joko yksi tai useita poltto- tai turbiinimoottoreita. Taktiseen tiedusteluun käytetään myös sähköllä toimivia lentorobotteja.

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

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

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



Kuva 1 - Itävaltalainen sähkökäyttöinen Aibotix-robottihelikopteri verkoston tarkastustehtävissä

¹ Tässä esityksessä käytetään kauko-ohjatuista tai ennalta ohjelmoidun lentoreitin käyttöön perustuvista, puoli- tai täysiautomaattisista miehittämättömistä ilma-aluksista nimitystä lentorobotti

Työssä selvitettiin voimakkaasti kehittyvien lentorobottien teknistaloudellinen soveltuvuus sähköverkkojen erilaisiin tarkastustehtäviin sekä perehdyttiin lentotarkastustoimintaa ohjaavaan lainsäädäntöön ja ilmailumääräyksiin. Työn yhteydessä myös perehdyttiin alan lainsäädännön kehitysnäkymiin sekä kotimaisella että EU-tasolla. Tärkeä rooli selvitystyössä oli myös sähkö- ja erityisesti lentoturvallisuuteen liittyvien asioiden kartoittamisella. Paljon aikaa käytettiin myös ilmahavaintojen tekemisen, laadun ja jälkikäsittelyn problematiikan selvittelyyn. Työn lähtöajatuksena oli, että lentorobottien optimaalisella käytöllä voidaan merkittävästi alentaa verkkoyhtiöille lentotarkastuksista aiheutuvia kustannuksia. Samalla on mahdollista edistää uuden ilmailuteollisuuden ja palvelutoiminnan luomista maahamme.

2 SELVITYKSEN TAUSTAT, TAVOITTEET JA TEKOTAPA

2.1 Selvityksen taustaa

Reneco Oy on asiantuntijaorganisaatio, joka tuottaa palveluja energiayhtiöiden toiminnan kehittämiseen eri muodoissaan. Reneco laati Hannun ja Tapaninpäivän myrskyjen jälkeen Energiateollisuus ry:n toimeksiannosta vuonna 2012 selvityksen ”Toiminta sähköjakelun suurhäiriössä”, lähde /4/. Työn yhteydessä perehdyttiin sähköverkkojen vakaviin häiriötilanteisiin sekä toiminnan kehittämiseen päätavoitteena sähköjakelun mahdollisimman nopea palauttaminen normaaliin tilaan häiriön jälkeen. Selvitystyössä ymmärrettiin ilmasta tehtävien havaintojen tärkeys verkostovaurioiden laajuuden arvioimisessa sekä tilannekuvan muodostamisessa. Hannun ja Tapaninpäivän myrskyjen seurauksena energiamarkkinalaki uudistettiin ja verkkoyhtiöiden sähkötoimitusvarmuuden vaatimuksia kiristettiin. Syksyllä 2013 oli jälleen voimakkaiden ja toistuvien myrskyjen esiintymisjakso, ja helikoptereita käytettiin runsaasti tarkastuslentoihin. Aikaisemman idean ja aiheesta käytyjen keskustelujen perusteella Reneco päätti esittää Sähkötutkimuspoolille selvittäväksi lentorobottien soveltuvuus sähköverkon tarkastuksiin. Aihe hyväksyttiin tutkimusaiheeksi ja tämä perusselvitys tehtiin poolin rahoitukseen turvin.

Alkuperäisen suunnitelman mukaisesti selvitystyö jaettiin kahteen osaan:

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

Pilotointiosan sisältämät käytännön kenttätestaukset päätettäisiin toteuttaa erillisen arvion jälkeen ensimmäisessä osassa kerätyn tiedon perusteella. Pilotointiosan käytännön toteuttamiseen vaikuttavat oleellisesti myös lentorobottien valmistajien halukkuus testeihin ja koejärjestelyjen kustannukset. Raporttia laadittaessa Sähkötutkimuspooli on myöntänyt pilotointiosan tarvitsemasta rahoituksesta osan Sharper Shape Oy:lle, joka toimii pilotoinnin vastuullisena toteuttajana. Lopullinen varmuus pilotoinnin toteutumisesta saadaan muun siihen liittyvän rahoituksen varmistuttua.

2.2 Selvitykselle asetetut tavoitteet

Selvitykselle ensimmäiselle osalle asetettiin seuraavat tavoitteet:

1. Koota sähköverkkoyhtiöiden tarpeita ja vaatimuksia sähköverkon lentotarkastuksille sekä säännönmukaiseen kunnossapitoon että häiriötilanteiden selvittämiseen liittyen
2. Kerätä kattava näkemys lentorobottien teknisestä soveltuvuudesta sähköverkkojen lentotarkastuksiin painopisteen ollessa keski- ja pienjänniteverkoissa. Lentorobottien teknisiä ominaisuuksia ja käyttömahdollisuuksia verrataan perinteisiin miehitettyihin helikoptereihin ja lentokoneisiin
3. Selvittää lentorobottien avulla tehtävissä ilmakuvauksissa käytettävissä olevaa havaintovälineistöä ja havaintojen käsittelyn (kuvankäsittely, laserkeilausaineiston prosessointi) tekniikkaa ja käyttökelpoisuutta sähköverkon tarkastuksissa

4. Arvioida alan teollisuuden ja palvelutarjonnan kehitysnäkymiä
5. Laatia yhteenveto lentorobottien käyttöä koskevasta lainsäädännöstä ja ilmailumääräyksistä sekä arvioida niiden vaikutus lentotarkastustoimintaan. Tekniikan käyttökelpoisuutta tuli arvioida nykyisen lainsäädännön puitteissa (nopea hyödyntäminen) sekä tulevaisuuden kehitysnäkymien valossa
6. Arvioida lentotarkastusten kustannuksia perinteisillä ilma-aluksilla ja lentoroboteilla tehtynä. Erityisesti kiinnostivat mahdollisesti saatavat kustannussäästöt perinteisten ilma-alusten käyttöön verrattuna
7. Hahmottaa palvelutarjonnan erilaisia mahdollisia toimintamalleja ja organisointia
8. Laatia kokonaisarvio lentorobottijärjestelmien toimivuudesta, käyttökelpoisuudesta ja kannattavuudesta suurhäiriön tilannekuvan parantamisessa, johtovikojen paikantamisessa sekä sähköverkoston kunnossapidon määräaikaistarkastuksissa
9. Asettaa tavoitteet ja laatia alustava tutkimussuunnitelma selvitystyön toisessa osassa toteutettavaksi ehdotettavalle lentorobottijärjestelmän/-järjestelmien pilotoinnille sekä selvittää mahdollisesta pilotoinnista kiinnostuneet tahot
10. Laatia kirjallinen raportti lentorobottien käytön mahdollisuuksista sähköverkkojen lentotarkastuksissa

Toimeksiannon saate-evästysten ja työn alkuvaiheessa tehdyn analyysin perusteella selvityksen painopistealueeksi valittiin verkkoyhtiöiden eri tarpeiden kartoittamisen lisäksi lentorobottien tekninen suorituskyky, ohjattavuus ja ilmailuturvallisuus pitkissä, suoran näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvissa tarkastuslennoissa (ns. B-VLOS lennot). Tärkeäksi koettiin selvittää myös erilaisilla teknisillä ratkaisuilla saavutettavissa oleva toimintasäde sekä toimintakyky vaihtelevissa ympäristö- ja sääolosuhteissa, esimerkkinä toimintamahdollisuudet metsäisessä ympäristössä sijaitsevan pienjänniteverkon osalta.

Yhdeksi tärkeäksi painopistealueeksi valikoitui lentoroboteilla tehtävää lentotoimintaa ohjaava ja rajoittava ilmailulainsäädäntö sekä lakien perusteella annetut säädökset.

Työ ei ole tieteellinen tutkielma, vaan pikemminkin lentorobottien käytännön hyödynnettävyyttä kartoittava selvitys. Työssä ei myöskään ole tarkoitus laatia tai esittää verkkoyhtiöiden tarkistuslentojen tarkkaa määrittelyä (spesifikaatiota).

2.3 Työn toteutustapa

Työ tehtiin lyhyen suunnitteluvaiheen jälkeen seuraavasti:

1. Perehdyttiin tietohakujen ja haastattelujen avulla miehittämättömien ilma-alusten teknisiin ominaisuuksiin ja suorituskykyyn sekä alan kehitysnäkymiin
2. Selvitettiin miehittämättömiin ilma-aluksiin liittyvää ilmailulainsäädäntöä ja –määräyksiä sekä tutkittiin sääntelyn tulevia kansainvälisiä ja kansallisia kehityssuuntia
3. Kerättiin helikopterien ja miehittämättömien ilma-alusten käyttöön liittyvää kustannustietoutta (hankinta- ja käyttökustannukset)
4. Tavattiin ilmailualan ja sähköverkon kunnossapidon asiantuntijoita, joiden kanssa käydyissä keskusteluissa syvennettiin lentorobottien hyödyntämiseen liittyviä näkemyksiä
5. Tehtiin monipuolisia haastatteluja alan toimijoiden ja verkkoyhtiöiden keskuudessa. Haastateltavien joukossa oli verkkoyhtiöiden lisäksi alan teollisuutta, lento-operaattoreita, verkoston kunnossapidon palvelutuottajia sekä liikenteen turvallisuusviranomaisen Trafi

Haastatteluja ja asiantuntijatapaamisia järjestettiin yhteensä 19 tahon kanssa seuraavasti:

- Sähköverkkoyhtiöt
 - Fingrid Oyj
 - Fortum Sähkönsiirto Oy (Caruna Oy)
 - Elenia Oy
 - Järvi-Suomen Energia Oy
 - PKS Sähkönsiirto Oy
 - Rauman Energia Oy
- Verkoston kunnossapitopalvelujen tuottajat
 - Eltel Networks Oy
 - Empower Oy
- Lento-operaattorit
 - HeliCam Oy
 - Heliwest Oy
 - VideoDrone Oy
- RPAS-ilma-alusten valmistaja tai toimittaja
 - Geotrim Oy
 - VideoDrone Oy
- Fotogrammetrialaitteiden ja –palveluiden toimittaja ja/tai maahantuojat
 - Geotrim Oy
 - Nordic Geo Center Oy
- Palveluntuottaja/tutkimusorganisaatio
 - Insta Oy
 - Sharper Shape Oy
 - Visimind Ab
 - Pieneering Oy
 - Itä-Suomen yliopisto, Mekrijärven tutkimusasema
- Liikenteenturvallisuusvirasto Trafi

Työn toteutuksen ja verkostoitumisen kannalta oli erittäin hyödyllistä, että työn tekijä kutsuttiin osallistumaan Suomen miehittämättömien ilma-alusten (RPAS) strategiaa valmistelevaan työryhmään. Työryhmä alaryhmineen kokoontui Trafin edustajien johdolla alkuvuoden aikana useita kertoja. Strategiadokumentti valmistuu kesän 2014 aikana.

Selvitys tehtiin helmikuun-kesäkuun aikana 2014.

2.4 Projektin ohjausryhmä ja resurssit

Selvitystyön ohjausryhmässä toimivat Pauliina Salovaara Elenia Oy (pj), Jarkko Ronkainen PKS Sähkönsiirto Oy, Marko Silokoski Rauman Energia sekä Jukka Perttala ja Jouko Tervo (sihteeri) Konsulttitoimisto Reneco Oy.

Työn päävastuullisena tekijänä toimi Jouko Tervo. Projektiaineistoa analysoi, kommentoi ja tarkasti Jukka Perttala.

Kiitokset ohjausryhmän jäsenille hyvistä neuvoista, kommenteista ja arvokkaasta lähtöaineistosta.

2.5 Raportin linkit ja kuvat

Raportin [www-linkit](#) on päivitetty toimiviksi kesäkuun 2014 tilanteen mukaisesti.

Raportissa olevat kuvat 5 ja 7 ovat Heliwest Oy:n ja kuvat 6 ja 16 Itä-Suomen yliopiston Mekrijärven tutkimusaseman luovuttamia.

3 SÄHKÖVERKKOYHTIÖIDEN TARPEET ILMAHAVAINNOINTIIN

3.1 Suurhäiriön tilannekuvan muodostaminen

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

3.2 Kunnossapitoa vaativien kohteiden havaitseminen määräaikaistarkastuksissa

Verkoston määräaikaistarkastukset ovat välttämättömiä verkoston kunnossapitotarpeiden arvioimiseksi ja viallisten tai muutoin vaurioituneiden verkkokomponenttien havaitsemiseksi. Määräaikaistarkastuksia on tiestön ulkopuolella perinteisesti tehty jalan, mönkijöiden tai talvella moottorikelkkojen avustuksella partioimalla johtokatuja pitkin. Tarkastussykli on verkkoyhtiökohtainen ja vaihtelee 3 -15 vuoden välillä riippuen tarkastuksen piirissä olevista kohteista. Helikopterien avulla tehtävillä ilmakuvauksilla määräaikaistarkastuksia kyetään tehostamaan ja vakioistamaan. Lentotarkastuskuvauksia tehdään nykyisin tyypillisesti 3 – 6 vuoden syklillä. Kaikkia verkoston vaurioita ei kyetä havaitsemaan ilmasta käsin (esim. pylväiden lahovauriot), joten maastotarkastuksia täytyy tehdä jossain määrin myös jatkossa.

Määräaikaistarkastuksissa helikopterit varustetaan useilla erilaisilla havaintolaitteilla, jotta yhdellä lennolla saadaan kustannustehokkaasti mahdollisimman monipuolinen havaintoaineisto. Havaintolaitteina voivat olla esimerkiksi kaksi 2D-kameraa (kuvaus sekä meno- että tulosuuntaan), yleiskuvakamera/ortokuvauskamera sekä laserkeilain. Satunnaisemmin varustukseen saattaa kuulua myös lämpökamera. Kuvamateriaalin täytyy olla korkealaatuista ja tarkkuuden suuri, jotta siitä voidaan tunnistaa erilaiset verkoston kunnostusta ja huoltoa vaativat viat. Esimerkiksi johtimien säievikojen tai eristimien lohkeamien havaitseminen edellyttää alle yhden senttimetrin erotuskykyä. Lentokorkeuden täytyy korkean resoluution saavuttamiseksi olla matala, tyypillisesti vain 30 – 50 metriä.

Havaintodataa tulee yleensä runsaasti, noin 1 Gt/lennetty johtokilometri. Havaintoaineisto pitää pystyä käsittelemään sähköisesti sitä varten laadituilla analysointi- tai käsittelyohjelmilla ja toimenpiteitä vaativat löydökset on kyettävä viemään asian mukaisin merkinnöin varustettuna verkkoyhtiön karttapohjaisiin tietojärjestelmiin, tyypillisesti verkkotietojärjestelmään (NIS).

Kuvatulle ja laserkeilatulle havaintoaineistolle pitää kyetä tekemään sähköisesti mahdollisimman pitkälle automatisoitu kasvillisuusanalyysi, joka mahdollistaa tarveperusteisen raivauksen suorittamisen. Analyysin voi suorittaa joko kuvauspalvelun toimittaja tai sähköverkkoyhtiön asiantuntijat toimittajan osoittamalla ohjelmistolla. Analyysin tuloksena saadaan tehtävät raivaustyöt johto-osuuksille kohdistettuna.

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

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

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

3.3 Verkoston suunnitteluun liittyvät ilma- ja satelliittikuvat, laserkeilausaineisto sekä kartat

Ilmakuvien ja laserkeilausaineiston käyttö

Digitaalisia ilmakuvia ja laserkeilausaineistoa käytetään karttojen ohella suunniteltaessa uusia johtolinjauksia tai sähköasemia. Ortokuvat ovat hyvin mittatarkkoja, yleensä koordinaatistoon sidottuja kuvia ja soveltuvat hyvin suunnittelun lähtömateriaaliksi. Julkista avointa ilmakuvamateriaalia löytyy esimerkiksi verkkosivulta www.paikkatietoikkuna.fi, /7/. Vastaavasti avoimen datan laserkeilausaineistoa voi ladata Maanmittauslaitoksen tiedostopalvelusta, /8/. Laserkeilausdatasta sekä digitaalisista ilmakuvista voidaan tarvittaessa laatia maaston korkeusmalli (DEM), pintamalli (DSM) tai määrittää yksittäisiä korkeuseroja. Ortokuvat tehdään ja eri mallit laaditaan nykyisin tietokoneavusteisesti erityisiä (kuvan)käsittely- yms. ohjelmistoja hyödyntäen, /9/ ja /10/. Maanmittauslaitoksen julkisesta palvelusta on saatavissa laserkeilausaineistoon perustuva koko maan korkeusmalli, jonka korkeussuuntainen epätarkkuus on ± 10 cm. Kuvassa 2 on esimerkki Maanmittauslaitoksen tuottamasta, lähteestä /7/ peräisin olevasta ortokuvamateriaalista. Kuva on otettu eräästä tunnetusta urheiluun ja matkailuun keskittyneestä Pohjois-Suomen taajamasta, tunnistako paikan? Vastaus löytyy sivulta 23 kohdasta ortokuvat.

Kuva- ja laserkeilausaineistosta voidaan määrittää rakennettavan johtokadun alta raivattavan puuston määrät ja lajit sekä arvioida huomattavia luontoarvoja, kuten uhanalaisia kasvi- ja eläinlajeja.



Kuva 2. Maanmittauslaitoksen tuottamaa ortokuvamateriaalia

Digitaalisia (ilma)kuvia ja laserkeilausaineistoa voidaan myös yhdistää tietoteknisen jälkikäsittelyn avulla. Tuloksena saadaan erilaisia mittatarkkoja kuvia tai valokuvausinformaatiota sisältäviä laserkeilauskuvia, /10/. Kuvassa 3 on yhdistetty digitaalista kuvamateriaalia sekä laserkeilausaineistoa.



Kuva 3. Esimerkki yhdistetystä laserkeilauskuvasta, Riegl

Satelliittikuvien hyödyntäminen

Verkkoyhtiöt hyödyntävät toiminnassaan hyvin vähän kaupallista satelliittikuvien tarjontaa.

Ilmaista GoogleEarth-palvelua, /11/, tai avoimia julkisia palveluja Paikkatietoikkunan satelliittikuvapalvelua tai Maanmittauslaitoksen kuvapalvelua hyödynnetään jonkin verran suunnittelutyössä.



Kuva 4. Pikkaralan sähköasema Googlen satelliittikuvassa (Lähde: GoogleEarth), /11/

Kartta-aineiston hyödyntämien

Erilaista kartta-aineistoa hyödynnetään edelleen runsaasti kaikessa yhdyskuntateknisessä ja infrastruktuurisuunnittelussa. Sähköverkkojen suunnittelussa kartat ovat välttämättömiä muun muassa reittisuunnittelussa, kaavoitustoimenpiteissä sekä tarvittavien maa- ja vesioikeudellisten toimitusten takia. Avoimen palvelun kartta-aineistoa löytyy Paikkatietoikkunan ja Maanmittauslaitoksen palveluista. Verkkoyhtiöt käyttävät suunnittelutyössään jonkin verran myös GooleMaps-palvelua, /12/.

3.4 Muu helikoptereiden käyttö

Raivauslennot ja huurrekuormien pudottaminen

Yksi merkittävä miehitettyjen helikoptereiden käyttökohde on lisäksi johtokatuja reunapuuston raivaus, käytännössä oksien karsinta ja puuston latvasahaukset.

Riskialttiina ja varsin kalliina toimintana helikopterisahausten suosio vaihtelee verkkoyhtiöiden välillä. Tuhoisiakin lento-onnettomuuksia on sattunut reunapuuston helikopteriraivauksissa.

Valtaosa reunapuuston raivauksista tehdään perinteisiä metsänharvennusmenetelmiä, metsureita tai motoja käyttäen. Johtokatuja raivausohjeistusta löytyy esimerkiksi lähteistä /13/ - /15/ ja tietoa voimajohtojen ja johtokatuja mitoituksista ja rakenteesta esimerkiksi Adato Energia Oy:n sähköverkkosuosituksista.

Miehitettyjä helikoptereita käytetään myös tykkylumi- ja huurrekuormien pudottamiseen voimajohdoista.



Kuva 5. Helikopteri varustuksena oksasaha, Heliwest Oy

Verkoston rakentaminen vaikeassa ympäristössä

Helikoptereita käytetään myös verkoston rakentamiseen vaikeissa, esimerkiksi saaristo-olosuhteissa. Työkohteet voivat sijaita esimerkiksi rannikon tai sisävesistöjen saarissa tai muutoin hyvin vaikeakulkuisissa paikoissa. Helikoptereilla siirretään ja pystytetään voimajohtopylväitä. Niitä käytetään myös rakennusmateriaalin, työvälineiden ja henkilöstön kuljetuksissa.

Verkkoyhtiöiden helikopterien käyttömäärä yhteensä vuositasolla

Haastattelujen perusteella voidaan arvioida, että maamme verkkoyhtiöiden keskimääräisenä vuonna käyttämien helikopterisuoritteiden määrä on tuhansia lentotunteja. Verkkoyhtiöt ostavat lentopalveluja vuodessa miljoonien eurojen arvosta – ostot yhteensä arviolta luokkaa 5 – 8 milj. euroa/vuosi.

4 ILMAKUVAUKSET JA ETÄHAVAINNOINTI

4.1 Yleistä ilmakuvauksista

Ilmasta tai lähiavaruudesta voidaan tehdä sähkömagneettiseen säteilyyn perustuvia havaintoja erilaisilla havaintolaitteilla hyvin laajalla aallonpituusalueella. Kuvia tehdään pääosin ihmissilmän näkemällä optisella alueella (aallonpituus noin 350 – 700 nm) tai joissain tapauksessa myös lähi-infrapuna-alueella (NIR). Lähi-infrapuna-alueen katsotaan kattavan tässä yhteydessä aallonpituusalueen 700 nm – 2,5 µm. Laserkeilauksessa, josta on muodostunut tärkeä johtokatuja raivausanalyysin työkalu, käytetään myös yleensä lähi-infrapuna-aluetta. Varsinaiset infrapuna-alueen lämpökamerat käyttävät aallonpituuksia alkaen NIR-alueelta 1,5 - 2 µm ja päättyen noin 20 µm:iin. Kameran taajuusvaste voi kattaa em. kaistasta vain osan ja sitäkin voidaan kaventaa (suodattaa) erityistarkoituksiin. Tässä yhteydessä ei ole tarvetta käsitellä mikroaaltotutkilla lentokoneista ja satelliiteista tehtävää havainnointia ja mittausta.

Fotogrammetria on kohteiden kaksi- tai kolmiulotteista mittausta kohteesta otetuilta kuvilta. Tunnetuin fotogrammetrian työkaluista on ilmakuvaukset, jota käytetään erilaisten kartoitusten pääasiallisena tietolähteenä. Nykyään fotogrammetriassa käytetään digitaalisia kuvia, joita voidaan käsitellä automaattisin ja puoliautomaattisin menetelmin (kuvankäsittely). Lisätietoa fotogrammetriasta ja etämittauksesta löytyy esimerkiksi lähteistä Fotogrammetrian perusteet, /9/ ja Fotogrammetrian yleiskurssi, /10/ sekä ISPRS-Internationalin kotisivuilta, <http://www.isprs.org/>, /16/.

Maan pinnan yläpuolelta tehtävä havainnointi voidaan havainnointitietäisyyden perusteella jakaa karkeasti neljään eri korkeusalueeseen käytettävien alusten ja ilmatilan ominaisuuksien perusteella:

1. Valvomaton ilmatila alle 150 metriä maan pinnasta (AGL), (lentorobotit, helikopterit)
2. Valvottu ilmatila 150 m - 15 km, (helikopterit, lentokoneet, RPAS-tiedustelukoneet)
3. Stratosfääri noin 15 km – 50 km, (miehitetyt tai RPAS-tiedustelukoneet, kaasupallot)
4. Lähiavaruus noin 100 km – 2 000 km (satelliitit)

Valvomattoman ilmatilan käyttäminen ilma-aluksilla tehtävään havainnointiin poikkeaa oleellisesti muista korkeusalueista tarvittavan lupamenettelyn osalta. Valvomattomassa ilmatilassa kuvaaminen ja lentorobottien käyttäminen näköohjauksessa (etäisyys alle 500 metriä) on hyvin kevyesti säänneltyä ja voidaan tehdä kustannustehokkaasti.

Ilmakuvien resoluutio

Ilmakuvauksen yksi keskeinen mittari on kuvien tarkkuus (erottelukyky, resoluutio), joka digitaalisessa muodostuu kuva-alueen kuvapisteen eli käytännössä kameran kennon pikselien määrästä. Toinen oleellinen kuvien laatuun oleellisesti vaikuttava seikka on käytettävien objektiivien ominaisuudet. Laadukkaan objektiivin valovoima on hyvä ja virheet tunnetaan tarkoin ja virheiden vaikutukset voidaan pitkälle eliminoida.

Maanmittauslaitoksen tuottamissa ortokuvissa tyypillinen erottelukyky on 50 cm, mutta yleisesti ortokuvien erottelukyky voi vaihdella välillä 10 cm – 1 m. Satelliittikuvien tarkkuus on parhaimmillaan luokkaa 20 – 50 cm/pikseli. Lentokoneilla suoritetuissa pystykuvauksissa käytetyin pikselikoko on 20 cm, mutta pikselikoko vaihtelee tarpeen mukaan 5 – 40 cm välillä. Lentorobotin 10 megapikselin kennolla varustetun kameran erottelukyky on 50 metrin korkeudesta tyypillisesti 0,5 – 1 cm/pikseli ja 150 metrin korkeudesta 1,5 – 2 cm/pikseli hieman objektiivin polttovälistä ja muista ominaisuuksista riippuen.

Pystyilmakuvan keskimääräistä erottelukykyä (pikselikokoa maastossa) voidaan arvioida kaavalla:

Erottelukyky = $h / f \times \sqrt{A/n}$ [cm] , missä

- h = Kuvausetäisyys eli pystykuvauksessa lentokorkeus [m]
- f = Objektiivin polttoväli [mm]
- A = Kameran kennon pinta-ala [cm²]
- n = Kameran kennon pikselimäärä [megapikseliä]

Esim. Kuvausetäisyys 100 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 => 1,0 cm (0,954 cm)

Kaavasta voidaan päätellä, että lentokorkeuden alentaminen tai objektiivin polttovälin kasvattaminen parantavat suoraan kuvan erottelukykyä (enemmän pikseleitä/kuvattu pinta-ala). Kameran kennon pikselimäärää kasvattamalla voidaan myös kasvattaa kuvan resoluutiota, mutta vaikutus on pienempi (neliöjuuririippuvuus pikselimäärästä). Erityiskohteiden ilmakuvauksissa voidaan käyttää jopa 100 megapikselin kennolla varustettua kameraa.

Lentokorkeuden alentamisen on haittapuoli käytettävissä olevan valotusajan lyhentyminen, jotta kuva pysyy terävänä. Polttovälin kasvattamisen pienentää objektiivin valovoimaa ja se lisää suoraan tarvittavaa valotusaikaa. Toisin sanoen kameran kennon herkkyuden ja objektiivin valovoiman on oltava suuri ja valaistuosuhteiden hyvät, jotta lentonopeutta ei tarvitse alentaa kuvien epäterävyyden takia. Onneksi tämä ei ole suuri ongelma nykyisillä laadukkailla digitaalikameroilla. Keveillä lentoroboteilla lentonopeus on suhteellisen pieni, mikä osaltaan antaa lisää pelivaraa muun muassa valaistusolosuhteiden osalta.

Verkoston kunnossapitokuvaukset ovat lähinnä vakiolentonopeudella tehtäviä viistokuvauksia, mutta samat pystykuvauksen resoluutiota ja valotusaikaa koskevat lainalaisuudet pätevät pitkälti myös viistokuvauksessa.

Yksi kuvausmenetelmä on käyttää tarkastuskuvauksissa miehitettyä helikopteria tai lentorobottia paikallaan leijunnassa. Kameran liike ei rajoita kuvaustarkkuutta ja erityisesti moniroottorisilla lentoroboteilla voidaan ottaa hyvinkin tarkkoja kuvia muutoin hankalasti havainnoitavista verkkokomponenteista, esimerkiksi korkean suurjännitepylvään jännitteisestä eristimestä.

4.2 Eri korkeusvyöhykkeiden hyödyntäminen ilmahavainnoissa

4.2.1 Havainnot valvomattomasta ilmatilasta, kuvauskorkeus alle 150 m

Nykyisin verkkoyhtiöt käyttävät lähinnä miehitettyjä helikoptereita verkoston ilmakuvauksiin, jotka liittyvät keskijänniteverkon määräaikaistarkastuksiin ja raivaustarpeen arviointiin. Jonkin verran ilmakuvauksia käytetään myös suurjänniteverkon (voimajohdot ja sähköasemat) suunnittelu- ja esittelytarkoituksissa.

Muussa ilmakuvauksessa perinteisiä miehitettyjä ilma-aluksia ja myös lentorobotteja käytetään hyvin laajasti moninasiin yhteiskunnan ja elinkeinoelämän kuvaustarpeisiin. Kohteina ovat esimerkiksi maantiet, rautatiet, lentokentät, satamat, kaupunki-infrastruktuuri, jätteenkäsittelyalueet, kaivosalueet, padot, voimalaitokset, radiomastot, metsävarat, pellot, vesistöt, yksittäiset rakennukset jne.

Alle 150 m:n korkeudelta tehtävää ilmakuvauksia käytetään myös erilaisten joukkotapahtumien kuten urheilutilaisuuksien, konserttien videokuvaamiseen. Tärkeä merkitys on lisäksi eri viranomaisten tekemillä ilmakuvauksilla ja havaintolennoilla.

Valvomattoman ilmatilan käyttöön liittyviä ilmailumääräyksiä käsitellään tarkemmin luvussa 5.



Kuva 6. Varjoliitimestä 150 metrin korkeudelta otettu ilmakekuva, /1/

4.2.2 Valvottu ilmatila 150 m -15 km

Perinteisesti tällä alueella otettuja ilmakuvia on käytetty erilaisiin kartoituskuvauksiin, mutta myös edellisen kohdan mukaisia täsmäkohteita ilmakuvataan erityisesti korkeusalueen alapäässä. Ilmakuvat, ja niistä johdetut mittatarkat ortokuvat ovat pitkään olleet maanmittauksen ja kartoituksen tärkeä väline. Kuvauskorkeus voi vaihdella muutamasta sadasta metristä kymmeneen kilometriin tarpeista ja tarvittavasta tarkkuudesta riippuen. Kuvauskorkeuden kasvaessa kuvien resoluutio pienenee lineaarisesti ja samalla kuvassa näkyvän alueen pinta-alan suurentuu eksponentiaalisesti toisessa potenssissa. Korkealta (5 – 10 km) otettuja tarkkoja ilmakuvia voitaisiin hyödyntää suurhäiriön tilannekuvan muodostamisessa.

Korkealta (yli 500 m) suoritettua laserkeilausta käytetään muun muassa maaston korkeusmallin laatimisessa. Korkeusmallia voidaan hyödyntää verkoston suunnittelussa. Korkealta tehdylle lämpökamerakuvaukselle verkkoyhtiöillä ei ole käytännössä tarvetta.

4.2.3 Stratosfäärikuvat ja satelliittikuvat

Stratosfäärikuvat

Stratosfäärikuville ei nähdä tarvetta verkkoyhtiön toiminnassa tällä hetkellä. Niitä voitaisiin periaatteessa hyödyntää suurhäiriötilanteessa tilannekuvaa muodostettaessa arvioitaessa myrskytuhojen laajuutta, mikäli tarkkojen kuvien toimitusaika olisi alle kaksi vuorokautta.

Satelliittikuvat

Verkkoyhtiöiden tarpeiden kannalta satelliittikuvat soveltuvat lähinnä johtoalueiden esisuunnitteluun ja kartoituksen. Säätasatelliittien kuvia voidaan myös hyödyntää myrskyrintamien etenemisen seurannassa. Kaupallisten satelliittikuvien toimitusaika verkostohäiriötilanteissa on käytännössä liian pitkä. Määräaikaistarkastusten osalta kaupallisesti saatavien satelliittikuvien tarkkuus ei ole riittävä. Myös pilvisuus voi aiheuttaa katveja näkyvän alueen kuviin. Satelliittikuvien kilpailukykyä, toimitusaikaa ja kuvauspalvelujen saatavuutta tulee parantaa huomattavasti, jotta ne soveltuisivat laajasti verkkoyhtiöiden tarpeisiin.

Julkisista lähteistä on saatavissa ilma- tai satelliittikuvamateriaalia vapaasti. Esimerkkejä verkkopalveluista lähteissä /7/, /8/ ja /11/.

4.2.4 Ilmakuvaus ja lainsäädäntö

Ilmakuvaus on Suomessa pääosin sallittua muutamaa poikkeusta lukuun ottamatta, /1/.

Aluevalvontalaissa kielletyt alueet:

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

Aluevalvontalaki <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2000/20000755> .

”14 § Ilmakuvaus

Suomen alueella ei saa ilman lupaa kuvata lennon aikana ilma-aluksesta tai muusta ilmassa liikkuvasta laitteesta sähkömagneettisen säteilyn taltiointiin käytettävällä laitteella, ellei Suomea velvoittavasta kansainvälisestä sopimuksesta muuta johdu:

- 1) ilmailulain 1194/2009 8 § 1 momentin (tek.korj.) nojalla ilmailulta pysyvästi rajoitettuja alueita;*
- 2) linnoitusalueita, linnakkeita tai kasarmialueita;*
- 3) sotasatamia tai sotilaslentokenttiä;*
- 4) puolustusvoimien varikoita tai varastoja;*
- 5) puolustusvoimien viestiasemia, antennikenttiä tai puolustuslaitteita tai -välineitä;*
- 6) puolustusvoimien tai rajavartiolaitoksen maastoharjoituksia.*

Mitä 1 momentissa säädetään, ei koske kuvaamista lentoväylällä liikkuvasta ilma-aluksesta yksityiseen tarkoitukseen.

Luvan perusteella otetut tallenteet voidaan lupamääräysten noudattamisen valvomiseksi määrätä esitettäväksi lupaviranomaiselle.

2.2 Luvan ilmakuvaukseen myöntää pääesikunta. Rajoitusalueen EF R28 (Itäinen rajoitusalue) sekä siellä sijaitsevan kohteen ja toimintojen ilmakuvaukseen myöntää luvan rajavartiolaitos”

4.3 Näköalueen kamerat (RGB-kamerat)

4.3.1 2D-videokuvaus

Näköalueen 2D-videokuvausta käytetään lähinnä ulkoilmakonserttien, urheilutapahtumien ja viranomaistehtävien kuvauksissa. Lisäksi elokuva-aineistoa kuvataan jonkin veran lentorobottien avulla. Videokameroiden tarkkuus ei käytännössä riitä sähköverkoston määräaikaistarkastusten tarpeisiin.

4.3.2 2D-valokuvaus, ortokuvat

Verkoston kuvaus

Digitaalinen 2D-kuvaus on pääsääntöinen kuvaustapa sähköverkostoa kuvattaessa. Verkostokuvaukset tehdään usein viistoon eteenpäin että taaksepäin lentosuuntaan nähden tai sitten hieman sähkölinjan sivusta. Kuvamateriaalista tehtävä kuntotarkastus edellyttää suurta erotuskykyä ja kamerat on varustettu korkean resoluution kennolla (5 Mpix-30 Mpix) ja korkealaatuisella, valovoimaisella objektiivilla. Kuntotarkastus tehdään jälkikäteen ”lentämällä” eli työaseman avulla asiantuntija käy digitaalista kuvamateriaalia läpi. Kiinnostaviin kohtiin kuva-aineistoa on mahdollista zoomata yksityiskohtien havaitsemiseksi, jolloin erottelukyvyn on oltava vähintään luokkaa 0,5 – 1,5 cm. Lentovarustukseen kuuluu normaalisti myös matalan resoluution (2-5 Mpix) kamera, jota käytetään näkymältään laajakulmaisten yleiskuvien ottamiseen.

Suuri tarkkuus edellyttää yleensä lyhyttä etäisyyttä kuvattavaan kohteeseen ja lentokorkeus onkin tyypillisesti vain 30 – 60 metriä.

Määräaikaistarkastuksen kuvauksissa lentonopeus miehitetyllä helikopterilla on tavallisesti 60 – 80 km/h. Suuri lentonopeus edellyttää käytettävän kameran kennolta suurta herkkyyttä, objektiivilta erinomaista valovoimaa ja hyviä valaistusolosuhteita, jotta saavutetaan kuvien terävyyden edellyttämä erittäin lyhyt valotusaika (alle 1/1000 s).



Kuva 7. Heliwest Oy:n helikopteri verkoston kuvausvarustuksessa

Verkoston lentorobottikuvauksissa voidaan muun muassa pienemmän lentonopeuden vuoksi käyttää korkealaatuisia vakiokameroita, jolloin kameran massa on hyvin pieni eli enintään noin 1 kg kuvanvakainobjektiivilla varustettuna. Kameraa voidaan vaihtaa kuvauskohteen mukaan ja se on helppo varustaa kuvien tallentamiseksi massamuistilla (mikroSD-muistikortti tms.), joten erillistä tallennuslaitetta ei välttämättä tarvita. Myös kevyet sähkökäyttöiset lentorobotit kykenevät kantamaan 0,5-2 kilon painoluokassa olevia kameroita.

Esimerkkinä kevyestä lentorobotti-ilmakuvauksiin soveltuvasta digitaalisesta järjestelmäkamerasta on Sony NEXT-sarja, josta löytyy useita malleja erilaisilla kennotarkkuuksilla (APS-C-kennot). Malli NEX-5T on pienikokoinen (runko 218 g) kamera, joka on varustettu 16,1 megapikselin CMOS-kennolla (23,5 x 15,6 mm). Kameraan käy kaikki Sonyn E-tyyppin objektiivit, joita löytyy laaja valikoima useilta eri valmistajilta. Kuvat voi tallentaa esimerkiksi JPEG- ja RAW-formaatissa. RAW-formaatti antaa mahdollisuuden erittäin monipuoliseen kuvien jälkikäsittelyyn. Kameralla voi ottaa myös videokuvaa MPEG4-muodossa. Kuvat voi tallentaa muistikortille ja kamera tukee useita muistikorttityyppejä. Mallin NEX-5T runko maksaa noin 700 €, <http://www.sony.fi/electronics/jarjestelmakamerat/nex-5t>.



Kuva 8. Sony NEXT-5T järjestelmäkamera ilman objektiivia

Multi- ja hyperspektrikamerat

Tavalliset kamerat kuvaavat kolme RGB-pääväriä: punainen, vihreä ja sininen. Erikoistarkoituksissa käytetään kameroita, joilla kuvia otetaan yleensä erilaisten suodatintekniikoiden avulla useilla eri aallonpituusalueilla. Näitä kameroita nimitetään niiden teknisten ominaisuuksien perusteella joko multispektri- tai hyperspektrikameroiksi.

Ortokuvat

Ilmakuvasta voidaan laatia mittatarkkoja ortokuvia, joiden geometria vastaa taso-oikaistua karttaa. Ortokuvissa ilmakuvan perspektiivi muutetaan keskusprojektiosta projektio-muunnoksena ortogonaaliseen tasoprojektioon ja kuvat kiinnitetään (orientoidaan) käytettävään koordinaatistoon. Kiinnittämisen helpottamiseksi ja tarkkuuden parantamiseksi maastoon viedään merkiksi yleensä signaalipisteitä, joiden koordinaatit tunnetaan tarkasti.

Ortokuvasta voidaan luotettavasti mitata esimerkiksi etäisyyksiä tai pinta-aloja.

Erilaisissa julkisissa karttapalveluissa ja verkkosovelluksissa näkyvät ilmakehän aineistot ovat yleensä ortokuvia. Niitä käytetään yleisesti kartoituksessa, ympäristön suunnittelussa ja muutosten seurannassa.

Sivulla 14 oleva ortokuva esittää Vuokatin taajamaa Sotkamon kunnassa. Keskellä alhaalla on laskettelurinteet ja vasemmalla ylhäällä Katinkullan hotelli- ja vapaa-ajan asuntoalue.

Verkoston kuvauksissa otetaan myös ortokuvia esimerkiksi sähköasema-alueista erilaisiin suunnittelutarkoituksiin.

4.3.3 3D- ja stereokuvaus

3D-kamerat

3D-kameroiksi nimitetään kameroita, joissa on normaalin kuvauksen lisäksi ainakin yksittäisen pisteen etäisyysmittaus. On myös olemassa kuvaustekniikoita, joilla kuvaan saadaan tuotettua kattavammin etäisyystietoa. Kehitteillä on tekniikoita, joilla kuvan jokaiseen pikseliin saadaan liitettyä etäisyysinformaatio esimerkiksi kuva-alueen laservalaisua hyväksi käyttäen. Kattavan etäisyysinformaation sisältävillä kuvilla voidaan tulevaisuudessa esimerkiksi arvioida tarkasti verkoston turvavälejä puustoon, rakennuksiin ja muihin verkoston ulkopuolisiin kohteisiin, jolloin laserkeilauksen merkitys pienenee.

Stereoilmakuvaus

Stereokuvaukseksi kutsutaan perinteisesti menetelmää, jossa kahdella toistensa suhteen tarkasti sijoitetulla kameralla tai objektiivilla kuvataan samaa kohdetta hieman eri perspektiivistä.

Stereokuvaparia tarkasteltaessa ne sulautuvat näköaistimuksessamme tarkasti yhdeksi, kolmiulotteiseksi kuvaksi. Stereokuvia tarkastellaan erillisillä laitteilla (stereoskooppi, stereolasit) ja stereoilmakuvista määritetään muun muassa maaston korkeuseroja.

Kartografiset ilmakuvaus ovat pystykuvauksia, joissa kuvaus tehdään yleensä stereomalleina. Kuvausalue kuvataan linjoittain stabiloidulle jalustalle sijoitetulla erikoiskameralla yleensä siten, että peräkkäiset kuvat peittävät toisensa 50 % - 60% (pituuspeitto) ja vierekkäiset kuvausjonot toisensa 20 - 30 % (sivupeitto). Koordinaatistoon kiinnitetyistä kuvista voidaan laskennallisesti (analyttisin) menetelmin muodostaa stereokuvia, /10/.

Ilmakuvausissa lentorobotit ovat kuvausalustoina hieman epästabiilimpia kuin perinteiset lentokoneet ja riittävän peiton saavuttamiseksi sekä jälkikäsitellyssä käytettävien tilastollisten laskentamenetelmien tarkkuuden parantamiseksi otetaan kuvia perinteistä ilmakuvausta suuremmalla päällekkäisellä peitolla.

Lämpökamerat

Korkean resoluution lämpökamerat ovat arvokkaita laitteita ja niitä käytetään sähköverkko-ympäristössä lähinnä lämpövuotoja aiheuttavien vikojen etsimiseen (huonot kontaktit, ylikuumenneet verkkokomponentit jne.). Laitteista haetaan vielä kokemuksia käyttökelpoisuuden arvioimiseksi lentotarkastuksissa. Laitteiden paino ainakin on ainakin keveimpien mallien osalta lentorobottien kantokyvylle soveltuva.

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

4.3.4 Digitaalisten kuvien käsittelyohjelmat

Digitaalisesta ilmakuvamateriaalista saadaan analyttisin (laskennallisin) keinoin aineistoa hyvin erilaisiin tarpeisiin, esimerkkeinä mm. ortokuvat tai 3d-korkeusmallit. Nykyaikaisilla kuvankäsittelyohjelmilla kuvainformaatiota voidaan käsitellä pikselikohtaisesti ja jopa muodostaa aineistosta koordinaatistoon kiinnitettyjä pistepilvimalleja.

Tavanomaisten koti- ja toimistokäyttöön soveltuvien kuvankäsittelyohjelmien lisäksi on saatavilla laaja valikoima ilmakuvien käsittelyn erikoisohjelmia. Yksi tällaisten ohjelmien kehittäjä on kotimainen Pieneering Oy, <http://www.pieneering.fi/>.

4.4 Laserkeilaus

Laserkeilain on pulssitettu skannaava etäisyysmittari, jossa etäisyyden mittausta perustuu heijastuvan laservalopulssin edestakaiseen kulku-aikaan. Kohteen (heijastavan pinnan) kolmiulotteisen paikan laskemiseksi xyz-koordinaatistossa tarvitaan pulssin edestakaisen kulkuajan lisäksi keilaimen tarkka sijaintitieto ja laserkeilan suuntaustieto käytetyssä mittauskoordinaatistossa.

Keilauksen tarkkuus (erottelukyky) on suoraan verrannollinen havaintopinnan pinta-alayksikköä kohden osuvasta laserpulssien määrästä. Tämä taas riippuu kohteen etäisyydestä (AGL), pulssitustaajuudesta (PRR), keilaustaajuudesta (LPS) sekä havaintolaitteen nopeudesta ympäristön suhteen eli lentonopeudesta. Vanhemmissa laitteissa pulssit eivät jakaudu tasaisesti keilattavan kohteen yli vaan mittauspisteet muodostavat näytepistenauhoja keilauksen tahtiin, katso kuva 11. Modernit keilaimet on varustettu pyörivällä monitahoisella heijastinpinnalla, ja keilaimessa voi olla useita, tyypillisesti kaksi, erillistä samanaikaisesti pyyhkivää laserkeilaa. Näin saadaan tiheämpi keilauspeitto, joka on sangen tasaisesti jakaantunut (muistuttaa verkkosilmäkuviota).



Kuva 9. Riegl VUX-1 laserkeilain, joka soveltuu myös lentorobottikeilauksiin, massa 4 kg

Eye Safety Class	Laser Class 1
Max. Range @ Target Reflectivity 60%	920 m
Max. Range @ Target Reflectivity 20%	550 m
Minimum Range	5 m
Accuracy/Precision	25 mm
Max. Effective Measurement Rate	up to 500,000 meas./sec
Field of View (FOV)	up to 300°
Max. Operating Flight Altitude AGL	350 m / 1,150 ft

Class 1 Laser Product according to IEC60825-1:2007

Taulukko 4.1 Riegelin laserkeilaimen VUX1 teknisiä arvoja

Toinen esimerkki kevyestä RPAS-käyttöön soveltuvasta laserkeilaimesta on Velodyne HDL-32E p, jonka arvoja:

- +10.67 to -30.67 degrees FOV (vertical)
- 360°field of view (horizontal)
- Measurement range :1m - 80m
- 700 000 points / s
- Weight : < 2 kg
- Internal accuracy : +/- 2cm
- External accuracy : with kinetic GNSS post processing : +/- 10cm

Laserkeilauksessa mittausepätkarkkuutta aiheuttavat muun muassa laserpulssien kulkuajan, keilauskulman sekä keilaimen paikkatiedon ja asennon määrittämisen epätarkkuus. Ilma-alueen vaaka-, pituus- ja pysty akselin suhteen tapahtuvat asennon muutokset vaikuttavat suoraan laserpulssiin osuapisteiden määrittämistarkkuuteen, joten ne täytyy tuntea ja eliminoida viimeistään jälkilaskennassa.

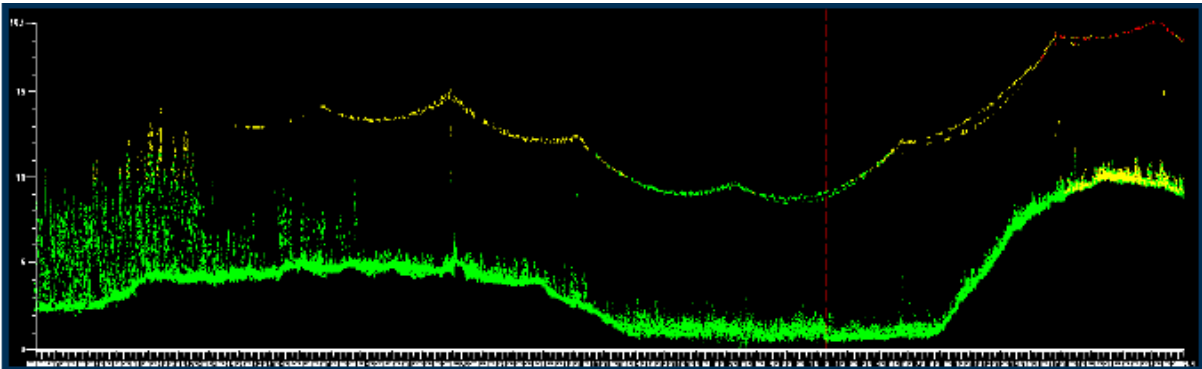
Laserkeilauksessa paikka- ja asentotiedon määrittämiseen käytetään GPS-paikannusta ja elektronista inertianmittauslaitetta (IMU). Paikka- ja asentotietoja voidaan tarkentaa keilausaineiston jälkikäsitteilyn yhteydessä tehtävällä laskennalla.

Tyypillisiä laserkeilaimien suoritusarvoja:

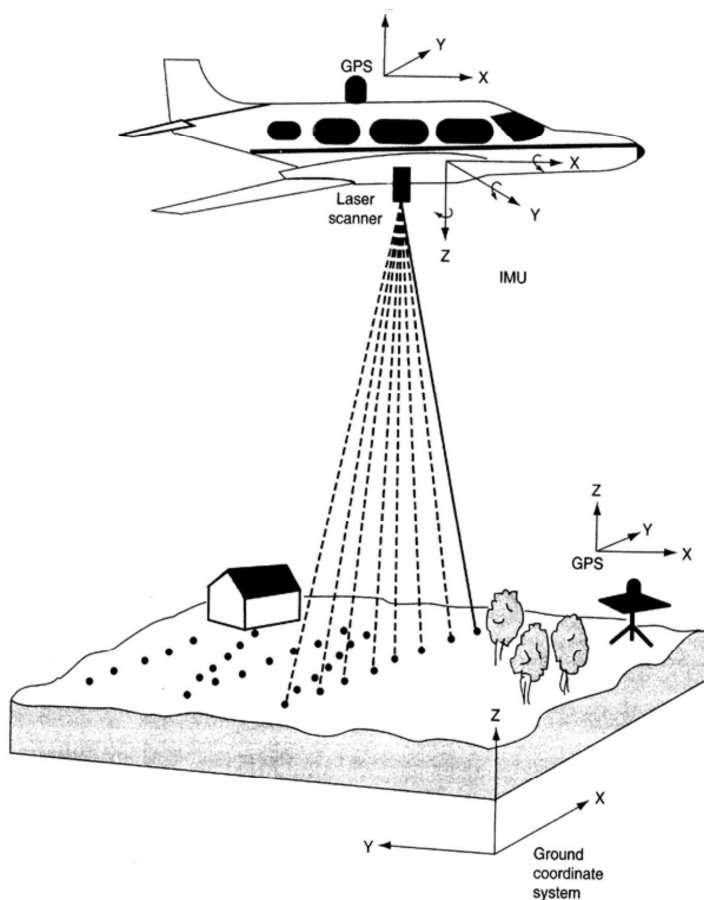
- Pulssitaajuus 50kHz – 600 kHz (jopa yli 1 MHz), vaikuttaa pulssitehoon ja mittausepätkarkkuuteen, suuri pulssitaajuus = lyhyt mittausepätkarkkuus = suuri erotuskyky
- Käytetty valon aallonpituus vaihtelee sovelluksesta riippuen 250 nm – 10,6 µm, esim:
 - 250 nm ultraviolettia - meteorologia
 - 500 – 600 nm sininen/punainen - tieteelliset ja geotieteelliset sovellukset
 - 1,0 – 1,1 µm lähi-infrapuna, lyhytaaltainen – kaukokartoitus, verkosto keilaus
 - 1,5 – 2 µm lähi-infrapuna, pitkäaaltainen - meteorologiset Doppler-tutkat
 - 10,6 µm infrapuna - kaukokartoitus
- Keilanleveys 0,1 – 1 mrad (milliradiaania)
- Keilaustaajuus -> 500 keilausta/s
- Keilauskulma -> ±75° (-> ±300° pyörivät anturit)

- Mittausnopeus jopa yli 1 000 000 mittausta/s (huom. valonnopeus 300 m/μs)
- Lentokorkeus 50 – 1 000 m maan pinnasta
- Kyky havainnoida useita, jopa 5 heijastusta samasta pulssista, vrt. lehdet, maan pinta
- Tyypillinen pulssitiheys 20 – 100 pulssia/m² (johtokatukeilaus, lentokorkeus alle 100m)
- Korkeussuuntainen epätarkkuus 10 – 20 cm
- Vaakasuuntainen epätarkkuus 1cm – 1m

Laserkeilauksen karkea resoluutio = kulmaepätarkkuus (radiaania) x keilausetäisyys.



Kuva 10. 20 kV-johdon laserkeilausaineiston avulla tehty johdon poikkileikkausprofiili



Kuva 11. Laserkeilauksen periaatekuva

Laserkeilauksen hyötyjä

- kaikki data on koordinaatistoon sidottua
- suuri tarkkuus
- mahdollisuus laajojen alueiden nopeaan havainnointiin
- nopea kuvauksen käynnistäminen ja vähemmän työvoimaintensiivinen kuin perinteiset fotogrammetriset ilmakuvausmenetelmät
- saadaan dataa myös varjoalueilta
- aineistosta voidaan tuottaa maaston korkeus- ja pintamalleja

Laserkeilauksen haittoja

- ei läpäise paksua kasvustoa, esimerkiksi vahva lehtipeite
- hyvin suurikokoiset datatiedostot
- standardoitujen protokollien puute
- osin hinta, erityisesti lentorobottikäytössä laserkeilaimen ja sen tarvitseman IMU:n hinta voi olla moninkertainen muun varustuksen hintaan verrattuna

Keilausaineiston esikäsittely

- Suodatetaan selvästi virheelliset havainnot ja kohinaa
- Heijastuneet pulssit luokitellaan ja tallennetaan sisältäen myös pulssin intensiteettiarvon
- Raakadatan formaatti on valmistajakohtainen ja data voidaan koodata uudelleen esimerkiksi julkiseen binääriin LAS-formaattiin (<http://www.lasformat.org/>):

Item	Format	Size	Required
X	long	4 bytes	*
Y	long	4 bytes	*
Z	long	4 bytes	*
Intensity	unsigned short	2 bytes	
Return Number	3 bits (bits 0, 1, 2)	3 bits	*
Number of Returns (given pulse)	3 bits (bits 3, 4, 5)	3 bits	*
Scan Direction Flag	1 bit (bit 6)	1 bit	*
Edge of Flight Line	1 bit (bit 7)	1 bit	*
(1.1) Classification	unsigned char	1 byte	*
(1.1) Scan Angle Rank (-90 to +90) – Left side	char	1 byte	*
(1.1) User Data	unsigned char	1 byte	
(1.1) Point Source ID	unsigned short	2 bytes	*

Taulukko 4.1. LAS pistetiedon tallennusmuoto

Keilausaineiston käsittely

Käsittely riippuu käyttötarkoituksesta, käsittelyohjelmistoja mm:

- TerraScan (suomalaisen Terrasolid Oy:n tuote)
- QT Modeler
- ArcGIS
- Leica Photogrammetry Suite
- Visimind Ab:n ohjelmistot ja palvelut keilausaineiston käsittelyyn
- Sharper Shape Oy:n ohjelmistot ja palvelut keilausaineiston käsittelyyn

Laserkeilauksen kehitysnäkymiä

Lähietäisyyden laserkeilausta varten on Australiassa suunniteltu reaaliajassa 3D-laserkeilausaineistoa tuottava laite, jonka sarjatuotantoa ollaan käynnistämässä, <http://www.csiro.au/Organisation-Structure/Divisions/Computational-Informatics/Zebedee-3D-mapping.aspx> . Laitetta voidaan mahdollisesti hyödyntää tulevaisuudessa myös verkoston tarkastuksissa.

Laserkuvaa voidaan jatkossa muodostaa yhden sirun erikoiskennoilla, joissa on ryhmä nopeita, CMOS-pohjaisia ilmaisimia. Kennoissa voi olla pikselikohtaista ohjaus- ja prosessointikykyä. Esimerkkinä uusimmista detektoreista mainittakoon tänä vuonna yhdysvaltalaisen Lincoln-laboratorion julkistama siru, jossa on noin 16 400 pikseliä.

Lisätietoa laserkeilauksesta esimerkiksi maanmittauslaitoksen www-sivut, <http://www.maanmittauslaitos.fi/kartat/laserkeilausaineistot/laserkeilaustekniikka> ja keilaustekniikan vaikutuksesta havaintojen laatuun Rieglin dokumentista http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegldownloads/Airborne_Laser_Scanning_what_to_expect_from_your_sensor_2013-03-08.pdf, /17/.

Näköhavainnointi

Kuten jo dokumentin luvussa 3 mainittiin, verkostotarkastushavaintoja tehdään ilma-aluksista silmämääräiseen havainnointiin perustuen muun muassa suurhäiriön alkutilanteessa tilannekuvan muodostamiseksi ja suurhäiriöselvityksen edetessä myös yksittäisten verkkovikojen paikallistamiseksi. Yksittäisten vikojen vikainformaation siirtoa verkkoyhtiön paikkatietopohjaisiin tietojärjestelmiin on myös automatisoitu liittämällä helikopterissa lennonaikana käytettävä vikakirjauspäätte esimerkiksi matkaviestinverkon datayhteydellä verkkoyhtiön verkkotietojärjestelmään. Menetelmän etuna on, että vikahavainnot saadaan käytännössä reaaliajassa vikaselvitystä tekevien henkilöiden käyttöön.

Myös kunnossapitoon liittyviä verkoston näköhavaintotarkastuksia tehdään vielä joskin vähenevässä määrin. Vaikeasti erotettavien vikojen, kuten esimerkiksi johtimien säievaurioiden tai eristinvaurioiden havaitseminen vaatii erityistä tarkkaavaisuutta havaintojen tekijältä. Näköhavainnointiin perustuvien lentojen tehokkuus on ilmakeuhausmenetelmiin verrattuna selvästi heikompi ja osa vaikeasti nähtävissä olevista vioista jää ilmasta usein havaitsematta.

5 ILMAILULAINSÄÄDÄNTÖ JA LENTOTOIMINNAN EDELLYTYKSET

5.1 Yleistä ilmailun sääntelystä ja toimintamallista

Ilmailu on kansainvälisesti ja kansallisesti ehkä toimialoista kaikkein säädellyin. Tarkka sääntely on ollut välttämätöntä maiden rajat ylittävän ja mannerten välisen liikenteen toimivuuden ja ilmailun turvallisuuden takaamiseksi. Kaupallisen ja harrasteilmailun sääntelyn välillä on selkeitä eroja siten, että kaupallisen ilmailun sääntely on selvästi tiukempaa ostavan asiakkaan turvallisuuden ja palvelutason varmistamiseksi. Omaan käyttöön saa tuottaa lentopalveluja kevyemmällä muodollisella sääntelyllä kuin kaupalliseen toimintaan. Esimerkiksi lentokerhot saavat hinata purjekoneita, lennättää laskuvarjohyppääjiä ja suorittaa palotarkastuslentoja maksua vastaan ilman ansiolentäjän lupakirjaa myös tyyppihyväksymättömillä ilma-aluksilla. Miehitetyillä ilma-aluksilla harjoitettava ansiolento-toiminta vaatii aina toimintaa varten erillisen luvan, tyyppihyväksytyt ilma-alukset ja lentäjiltä ansiolentäjän lupakirjan. Sähköverkkoyhtiöille helikopteripalveluja myyvilä yrityksiltä edellytetään vähintään lentotyölupaa, joka edelleen edellyttää muun muassa tyyppi-hyväksytyt helikopterit ja ansiolentäjän helikopterilupakirjan. Tyyppihyväksytyt ilma-alukset ovat käytännössä teollisesti tehtaassa valmiiksi rakennettuja koneita, joille on suoritettu kattava ja kallis tyyppitestausohjelma.

5.2 Kansainväliset ja kansalliset sopimukset ja lainsäädäntö

5.2.1 Kansainväliset toimijat, sopimukset ja säädökset

Kansainvälisesti tärkein ilmailun suosituksia ja sopimuksia valmisteleva taho 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 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 unioni asettaa tavoitteita ilmailun kehittämiseen erilaisilla ohjelmilla ja laatii myös Suomessa noudatettavaa lainsäädäntöä. Unionin miehittämättömiä ilma-aluksia käsittelevä strategiapaperi "Roadmap for the integration of civil Remotely-Piloted Aircraft Systems into the European Aviation System" julkaistiin kesäkuussa 2013, linkki dokumenttiin <http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/aerospace/uas/>.

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

Euroopan ilmaliikenteen hallinnasta, lennonjohtopalvelujen sekä muiden lennonvarmistuspalvelujen (ATM) suunnittelusta ja kehittämisestä vastaa monikansallinen ja valtioiden välinen organisaatio Eurocontrol (European Organisation for the Safety of Air Navigation), <https://www.eurocontrol.int/> , linkki palveluportaaliin (Network Operations Portal) <https://www.public.nm.eurocontrol.int/PUBPORTAL/gateway/spec/index.html>. Eurocontoliin kuuluu 40 jäsentä, joista osa on EU:n ulkopuolisia maita. Eurocontrolin päämaja on Brysselissä.

5.2.2 Kansalliset viranomaistoimijat ja säädökset

Suomessa kansallisena ilmailun viranomaistehtäviä hoitaa Liikenteenturvallisuusvirasto Trafi, joka sääntelee määräyksin ilmailulain nojalla ne kansallisen ilmailun alueet, joita EU ei sääntele. Voimassa oleva ilmailulaki löytyy Finlexin sivulta <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2009/20091194> ja kansallinen ilmailun säädöskokoelma Trafín sivulta <http://www.trafi.fi/ilmailu/saadokset> . Käytännön lentotoimintaa sääntelevät erityisesti sivujen määräyskokoelmaan kootut ilmailumääräykset.

Alle 150 kg:n lentoonlähtömassaiset (MTOW) miehittämättömät ilma-alukset ovat toistaiseksi kansallisen sääntelyn piirissä eli niiden käyttöön liittyvät ilmailusäädökset laatii Trafi.

Ilmatilan käyttö ja sitä koskeva päätöksenteko on vielä pitkälle kansalliseen itsemääräämisoikeuteen kuuluvaa toimintaa. Suomen ilmatilan hallinnan politiikasta vastaa valtioneuvoston asettama kansallinen Ilmatilan hallinnan neuvottelukunta (High Level Policy Body – HLB), jonka asema on määritetty 10.12.2010 Liikenne- ja viestintäministeriön ja Puolustusministeriön laatimalla Ilmatilan hallinnan puitesopimuksella. Käytännössä kansainväliset sopimukset, EU:n lainsäädäntö ja noudatettavat kansainväliset suositukset rajoittavat huomattavasti kansallista sääntelyvapautta.

Suomen lennonjohto- ja lennonvarmistuspalvelujen tuottamisesta vastaa valtion 100% omistama yhtiö Finavia Oy. Yhtiö ylläpitää maamme lentoasemaverkostoa, huolehtii ilmatilan kansallisesta allokoinnista ja tuottaa ilmailutiedotuspalvelun (AIS), <https://ais.fi/>, /19/.

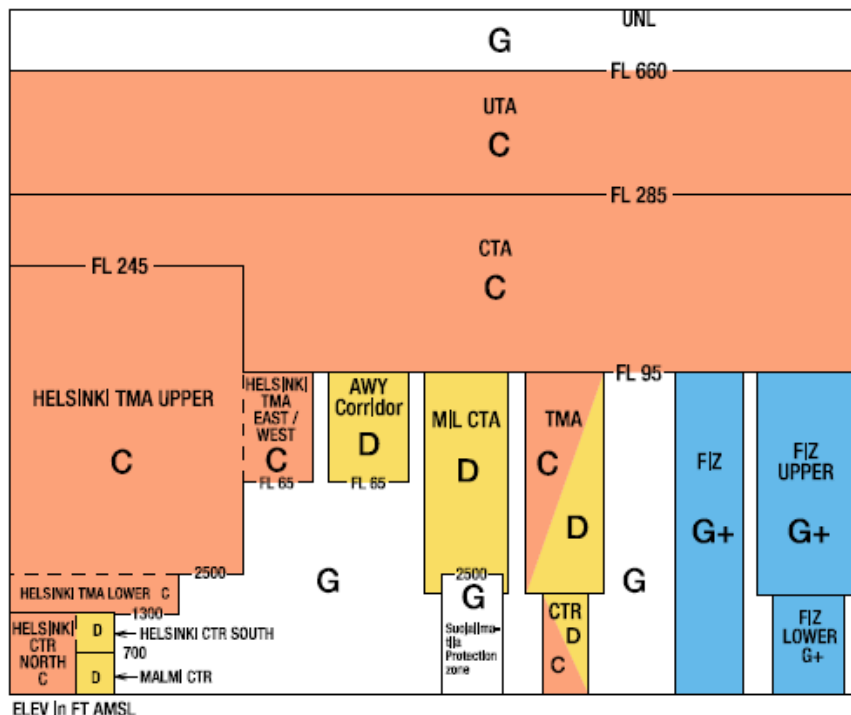
Maamme ilmailun pysyväisluonteiset perustiedot sisältyvät Finavia Oy:n julkaisemaan Suomen Ilmailun käsikirjaan (AIP Suomi-Finland), /18/. Dokumentti sisältää pysyväisluonteiset ilmailun perustiedot, kuten tiedot määräyksistä, lentoasemista, lentoreiteistä ja lentomenetelmistä sekä muut tiedot, joita tarvitaan Suomessa lentämiseen. Ilmailukäsikirja on osa Finavian ylläpitämää ilmailutiedotuspalvelua (AIS), joka on määritelty kansainvälisessä siviili-ilmailun yleissopimuksessa. AIS-sivujen osion AIS-tuotteet ja palvelut kautta, <https://ais.fi/C/palvelut> , pääsee esimerkiksi edellä mainitun ilmailun käsikirjan sähköiseen versioon (eAIP) tai vaikkapa sähköiseen lentoesteluetteloon, <https://ais.fi/ais/aipobst/aipobst.htm>.

Raportin kirjoittamisen hetkellä on meneillään muutosprosessi, jossa sekä ilmailulakiin että lentotyötä sääntelevään ilmailumääräykseen OPS M1-23 on tulossa miehittämättömiä ilma-aluksia koskevia täydennyksiä. Ne muun muassa mahdollistaisivat ansiolentotoiminnan harjoittamisen RPAS-ilma-aluksilla kevennettyä sääntelyä noudattaen. Uudessa lentotyömääräyksessä miehittämättömillä ilma-aluksilla harjoitettava ansiolentotoiminta on tietyin edellytyksin vapautettu varsinaisesta lentotyöluvasta.

5.3 Ilmatilan rakenne

Suomessa on lähes kaikista muista Euroopan maista poikkeava ilmatilan rakenne siten, että ilmatilamme on sekä siviili- että sotilasilmailun yhteiskäytössä. Järjestelystä käytetään nimitystä jaettu ilmatila. Tällä on pyritty joustavaan ja tehokkaaseen ilmatilan hyödyntämiseen. Maamme ilmatila on jaettu valvottuun (ICAO ilmatilaluokat C ja D) ja valvomattomaan ilmatilaan (ICAO ilmatilaluokka G ja kansallinen ilmatilaluokka G+), ASM-toimintakäsikirja, <http://www.trafi.fi/filebank/a/1376474760/6cf2b762e5d059ffdde70cb97b891e05/13034-ASM-toimintakäsikirja.pdf> , /20/.

Ilmatilarajat julkaistaan Suomen Ilmailukäsikirjassa (AIP). Ilmatila muodostuu monista erilaisista toiminnallisista osista, joita rajoittavat sekä vaakasuuntaiset (rajatut alueet) että korkeussuuntaiset tasot. Ilmatila on rakenteeltaan porrasmainen muun muassa lentoasemien läheisyydessä. Suurin osa Suomen 150 metrin korkeuteen (500 jalkaa) maan pinnasta (AGL) ulottuvasta ilmatilasta on valvomatonta ilmatilaa. Maamme valvottu ilmatila alkaa em. 150 metristä ylöspäin ja ulottuu noin 20 kilometrin (66 000 jalkaa) korkeuteen saakka. Ilmatilan pystysuuntaista rakennetta on esitetty kuvassa 12, FL-korkeudet satoja jalkoja.



Kuva 12. Ilmatilan pystysuuntainen jako ja alueluokitus

Suomen ilmatilan käyttötarkoituksen mukaisesti luokiteltu aluerakennetta on esitetty kuvassa 13. Ajantasainen kartta aluerakenteesta löytyy Finavian ylläpitämiltä sivuilta, <https://ais.fi/ais/eaip/fi/> . Kuvan tilapäiset erillisvarausalueet (TSA) ja tilapäiset ilmatilavarausalueet (TRA) ovat perustettu sotilasilmailun tarpeisiin. Alueiden sisäpuolella tapahtuva toiminta edellyttää kyseisen ilmatilan varaamista määrätyksi ajanjaksoksi tietyn käyttäjärühmän toimintaa varten, /20/.

Kuvan TSA- ja TRA-alueiden luokat ja värikoodit:

- Luokka 1 (keltainen); ensisijaisesti päivittäiseen toimintaan suunnitellut alueet
- Luokka 2 (punainen); harjoitustoimintaan suunnitellut alueet
- Luokka 3 (valkoinen); laajamittaiseen harjoitustoimintaan suunnitellut alueet
- Kansainvälisen CBA-toiminnan alueet, muutoin kansainvälisten sopimusten perusteella hallitut alueet tai eräät muut erikoisalueet (turkoosi rajausta tai violetti raidoitus)

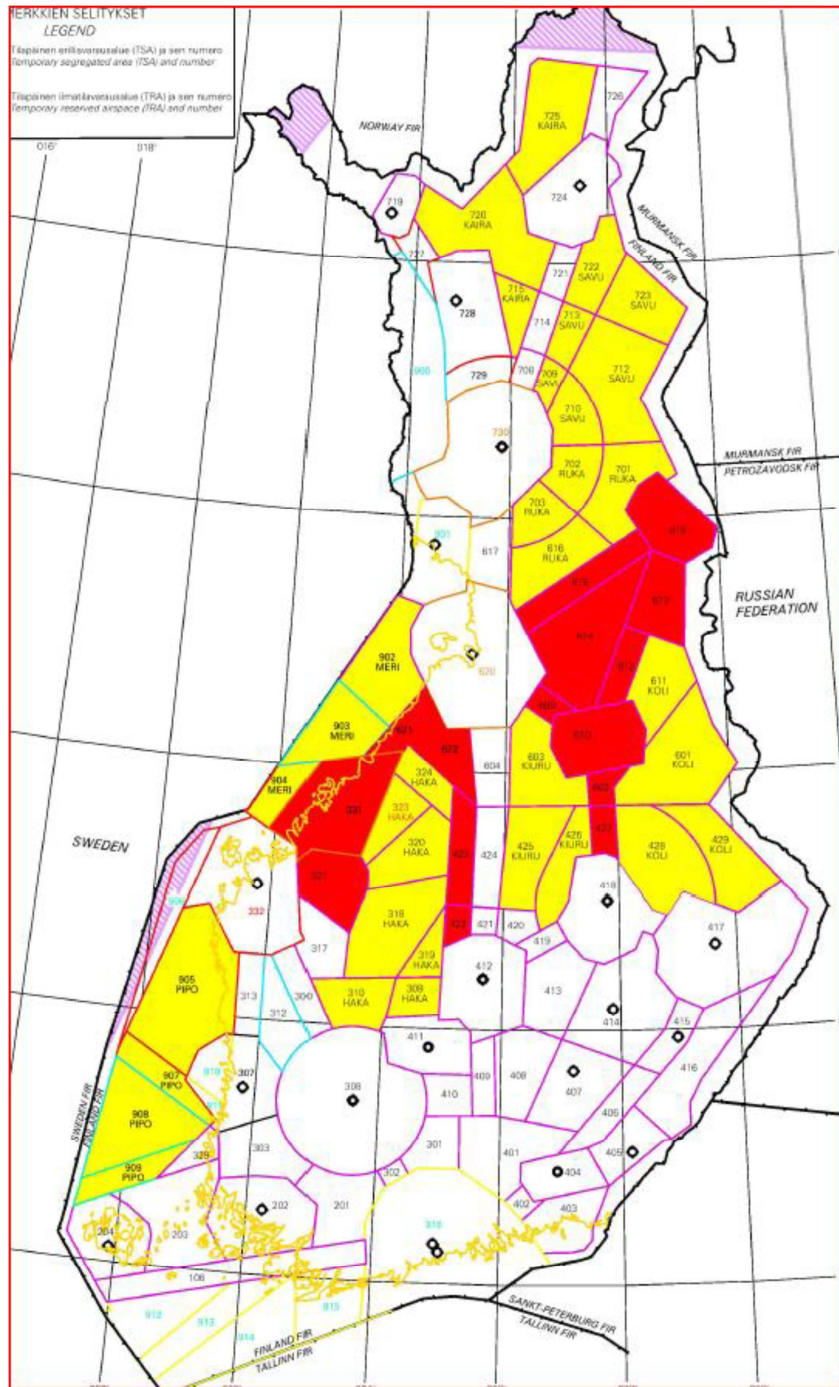
Lisäksi on lentotoimintaa rajoitetaan tietyin perustein muun muassa seuraavilla erityisalueilla:

- Kieltoalue – P-alue, kieltoalueet on julkaistu Valtioneuvoston asetuksessa ilmailulta rajoitetuista alueista ja EFIN AIP ENR -osassa.
- Rajoitusalue – R-alue, rajoitusalueet on julkaistu valtioneuvoston asetuksessa ilmailulta rajoitetuista alueista ja EFIN AIP ENR osassa.
- Vaara-alue – D-alue, ilmailun pysyvät D – alueet on julkaistu ilmailumääräyksessä OPS M1 – 28 ja EFIN AIP ENR -osassa
- Purjelentoalue – G-alue, purjelentoalueet on julkaistu EFIN AIP ENR osassa

Trafi voi hakemukseen ja ilmailulain 8 §:ään perustuen myöntää erikseen määriteltyyn toimintaan tarkoitettuja tilapäisiä ilmatilarajoituksia eli käytännössä luvan sulkea ilmatila muulta liikenteeltä. Tällainen toiminta voi olla esimerkiksi sähköverkoston normaalit näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvat tarkastuslennot (ns. B-VLOS-lennot). Trafi voi rajoittaa tai kieltää ilmailun tietyllä alueella enintään kahden viikon ajaksi.

Tilapäisiä ilmatilavarausalueita voidaan perustaa ASM-toimintakäsikirjassa kuvattujen menetelmien mukaisesti. Varauksen tekeminen kestää käytännössä noin 14 viikkoa ja varaamisesta perittävä maksu on merkittävä.

Edellä kuvatusta käy ilmi, että ilmatilan rakenne on sängen monimutkainen eikä ilmatilan varaaminen käy käden käänteessä. Onneksi toimittaessa näköyhteydellä valvomattomassa ilmatilassa 150 metrin alapuolella ei niistä tarvitse murehtia. Riittää, että tietää lennättävänsä laillista alusta valvomattomassa ilmatilassa ja väistää muita ilma-aluksia sekä maassa olevia kohteita.



Kuva 13. Suomen ilmatilan vaakasuuntainen rakenne

5.4 Lentäminen valvomattomassa ilmatilassa

Miehitetyllä ilma-aluksella, tyypillisesti helikopterilla on hyvin yksinkertaista operoida valvomattomassa ilmatilassa (ilmatilaluokka G), sillä siihen ei välttämättä liity mitään lentokohtaista lupamenettelyä tai edes ilmoitusvelvollisuutta aluelennonjohdolle. Yleissääntö on, ettei G-luokan ilmatilassa lennettäessä tarvitse olla välttämättä edes radiota tai sillä ei tarvitse tehdä mitään ilmoituksia.

Sama koskee nykyisin myös lentorobottien lennättämistä näköyhteydellä valvomattomassa ilmatilassa. Näköyhteydellä lennättäminen 150 metrin alapuolella ei vaadi mitään lupia tai edes ilmoituksen tekemistä.

Lentorobottien käyttäminen verkostontarkastuslentoihin näköyhteyden ulkopuolella (ns. B-VLOS-lennot) edellyttää ilmatilan varaamista kyseisiä lentoja varten eli ilmatilan sulkemista muulta ilmailulta vaikka lennettäisiin valvomattomassa ilmatilassa korkeuden 150 m alapuolella. Ilmatilan varaaminen miehittämättömiä tarkastuslentoja varten on tällä hetkellä aikaa vievä ja hankala prosessi. Onneksi ilmatilan rakenteeseen on suunnitteilla muutoksia, jotka mahdollistaisivat ilmatilan rinnakkaiskäytön tietyin edellytyksin. Lisäksi ilmailutyötä koskevaan määräykseen on tulossa miehittämättömien ilma-alusten käytön mahdollistava lisäys. Yhdessä nämä helpottaisivat tuntuvasti miehittämättömien ilma-alusten käyttöä erilaisissa vaativissa sovelluksissa, joihin myös sähköverkoston tarkastuslennot on laskettavissa.

5.5 Lentäminen valvotussa ilmatilassa

Miehitetyillä ilma-aluksilla operoiminen valvotussa ilmatilassa (yli 150 m maan tai veden pinnasta) voidaan karkeasti jakaa kahteen erilaiseen pääluokkaan:

1. Lentäminen näköhavaintojen perusteella eli ns. VFR-toiminta
2. Lentäminen mittariavusteisesti eli ns. IFR-toiminta

Lentäminen valvotussa ilmatilassa edellyttää kirjallisen lentosuunnitelman laatimista ja yleensä yhteyden pitoa lennonjohtoon radioteitse.

Lentopinnan FL95 yläpuolelle eli yli 2900 metrin korkeudelle saa koko maassa mennä vain aluelennonjohdon luvalla, ja siellä lennettäessä koneessa pitää olla transponderi, joka lähettää lennonvalvontaan koneen tunnuksen, sijainnin ja korkeuden.

Lentorobotin lennättäminen valvotussa ilmatilassa näköyhteydellä edellyttää myös lentosuunnitelman tekemistä. Lentokorkeutta 150 m maanpinnasta ei kuitenkaan saa ylittää (edellyttää ilmatilan sulkemista muulta ilmaliikenteeltä).

5.6 Lentosuunnitelma ja ilmailukartat

Lentosuunnitelma

Lentosuunnitelma laaditaan ja toimitetaan sähköisesti käyttäen eFPL -lomaketta tai eFPL -vapaalla tekstikentällä, täyttöohje https://ais.fi/files/finavia2/FPL%20-ohjeet/eFPL_kayttoohje_netisivuille.pdf . Esimerkkejä lentosuunnitelmista on AIS-palvelun sivulla https://ais.fi/files/finavia2/FPL%20-ohjeet/FPL_esimerkit.pdf. Lentosuunnitelman voi lähettää strukturoidulla lomakkeella tai käyttämällä vapaata tekstikenttää myös telefaxilla tai jopa puhelimitse, mikäli ilmoittajalla ei ole mahdollisuutta täyttää ja lähettää lomaketta sähköisesti. Lentosuunnitelma tulee toimittaa pääsääntöisesti 60 minuuttia ennen lentoa lähtöä. Lentosuunnitelma perille meno tulee varmistaa puhelimitse. Lentosuunnitelmia ja muita ATS -sanomia, joiden perille menoa ei ole varmistettu, ei käsitellä.

Lentosuunnitelman aktivointi- ja päättämislmoitukset eli lähtö- ja saapumislmoitukset tulee tehdä ATS-elimelle (lennonjohto tai AFIS). Valvomattomilta lentopaikoilta tai ATS-elimien ollessa voidaan ilmoitus antaa myös aluelennonjohtolle.

Ilmailukartat

Lentämisen reittisuunnitteluun ja itse lentämistä (esim. lähestymistä ja laskeutumista) tukemaan on saatavissa suuri määrä erilaisia ilmailukarttoja, kuvaus ja luettelo kartoista https://ais.fi/ais/eaip/pdf/gen/EF_GEN_3_2_EN.pdf .

Ilmailukartoissa käytettyjä lyhenteitä ja termejä, /1/:

- CTR, lentokentän valvottu lähialue, ulottuu maan pinnasta 300 – 500 metrin korkeuteen
- TMA valvottu lähestymisalue lentokentän ympärillä, alaraja on 300 – 500 metriä, yläraja yleensä 2900m
- TWR (Tower) lähilennonjohto, kartassa myös lentokentän tornin radiotaajuus
- FIZ lennontiedotusalue, täällä lennettäessä pitää olla ilmailuradio
- MIL CTA sotilaslennonjohtoalue
- P (Protected) lentokietoalue, lentäminen ilman erityislupaa kielletty
- R (Restricted) rajoitusalue, lentäminen ilman erityislupaa kielletty
- D (Danger) vaara-alue, lentäminen kielletty alueen ollessa aktiivisena
- MSL (Mean Sea Level) korkeus merenpinnasta jalkoina
- SFC (Surface) tai GND (Ground) maanpinta
- Ilmatilaluokkia on useampia, ja niiden tunnuksia ovat C, D, G+ ja G
- FL95, (Flight Level xxx), korkeus meren pinnasta satoina jalkoina, eli tässä 9500 ft eli noin 2900m
- Ilmailuradio täytyy olla käytössä ilmatilaluokissa C, D ja G+
- Ilmailukartan korkeudet ilmoitetaan jalkoina (ft) ja yksi jalka on noin 0,3 metriä
- Ilmailukarttojen merkit, ilmatilan periaaterakenne ja karttojen lehtijako: https://ais.fi/ais/aica/A/A2013/EF_CIRC_2013_A_013_en.pdf

5.7 RPAS-koulutus

Suomessa ei varsinaisesti ole tahoa, jonka koulutusohjelmaan kuuluisi julkinen miehittämättömien ilma-alusten lentokoulutus. Ilmailukerhot antavat jäsenilleen lennokkeihin liittyvää koulutusta ja opastusta. Puolustusvoimat kouluttavat omat miehittämättömien koneidensa ohjaajat. Itä-Lapin ammattikorkeakoulu on järjestänyt Kemijärvellä RPAS-järjestelmien käyttöön liittyviä kursseja, mutta koulutus ei ole jatkuvaa.

Miehittämättömien ilma-alusten tekninen koulutus maassamme on sangen satunnaista ja hajanaista. Jaksot ovat lähinnä muiden koulutusohjelmien osia tai yksittäisiä projekteja. Alalla olisi pioneerikouluttajalle markkinarako. Riittävän ammattimaisen osaamis pohjan saavuttamiseksi alan siviilipuolen koulustarjontaa on kehitettävä ja monipuoliset valmiudet omaavien ohjaajien koulutus käynnistettävä pikaisesti. Erityisesti koulutus soveltuisi tarvittavan monialaisuuden takia ammattikorkeakouluille. RPAS-ohjaajakoulutuksen tulisi sisältää ilmailun yleistietouden, ilmailusääntöjen ja viestintämenetelmien (esim. radioliikenne) lisäksi miehittämättömien ilma-alusten tekniikkaa, automatisoitujen lentojen reittisuunnittelun ja navigoinnin perusteet ja lentojen hallinnan sekä erilaisten aluksissa käytettävien havaintovälineiden ominaisuuksia ja rajoituksia.

5.8 Tarkastuslentotoiminnassa tarvittavat luvat ja kelpuutukset

Miehitetyillä ilma-aluksilla operoitaessa ansiolentotoiminta edellyttää lentäjältä pätevyyttä (ansiolentäjän lupakirjaa) sekä ilma-alukselta lento-olosuhteiden mukaista varustusta (VFR- tai IFR-kelpuutus) ja tyyppihyväksyntää. Ansiolentotoiminnassa käytettävä miehitetty ilma-alus on oltava merkitty ilma-alusrekisteriin. Rekisteriin merkitty ilma-alus on katsastettava säännöllisesti.

Toistaiseksi miehittämättömien ilma-alusten lennättäminen ei vaadi muodollista pätevyyttä (lupakirjaa), joten alkuun riittää esim. RPAS-valmistajan järjestämä koulutus/perehdyttäminen.

Ilma-alus on erikseen hyväksytettävä ilmailuviranomaisilla, mikäli siihen liitetään ulkopuolinen havaintolaite (kamera tms.) tai alukseen tehdään reikiä kuvaamisen mahdollistamiseksi. Määräys ei koske experimental-koneita, riippuliitimiä eikä miehittämättömiä ilma-aluksia.

Ansiolentotoiminta miehitetyllä ilma-aluksella edellyttää lentotyölupaa, joka myönnetään tällä hetkellä ainoastaan miehitetylle, rekisteröidylle ilma-alukselle. Raportin kirjoittamisen hetkellä on meneillään muutosprosessi, jossa sekä ilmailulakiin että lentotyötä sääntelevään ilmailumääräykseen OPS M1-23 on tulossa miehittämättömiä ilma-aluksia koskevia täydennyksiä. Ne muun muassa mahdollistaisivat ansiolentotoiminnan harjoittamisen RPAS-ilma-aluksilla kevennettyä sääntelyä noudattaen. Uudessa lentotyömääräysluonnoksessa miehittämättömillä ilma-aluksilla harjoitettava ansiolentotoiminta on tietyin edellytyksin kokonaan vapautettu varsinaisesta lentotyöluvasta.

Miehittämättömällä ilma-aluksella operointi eli uuden määräyksen OPS M1-23 mukainen lentotyö näköyhteyden ulkopuolella edellyttää todennäköisesti jatkossakin ilmatilan sulkemista ja erityistä Trafirin myöntämää poikkeuslupaa ns. B-VLOS-lentojen suorittamiseen.

Luvan myöntämisessä Trafilla tulee olemaan laaja harkintavalta ja sen myöntämisen perusteissa tullaan erityisesti painottamaan lentoturvallisuuteen liittyviä asioita.

Ilmatilan varaaminen (sulkeminen) edellyttää aina viranomaisen toimenpiteitä, jotka tehdään erillisen hakemuksen perusteella ASM-käsikirjassa selostetulla tavalla, luku 5.3.

5.9 Toiminnan vakuutukset

Suorituskykyiset miehittämättömät ilma-alukset sekä erityisesti tarkastuslentoissa tarvittava laadukas havaintovälineistö ovat arvokkaita laitteita. Ominaisuuksista ja varustuksesta riippuen toimintakykyisen paketin hinta alkaa 10 000 euron tuntumasta päättyen satoihin tuhansiin euroihin. Huolellinen ja ammattimainen lentotoiminta edellyttää kattavia kaikenvaran vakuutusta (kasko), joka korvaa maahan tai esteeseen törmäyksestä aiheutuneet vahingot. Komissio on lisäksi tekemässä säädöksiä miehittämättömien ilma-alusten vakuuttamiseen liittyen.

Toiminnan vastuuvakuutus tarvitaan erityisesti mahdollisen ulkopuoliselle aiheutetun vahingon korvaamiseksi. Tällainen voi tyypillisesti olla ihmiselle, eläimelle ja kiinteälle tai irtaimelle omaisuudelle aiheutettu törmäysvahinko. Lähteen /1/ mukaan miljoonan euron vastuuvakuutus 1 000 euron omavastuulla maksaa 150 – 500 euroa.

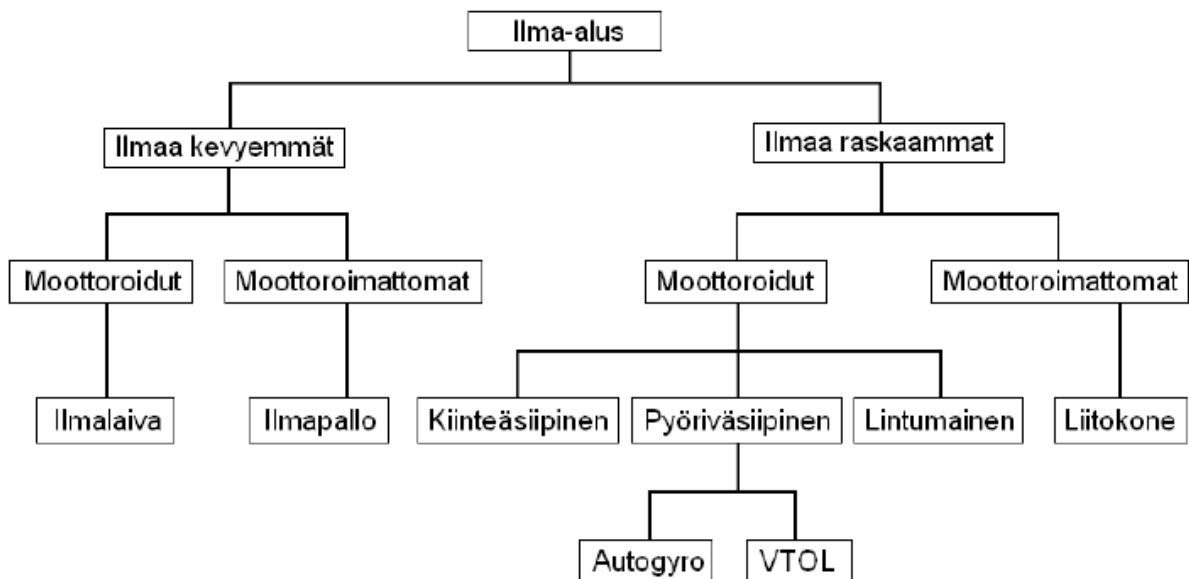
Suomessa tiettävästi vain yksi vakuutusyhtiö myöntää kaskovakuutuksia miehittämättömille ilma-aluksille ja ilma-alukset on yleensä vakuutettu meklarien välityksellä eurooppalaisissa vakuutusyhtiöissä. Kaskovakuutusten hinnat helikoptereille on moninkertaiset kiinteäsiipisiin lentokoneisiin verrattua, joille vuosimaksu on luokkaa 1% koneen arvosta.

6 LENTOROBOTTIEN OMINAISUUDET, SUORITUSKYKY JA SOVELTUVUUS LENTOTARKASTUKSIIN

6.1 Ilma-alusten rakenneratkaisuja

Ilma-alukset voidaan yleisellä tasolla luokitella massan ja voimanlähteiden mukaisesti karkeasti kuvan 14 esittämällä tavalla. Verkoston pitkin lentotarkastuksiin soveltuvat käytännössä tällä hetkellä ainoastaan polttomoottorilla varustetut perinteiset tai isot miehittämättömät helikopterit. Tulevaisuudessa todennäköisesti myös sähkömoottorilla toimivat erilaiset muutkin miehittämättömät ilma-alukset. Miehittyissä keveissä lentoroboteissa käytetään yleisesti sähköä, joka on varastoitu litiumpolymeeri akkuihin. Joissain kokeiluasteella olevissa RPAS-laitteissa lisäsähköä voidaan tuottaa aurinkopaneelilla tai polttokennolla.

Verkoston lentotarkastuksissa kyky nousta ja laskeutua suoraan (VTOL-ominaisuus) lisää helikopterien käyttökelpoisuutta ratkaisevasti kiinteäsiipisiin lentokoneisiin verrattuna, kun opeointiin ei tarvita erillisiä kiitoratoja.



Kuva 14. Ilma-alusten tekninen luokitus, lähde /21/ perustuen lähteeseen /22/.

Lähteen /21/ opinnäytetyössä ”UAV-teknologian kartoittaminen ja TAMK:n UAV-projektin pohjustaminen” on esitelty lentorobottien tekniikan kehittymistä ja ominaisuuksia. Lähteessä /22/, ”Design and control of quadrotors with application to autonomous flying”, on lisäksi laajasti käsitelty moniroottoristen lentorobottien tekniikkaa ja fysikaalisia ominaisuuksia.

6.2 Ilma-alusten ominaisuuksista ja voimanlähteistä

Ilma-aluksen lento-ominaisuuksiin vaikuttaa ratkaisevasti tekninen toteutustapa. Oheisessa taulukossa 6.1 on arvioitu ominaisuuksia eri laitetyppeille asteikolla 1-3, 1 = huono, 3 = erinomainen, lähde /21/ perustuen lähteeseen /22/.

	Lentokone	Helikopteri	Lintu	Autogyro	Ilmalaiva
Energiatehokkuus	2	1	1	2	3
Ohjattavuus	2	1	1	2	3
Hyötykuorma	3	2	2	2	1
Liikehtimiskyky	2	3	3	2	1
Liikehtimissuunnat	1	3	3	2	1
Leijunta	1	3	2	1	3
Hidaslento	1	3	2	2	3
Vaurionsietokyky	2	2	3	2	2
VTOL	1	3	2	1	3
Toiminta-aika	2	1	2	1	3
Pienikokoisuus	2	3	3	2	1
Sisäkäyttö	1	3	2	1	2
Kokonaisuus	20	28	26	20	26

Taulukko 6.1 Ilma-alusten ominaisuusvertailu

Taulukon vertailusta voidaan nähdä, että kiinteäsiipiset ilma-alukset ovat selvästi muita ratkaisuja parempia energiatehokkuudessa ja hyötykuorman määrässä mitattuna. Tämä perustuu kiinteän siiven tehokkuuteen ja aerodynaamisten ominaisuuksiin pyöriväsiipisiin ratkaisuihin verrattuna. Kiinteäsiipisten laitteiden haittapuoli on kyvyttömyys leijuntaan sekä muutoinkin rajoitetummat ohjausominaisuudet. Kiinteän siiven nostokyky riippuu ratkaisevasti sen nopeudesta ympäröivän ilman suhteen.

Taulukossa 6.2 on pisteyttämällä vertailtu pystysuoraan nousemaan ja laskemaan kykenevien (VTOL) ilma-alusten ominaisuuksia eri laitetyppeille asteikolla 1-4, 1 = huono, 4 = erinomainen, lähde /21/ perustuen lähteeseen /22/.

	A	B	C	D	E	F	G	H
Energiätehokkuus	2	2	2	2	1	4	3	3
Ohjauksen energiataloudellisuus	1	1	4	2	3	3	2	1
Hyötykuorma/tilavuus	2	2	4	3	3	1	2	1
Liikehtimiskyky	4	3	2	2	3	1	3	3
Mekaniikan yksinkertaisuus	1	2	3	1	4	4	1	1
Aerodynamiikan haasteellisuus	1	1	1	1	4	3	1	1
Hidaslennettävyys	4	3	4	3	4	4	2	2
Nopeuslennettävyys	2	4	1	2	3	1	3	3
Pienoisuudessa rakennettavuus	2	3	4	2	3	1	2	4
Vaurioherkkyys	1	3	3	1	1	3	2	3
Leijuntakyky	4	4	4	4	4	3	1	2
Kokonaisuus	24	28	32	23	33	28	22	24

A = Yksiroottorinen, B = Aksiaaliroottori, C = Koaksiaaliroottori, D = Tandemroottori, E = Quadrotor, F = Ilmalaiva, G = Linnun kaltainen, H = Hyönteisen kaltainen.

Taulukko 6.2 VTOL-tyyppisten ilma-alusten ominaisuusvertailu

Taulukosta 6.2 voidaan arvioida moniroottoristen VTOL-ilma-alusten (E) päihittävän perinteisen yksiroottorisen helikopterirakenteen (A) erityisesti yksinkertaisen mekaanisen rakenteen ja monipuolisten aerodynaamisten säätöominaisuuksiensa takia.

Sähkömoottorikäyttöisissä monimoottorisissa lentoroboteissa vierekkäiset roottorit pyörivät eri suuntiin ja roottorien lukumäärä on parillinen. Moottorien nopeuden säätö voidaan tehdä moottorikohtaisesti, jolloin alusta voidaan lähes rajoituksetta ohjata kolmiulotteisesti eli siirtää ja kierää kolmen koordinaattiakselin suhteen. Käytännössä tämä etu koskee ainoastaan sähkömoottoriratkaisuja, sillä tämän päivän polttomoottorien säätöominaisuudet eivät riitä moniroottoristen lentorobottien valmistamiseen tai ainakaan niitä ei ole teollisesti tuotettu enemmän kuin kaksi roottorisina.

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

- Quadrokopterit (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.

Yksiroottoriset perinteiseen aerodynamiikkaan perustuvat helikopterit ovat kokonaisuhyötysuhteeltaan käytännössä moniroottorisia lentorobotteja parempia. Syynä ovat perinteisen säätyväsiipisen helikopterin suhteellisen suuri lapapituus ja lapojen monipuoliset säätöominaisuudet. Suuren kokonsa ansiosta lapa toimii lentokoneen siiven tavoin pitkälle laminaarisessa virtausilassa ja lavat antavat poikkeuttamalleen suurelle ilmamassalle pienen lisänopeuden. Moniroottoristen lentorobottien rakenteeltaan kiinteät roottorit toimivat enemmän lentokoneen potkurin tapaisesti antamalla poikkeuttamalleen pienelle

ilmamassalle suuren nopeuden. Poikkeutetun ilmamassan suuri pakonopeus kasvattaa virtauksen turbulentsuutta ja huonontaa hyötysuhdetta. Tämän vuoksi moniroottoristen, ”puhallintyyppisen” lentorobottien energiatehokkuus on perinteisiä roottorirakenteita huonompi.

6.3 Lentorobottien suorituskykyvertailu

Polttomoottorikäyttöiset yksiroottoriset helikopterit ovat suorituskyvyiltään (= toimintasäde x kuormankantokyky) ylivoimaisia nykyisiin sähkökäyttöisiin moniroottorisiin lentorobotteihin verrattuna. Moniroottoriset sähkökopterit kykenevät toimimaan enintään muutaman kilon havaintolaitekuorman kanssa tyypillisesti luokkaa 10 - 20 minuuttia toimintasäteen ollessa pienellä hyötykuormalla alle 5 kilometriä (yksisuuntainen toimintamatka käytännössä enintään 10 kilometriä). Kooltaan suuremmat polttomoottorikäyttöiset miehittämättömät helikopterit kykenevät kantamaan jopa kymmenien kilojen hyötykuorman toiminta-ajan ollessa tunteja ja toimintasäde tarvittaessa jopa 100 - 200 km. Kiinteäsiipisten, sähkökäyttöisten lentorobottien suorituskyky sijoittuu polttomoottorikäyttöisten helikopterien ja moniroottoristen lentorobottien välimaastoon. Kiinteäsiipisillä, sähkökäyttöisillä ja perinteistä lentokonetta muistuttavilla lentoroboteilla voidaan parhaimmillaan saavuttaa 40 - 60 km yksisuuntainen toimintamatka kevyellä (alle 1 kg) hyötykuormalla.

Sähkökäyttöisten lentorobottien heikkous on sähköön varastointiin käytetyt akut, joiden paino syö hyötykuormaa ja energian varastointikyky (joulea/massayksikkö) on nestemäisiin polttoaineisiin verrattuna toistaiseksi heikko. Käytännössä ainoa käytettävä akkuteknologia on korkean energian varastointikyvyn takia litiumpolymeeriakut, joiden lataaminen vaatii niitä varten suunnitellut laitteet ja erityistä huolellisuutta.

UAS-Internationalin kotisivuilta löytyy runsaasti informaatiota kaupallisesti saatavissa olevista RPAS-ilma-aluksista; <http://uvs-international.org/>. Sivut edellyttävät rekisteröintiä ja osa informaatiosta on vain järjestön jäsenien saatavilla. Liitteessä 1. on listattuna esimerkinomaisesti joitain RPAS-valmistajia. Viitteestä /1/ löytyy lisätietoa RPAS-ilma-alusten tekniikasta, laitteiden rakentamisesta ja käyttökokemuksista ilmakuvauksissa.

Oheisessa kuvassa 15 on esimerkkejä lentoroboteista.



Kuva 15. Rakenteeltaan erilaisia lentorobotteja

6.4 Lentorobottien turvallisuusjärjestelmät ja ominaisuudet

Lentorobottien turvallisuusjärjestelmät vaihtelevat suuresti laitteen koon ja käyttötarkoituksen mukaan. Pienimmissä, lähinnä leluiksi luokiteltavissa laitteissa ei ole yleensä mitään turvalaitteita. Suuret ammattimaiseen sekä sotilaskäyttöön tarkoitetut laitteet on varustettu erilaisilla turvalaitteilla, joista tärkeimpiä ovat varmennetut (kahdennetut) navigointi- ja ohjausjärjestelmät sekä ohjausyhteydet.

Suurten ilma-alusten tärkeä turvallisuusvaruste on transponderi, jonka lähettämän signaalin avulla lennonjohto voi tunnistaa ja paikantaa ilma-aluksen. Suuremmat lentorobotit ovat usein varustettu myös vakavien laitevikojen varalta laskuvarjolla, joka voidaan laukaista kauko-ohjaajan toimesta tai tietyin edellytyksin automaattisesti.

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

Hyödyllinen, mutta vähän käytetty lentorobotin varuste olisi ”koirantutkapantaominaisuus” eli satelliittipaikannuksesta saadun paikkatiedon (koordinaattien) lähettäminen matkapuhelimella tehtyyn tekstiviestikyselyyn. Sillä voisi paikantaa alas tippuneen (ehkä ajovirrattoman) tai muutoin kadonneen lentorobotin.

Lentotyömääräyksen OPS M1-23 uuteen luonnokseen (ei vielä vahvistettu määräys) on otettu mukaan seuraavat turvavarusteet/ominaisuudet:

”Ohjaukseen tarvittavan yhteyden menettämisen tai miehittämättömän ilma-aluksen oman toimintahäiriön varalta on seuraavien vaatimusten täytyttävä:

- a) Kauko-ohjaajalla on oltava käytössään jatkuva näyttö, joka ilmaisee ohjaus- ja valvontayhteyden signaalivoimakkuuden ja sen riittävyyden. Lento on keskeytettävä, jos sen jatkaminen johtaisi edellä tarkoitetun näytön tai riittävän signaalivoimakkuuden menettämiseen.*
- b) Käytettäessä kauko-ohjaustähystäjää 3.4.2.2 kohdan vaatimusten täyttämiseksi on kauko-ohjaajan ja kauko-ohjaustähystäjän yhteydenpitoa varten oltava vähintään kaksi toisistaan riippumatonta puheviestintään tarvittavaa välinettä samanaikaisesti käytettävissä.*
- c) Mikään yksittäinen ohjaus- ja valvontayhteysjärjestelmän vika ei saa estää miehittämättömän ilma-aluksen ohjaamista.*
- d) Ohjaus- ja valvontayhteys on suojattava sähkömagneettisten häiriöiden varalta.*
- e) Miehittämättömässä ilma-aluksessa on oltava järjestelmä tai lentotoiminnan harjoittajalla käytössään menettely, joka keskeyttää lennon, kun ohjaukseen ja valvontaan tarvittavat yhteydet katkeavat tai miehittämätön ilma-alus vikaantuu niin, että sen ohjaaminen estyy.*
- f) Kun lentoonlähtömassa on 5 kg tai enemmän, miehittämättömässä ilma-aluksessa on oltava automaattisesti toimiva varustus, joka vähentää edellä e) kohdassa tarkoitettussa häiriötilanteessa liike-energiaa ja antaa varoitusääntä häiriötilanteen ajan.”*

Tulevaisuudessa suurikokoiset lentorobotit varustetaan joko optisilla (lidar) tai radio-aaltoihin perustuvilla (radar) esteiden havainnoitiin kykenevillä, liikenneilmailussa käytettävien laitteiden tapaisilla törmäyksenestotunnistimilla.

7 LENTOROBOTTIEN NAVIGOINTI JA OHJAUS

7.1 Operointi valvomattomassa ilmatilassa

7.1.1 Ohjaus näköyhteydellä (VLOS) valvomattomassa ilmatilassa (G)

Näköyhteydellä lennätettäessä valvomattomassa ilmatilassa ilma-aluksen tulee pysyä 150 metrin alapuolella maan pinnasta (AGL) (tulevaisuudessa korkeus mahdollisesti enintään 120 m AGL) ja ilma-aluksen etäisyys saa uuden lentotyömääräsuunnituksen mukaan olla ohjaajaan tai tähytäjään enintään 500 m.

Käsinohjaus

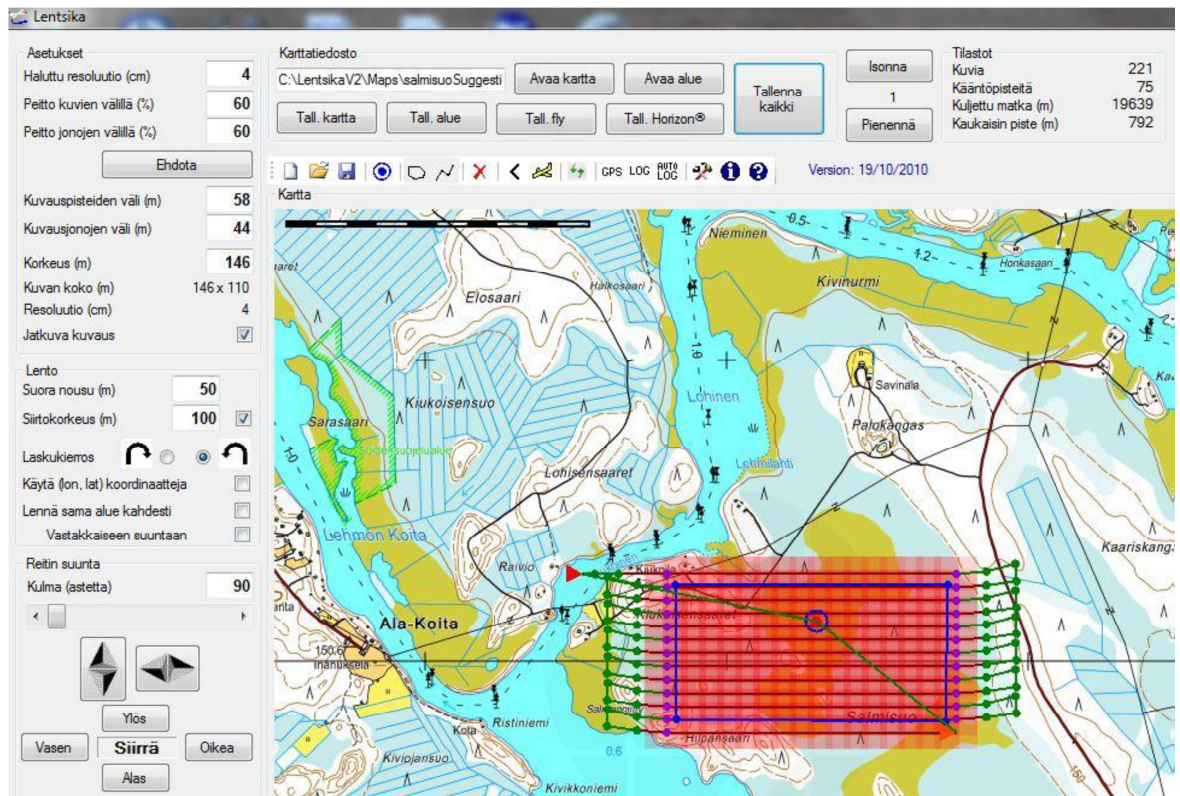
Käsinohjaus näköyhteydellä toimii monikanavaisen radioyhteyden (RC) avulla. Ohjaaja säätää käsin ilma-aluksen moottoritehoa ja mahdollisesti muita ohjauslaitteita aluksen tekniikasta riippuen. Ohjaukseen käytetään yksinkertaisimmillaan joystick-kauko-ohjainta, jossa on kaksi ohjaussauvaa sekä lukuisia joukko muita kytkimiä. Hyvin varustetussa maa-asemassa on ohjaimen lisäksi näyttölaite (tai kannettava tietokone) tai maa-asemassa voi olla jopa useita erillisiä näytöillä varustettuja työasemia. Näyttölaitteesta (työasemasta) 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. Näyttölaitteelle voidaan myös välittää reaaliaikaista videokuvaa suoraan ilma-aluksesta. Vaativissa kuvauslennoissa käytetään usein ohjaukseen kahta henkilöä. Toinen vastaa ilma-aluksen lentoteknisestä ohjauksesta ja toinen ohjaa ja säätää havaintolaitteita, esimerkiksi kameran suuntaa ja kallistuskulmaa. Ohjauksessa käytettävät viestiyhteydet ovat miehittämättömien ilma-alusten käytölle elintärkeitä ja niitä on kuvattu tarkemmin kohdassa 7.3.

Automaattiohjaus

Automaattiohjauksessa konetta ohjaa autopilotti omien sensoriensa välittämän tiedon ja autopilottiin tallennetun reitti-informaation perusteella. Aluksen kulloinenkin sijaintitieto autopilotille saadaan:

1. Ulkoisen satelliittipaikannusjärjestelmän avulla (nykyisin GPS, tulevaisuudessa myös eurooppalainen Galileo) tai
2. Lentolaitteen omaan sisäiseen mittaukseen perustuen käyttämällä inertianmittauslaitetta (hyrräkompassi tai IMU) tai
3. Käyttämällä molempia edellä mainittuja tapoja sopivasti rinnakkain (yleisin tapa)

Lentoreitti suunnitellaan etukäteen työasemalla käyttäen sitä varten kehitettyä järjestelmäkohtaista reittisuunnitteluohjelmistoa. Kuvassa 16. on näkymä eräästä ilmakuvaukseen käytetystä suunnitteluohjelmistosta.



Kuva 16. Näkymä ilmakuvauksen suunnitteluohjelmistosta, lähde /1/

Ohjelmissa tyypillisesti ensin rajataan havainnoitava (lennettävä) alue ja määritetään havaintoparametrit, esimerkiksi vierekkäisten valokuvien päällekkäinen peittoprosentti. Kiinteäobjektiivisillä kameroilla haluttu lentokorkeus määrää kuvan peittoalueen ja resoluution. Seuraavaksi valitaan lentosuunta, mikäli valittavissa. Laaja-alaisia kohteita pyritään usein lentämään sivutuulella etenemissuunnan nopeusvaihteluiden minimoimiseksi. Voimajohtokatuja kuvattaessa lentosuunta täytyy olla johdon suuntainen ja päällekkäispeiton määrittämiseksi riittää perättäisten kuvien peiton määrittäminen. Lopuksi lasketaan lentoreitin reittipisteet ja kuvanottopisteet, mikäli kyseessä on ilmakuvauksen lento. Laskettu reitti viedään kauko-ohjaimen (maa-asemaan) ja mahdollisesti myös lentorobottiin. Kauko-ohjaimena voidaan käyttää myös joystikillä varustettua työasemaa, jolloin tarvitaan lisäksi vain radioviestiliikenteen lähetin-vastaanotinmodeemi.

Seuraavaksi voidaan siirtyä lennon lähtöalueelle, jossa käydään läpi tarkistuslista samaan tapaan kuin miehitetyillä ilma-aluksilla tehtäisiin, esimerkki löytyy lähteestä /1/. Kaiken ollessa kunnossa automaattiohjattu lento voidaan aloittaa antamalla lähtökomento. Kone lentää tuolloin automaattisesti ennalta ohjelmoidun tehtävän ja palaa sen suoritettuaan joko lähtöpisteeseen tai muulle maalialueelle. Tarvittaessa lennon ohjaaja voi siirtyä käsinohjaukseen esimerkiksi muun ilmaliikenteen väistämiseksi tai jostain muusta odottamattomasta syystä. Mahdollisten ongelmien ilmaantuessa (esimerkiksi viat ja yhteyshäiriöt) kone voi myös lentää automaattisesti tai erilliskäskystä ennalta ohjelmoituun turvasatamaan tai lähtöpisteeseen.

7.1.2 Laajennettu näköyhteys (E-VLOS)

Miehittämättömän ilma-aluksen toiminta-alueen laajentamiseksi haluttu lentoalue voidaan varustaa kahdella tai jopa useammalla ohjaajalla/tähystäjällä, joilla kaikilla on tarvittaessa mahdollisuus kauko-ohjata ilma-alusta. Ohjaajat sijoittuvat maastoon sopivan etäisyyden päähän toisistaan. Käytettävät ohjauslaitteet ovat pitkälle samanlaisia kuin edellisessä kohdassa esiteltiin. Ilma-aluksen kontrollin siirtäminen ohjaajalta toiselle saumattomasti (hand over) vaatii ohjausjärjestelmältä kyvyn käsitellä ohjauskanavia hallitusti erikseen. Tarvittaessa ohjaajien tulee pystyä kommunikoimaan koko lennon ajan toistensa kanssa radio-ohjauksessa käytettävistä laitteista riippumattomilla viestivälineillä, esimerkiksi jatkuvalla radiopuhelin- tai matkaviestinyhteydellä.

7.1.3 Lennot näköyhteyden ulkopuolella (B-VLOS)

Sähköverkoston tarkastuslentojen kannalta ehdottomasti tärkein lentorobottien käyttötapa on lennot ohjaavien henkilöiden suoran näköyhteyden ulkopuolelle eli ns. B-VLOS-lennot. Lennot edellyttävät tällä hetkellä ilmatilan sulkemista muulta lentoliikenteeltä. Ollakseen tehokkaita tarkastuslentojen yhtäjaksoisen lentomatkan on voitava olla vähintään 10 km. B-VLOS-lennoissa kauko-ohjaukseen käytettävät laitteet ovat monipuolisia ja niitä on kehitetty erityisesti sotilas- ja turvallisuusviranomaisten tarpeisiin. B-VLOS-ilmakuvauslennot tehdään normaalisti ennakkoon suunniteltua ja ohjelmoitua reittiä pitkin täysin automaattisesti autopilotin ohjaamana satelliittinavigointi- ja/tai IMU-avusteisesti. Ohjaajat seuraavat lentoa usein ilma-aluksesta lähetettävän videokuvan välityksellä ja voivat tarvittaessa ottaa lennon käsinohjaukseen. Tämä rajaa tällä hetkellä ilman satelliittiyhteyttä pisimmät lentomatkat noin 50 – 150 kilometriin viestintäantennien korkeudesta maan suhteen sekä ilma-aluksen lentokorkeudesta riippuen. Ohjauslinkeissä käytetään valmistajakohtaisia ratkaisuja ja taajuuksia. B-VLOS-lentoja voidaan tehdä eräissä sovelluksissa myös käsinohjauksessa. Tällöin nousu ja laskeutuminen voi silti olla automatisoitu.

Raportin kirjoittamisen hetkellä maamme ainoa B-VLOS-lentoja miehittämättömillä ilma-aluksilla rutiininomaisesti ja ilmailuviranomaisten hyväksymällä tavalla suorittava taho on Puolustusvoimat. Niinialossa asemapaikkapaikkansa pitävät kiinteäsiipiset Ranger-tiedustelukoneet ovat sangen suorituskykyisiä ja teknisesti monipuolisia lentolaitteita. Nykykäytännön mukaan Ranger-koneetkin tarvitsevat ns. saattokoneet lentäessään varaamattomassa valvotussa ilma-tilassa.

Siviilikäyttöisten lentorobottien automaattisen navigoinnin ja ohjauksen ominaisuudet ovat vielä pitkälti ensimmäisen sukupolven versioita ja niiden kehittämiseksi tehdään kovasti töitä sekä säädöksiä kehittävien viranomaisten että lentolaiteteollisuuden taholla. Lentojen suunnitteluun käytettävät graafiset työkalut kehittyvät ja suunnittelu voidaan tulevaisuudessa tehdä jopa 3-ulotteiseen maastomalliin perustuen. Tekniikan kehittyessä automaattisia lentoja voidaan tarvittaessa esimerkiksi uudelleen parametroida (lento-ohjelmaa muutetaan kesken lennon kriteerien täytyttyä), lentolaitteet saavat automaattisen kyvyn väistää muita ilma-aluksia tai lentoesteitä ja alukset voidaan varustaa tutkissa näkyvillä tutkavastaajilla (transponderi, TRP) ja esimerkiksi muiden ilma-alusten sijaintitieto voidaan lähettää kaikille samalla alueella ilmassa oleville aluksille väistämisen mahdollistamiseksi ilman perinteisen törmäyksenestojärjestelmän (TCAS) käyttöä jne.

Todennäköisesti myös lennontallennus-laitteet (ns. mustat laatikot) tulevat jossain muodossa käyttöön kookkaissa, näköyhteyden ulkopuolella operoivissa RPAS-ilma-aluksissa.



Kuva 17. Itävaltalaisen Schiebelin näkemys kahdennetusta kauko-ohjausasemasta, viestintälinkistä sekä B-VLOS-lentoihin kykenevästä polttomoottorikäyttöisestä lentorobotista

7.2 Operointi valvotussa ilmatilassa

Lentorobottien lentotoiminta valvotussa ilmatilassa ei ole tällä hetkellä mahdollista varaamatta ilmatilaa kyseistä tarkoitusta varten aikaisemmin kuvatulla tavalla. Varausprosessi kestää vähintään 10 viikkoa ja varaus voidaan myöntää enintään kahdeksi viikoksi kerrallaan. Varatulla alueella lentämisestä on ilmoitettava 2 tuntia ennen operaatiota lennonjohtoon. Muut ilmailijat näkevät sitten tämän alueen varatuksi joko lentokentällä tai AIP Supplement -palvelusta Ilmailutiedotus-sivulta, <https://ais.fi/ais/aipsup/AipSup.htm> . Sivuilta löytyvät myös muut muuttuneet rajoitukset.

Viranomaiset pystyvät onnettomuuksien ja muiden turvallisuusriskien uhatessa sulkemaan ilmatilan hyvinkin nopealla aikataululla. Suljetussa ilmatilassa viranomaiset voivat käyttää lentorobotteja erilaisiin kuvaus-, valvonta- ja näytteenottotarkoituksiin.

7.3 Kauko-ohjauksen viestintä ja käytettävät radiotaajuudet

Viestintä miehittämättömään ilma-alukseen tapahtuu langattomasti sitä varten erikseen rakennetun radioyhteyden välityksellä (RC-ohjaus). Yhteys on tyypillisesti suora ohjaimesta lentolaitteeseen ilman releoivaa välitysasemaa. Yhteys on jaettu useisiin kanaviin, joilla ohjataan sekä lentolaitetta että tarvittaessa siinä olevia havaintolaitteita. Ohjauksessa käytettävien kanavien kokonaismäärä alkaa tyypillisesti noin kuudesta ja monipuolisissa järjestelmissä kanavia voi olla jopa 16.

Näköyhteydellä tapahtuva lennätys (VLOS)

Harrastuskäyttöön tarkoitettujen miehittämättömien ilma-alusten ohjauksessa on ryhdytty käyttämään aikaisempien alle 100 MHz:n taajuuksien sijasta 2.4 GHz:n taajuusalueita, jota käytetään laajasti myös muuhun viestintään ja teolliseen radiotaajuuskuumennukseen (mm. langattomat lähiverkot ja mikroaaltouunit). Sallittu säteilyteho ympärisäteilevällä antennilla on 100 mW EIRP. Sade vaimentaa 2.4 GHz:n signaalia voimakkaasti, koska taajuusalueella sijaitsee ns. veden resonanssiipiikki. Taajuus ei käytännössä taivu näköesteen taakse eikä läpäise esimerkiksi puustoa tai muutakaan materiaalia. Hyvänä puolena on, että taajuusalue on viestintäviranomaisten luvista vapautettu.

Kansainvälisen teletoimintaliiton ITU:n maailman radiokonferenssi WRC-2012 osoitti miehittämättömien ilma-alusjärjestelmien näköyhteydellä tapahtuvan lennätysten ohjaus- ja hallintayhteyksille jaetussa ilmatilassa taajuusalueen 5030 - 5091 MHz. Muutos astui voimaan 1.1.2013. Etenemisominaisuksiltaan ko. taajuusalue on hyvin samankaltainen 2.4 GHz:n kanssa, mutta alueella ei ole veden aiheuttamaan vaimennuspiikkiä ja muiden laitteiden aiheuttamat radiohäiriöt ovat oleellisesti vähäisempiä kuin 2.4 GHz:n taajuusalueella.

Suomi ei ole vielä määrittänyt taajuuksienkäyttösuunnitelmaa em. taajuusalueelle. Sille ei myöskään ole haettu yhtään radiolupaa RPAS-toimintoja varten (huhtikuu 2014). Käytännössä ainoat luvat, joita miehittämättömien ilma-alusten testauksiin on tähän mennessä myönnetty, ovat olleet lyhytaikaisia lupia, joiden taajuudet on pyritty löytämään kunkin testattavan laitteen käyttämiltä satunnaisilta taajuusalueilta muuta olemassa olevaa taajuuksien käyttöä häiritsemättä. Testitoiminta on sijoittunut pääsääntöisesti Kemijärvellä sijaitsevalle RPAS-testilento-alueelle (ilmatilana Kemijärvi, Salla, Pelkosenniemi ja Savukoski).

Viestintävirasto on kuitenkin alkanut myöntää luvanvaraisia taajuuksia ohjaus- ja hallintayhteyksien radiolähettimille edellä mainitulta 5 GHz:n taajuusalueelta (5030–5091 MHz). Hakemuslomake löytyy oheisen linkin takaa

https://www.viestintavirasto.fi/attachments/lomakkeet/UAS-radiolupahakemus_fi.pdf .

Sallitut lähetystehot mahdollistavat 2.4 ja 5 GHz:n taajuusalueilla noin reilun kilometrin kantaman maa-aseman ja ilma-aluksen välillä ja ne soveltuvat siis ainoastaan näköyhteydellä tapahtuvaan operointiin.

Oma luvanvarainen radiotaajuus tarvitaan mahdollista videokuvan siirtoa varten ilma-aluksesta maa-asemalle. Suomessa 1320 MHz taajuutta on käytetty videokuvan välittämiseen. Lähetysteho saa olla peräti 1,5 W, ja sillä kantomatka on jopa kilometrejä.

Näköyhteyden ulkopuolella tapahtuva lennätys (B-VLOS)

Miehittämättömän ilma-alusjärjestelmän näköyhteyden ulkopuolella tapahtuvan lennätysten ohjaus- ja hallintayhteyksille ei saatu vuoden 2012 konferenssissa taajuuksia, koska horisontin taakse yltävät yhteydet tarvitsevat käytännössä releointiaseman (satelliitin, lentokoneen tms.) eikä taajuusalueen 5030 - 5091 MHz:n taajuuksia voinut käyttää tähän tarkoitukseen. Satelliittitaajuuskaistojen etsimisen osalta WRC päätyi ratkaisuun, jossa sopivia taajuuskaistoja etsitään kiinteälle satelliittiliikenteelle (FSS) osoitetuilta taajuusalueilta tulevan radiokonferenssin WRC-2015 tutkimuskaudella. Taajuuksien löytämisen edellytyksenä on todennäköisesti Radio-ohjesäännön määritysten muokkaaminen, mikä on pitkälinen ja työläs prosessi: kiinteän satelliittiliikenteen määrittämiseen pitäisi lisätä mahdollisuus välittää siirtyvään liikenteeseen kuuluvan miehittämättömän ilma-aluksen ja satelliitin välinen radioliikenne. Työ etenee tällä hetkellä hitaasti, sillä osa maailman eri valtioiden taajuushallinnoista on hyvin vastahakoisia koskemaan FSS:n määritelmiin. Eurooppakaan ei ole yksimielinen asiassa, vaan osa hallinnoista kannattaa FSS-taajuuskaistojen käyttämistä RPAS-liikenteeseen, osa taas on sitä mieltä, että pitäisi käyttää ilmailun siirtyvän satelliittiliikenteen (AMS(R)S) taajuuskaistoja.

B-VLOS-toimintaan soveltuvien radiotaajuuksien puute haittaa tekniikan yleistymistä ja standardointia selvästi. Nyt käytettävät valmistajakohtaiset viritykset eivät voi olla pysyvä ratkaisu. Taajuusviranomaisen tulisi osoittaa seuraavassa ITU:n radiokonferenssissa WRC- 2015 miehittämättömien ilma-alusten B-VLOS-toimintaan globaalisti tai ainakin EU-tasoisesti luvanvaraisia taajuusalueita, jotta standardeja ohjausjärjestelmäratkaisuja syntyisi ja toiminta mahdollistettaisiin. Satelliittiratkaisun lisäksi taajuuksia tulisi osoittaa myös maahan (mastoihin tms.) sijoitettujen releointiasemien käytettäväksi. Mielellään omat taajuudet tulisi varata sekä ohjausjärjestelmiä että kuvansiirtoa varten.

Tulevaisuudessa voitaisiin kehittää matalalla (alle 120 m) lentäviin ilma-aluksiin myös julkisiin langattomiin matkaviestinverkkoihin perustuvia ohjausjärjestelmiä, joissa lentoetäisyyden määräisi ainoastaan lentorobotin maksimi toimintamatka. Julkisia verkkoja hyödynnettäessä yhteyksien käytettävyys tulee varmentaa esimerkiksi kahdentamalla ohjausyhteydet kulkemaan eri teleoperaattorien verkoissa. Ensimmäinen toimisi pääyhteytenä ja toinen varayhteytenä. Myös molempien yhteyksien samanaikainen käyttö kuormanjakotekniikalla on mahdollista.

Ilmailutoiminnassa käytettäviin luvanvaraisiin radiolaitteisiin voi tutustua esimerkiksi Viestintäviraston sivuilla <https://www.viestintavirasto.fi/taajuudet/radioluvat/ilmailu.html> .

8 LENTOTARKASTUSPALVELUT JA NIIDEN KEHITYSNÄKYMÄT

8.1 Lentoyritystoiminta Suomessa sähköverkkoyhtiöiden kannalta

Maassamme oli Trafin 30.4.2014 päivätyn luettelon mukaan 35 kpl suomalaisen lentotoimintaluvan, lentotyöluvan ja liikenneluvan haltijaa. Haltijoista 11 kpl omasi luvan harjoittaa lentotoimintaa helikoptereilla, joista kahdeksalla oli helikopterilentotyöluva. Luettelo löytyy Trafin sivuilta oheisen linkin takaa http://www.trafi.fi/filebank/a/1400667287/c851835fb9926ef615f4bd8ba7c7bef2/14768-Anne_Luvan_haltijat_30042013.pdf. Lisäksi lentopalveluja voi maassamme tarjota myös muualle EU:n alueelle rekisteröitynyt yritys.

Monet lentotyöluvan omaavista helikopteriyrityksistä tarjoavat palveluja myös sähköverkkoyhtiöille. Jotkut näistä helikopteriyhtiöistä ovat ammattimaisesti johdettuja liikeyrityksiä, joilla on kyky tehdä merkittäviä investointipanostuksia ilma-alusten hankintaan ja lentotoiminnan kehittämiseen. Muutamien yritysten tuloslaskelmia ja taseita tarkasteltaessa tulee vääjäämättä mieleen, että yritykset näyttävät olevan olemassa lähinnä omistajien lentoharrastuksen rahoittamiseksi liiketoiminnallisten tavoitteiden ollessa taka-alalla.

Helikopterilentäjien saatavuus on maassamme erään alan toimitusjohtajan mukaan riittävä.

Suomessa arvioidaan lisäksi olevan raportin laatimisen aikoihin alle kymmenen pienyritystä, jotka harjoittavat lentoliiketoimintaa miehittämättömillä ilma-aluksilla. RPAS-ilmakuvauksiin erikoistuneet yritykset perustivat helmikuussa 2014 edunvalvontajärjestön nimeltään FinnUAV ry, <http://www.finnuav.fi>. Järjestössä oli kesäkuun alussa 2014 kuusi jäsentä. Viimeksi mainitut yritykset ovat nuoria start up-yrityksiä, eikä niillä ole käytännössä mahdollisuuksia investoida B-VLOS-lentoihin kykeneviin suorituskykyisiin VTOL-tyyppisiin ilma-alusjärjestelmiin ilman merkittävää pääomasijoittajien panostusta. Pankkiluoton saaminen ilma-aluksen hankintaan on vaikeaa.

8.2 Ilmakuvaus- ja laserkeilauspalvelut ja markkinatilanne

Perinteisiä kartografisia ilmakuvauspalveluita (ortokuvauksia) tekee maassamme Maanmittauslaitoksen lisäksi muutama yritys. Lisäksi käytetään jonkin verran myös eurooppalaisia ilmakuvausyrityksiä. Eräs kotimaisista yrityksistä on erikoistunut RPAS-järjestelmien avulla tehtäviin ilmakuvauspalveluihin ja ohjelmistoihin (Pieneering Oy).

Laserkeilausaineiston analysointiin Suomesta löytyy maailmanluokan osaamista Geodeettiselta laitokselta (mm. prof. TkT Juha Hyyppä tutkimusryhmineen) ja ohjelmistoyrityksistä Terrasolid Oy:stä pari tahoa mainitaksemme.

Sähköverkkoyhtiöissä suurhäiriöihin liittyviä lentotarkastuksia on tehty pitkään useiden eri helikopteriyrittäjien toimesta. Lentorobottien on vaikea haastaa muutama vuoteen miehitetyin helikopterein tehtyjä tarkastuslentoja, joissa asiantuntijat tekevät ilmasta käsin suoria näköhavaintoja.

Verkoston säännölliseen kunnossapitoon liittyvät lentotarkastukset ovat sitä vastoin sangen uusi tulokas, jota ovat käyttäneet tähän mennessä lähinnä suuret verkkoyhtiöt. Selvä markkinajohtaja kunnossapidon lentojen osalta pohjoismaissa on ruotsalainen Visimind Ab.

Yritys on kehittänyt tehokkaan lentokuvausmenetelmän, johon on yhdistetty lisäksi johtokatuja raivausanalyysin mahdollistava laserkeilaus. Kotimaiseksi Visimind Ab:n haastajaksi on lähtenyt nuori tulokas Sharper Shape Oy, joka on mm. kehittänyt erityisesti laserkeilauksen ohjelmistoja ja prosessia tavoitteena pitkälle automatisoitu johtokatuja raivausanalyysi.

8.3 Lentokartoitustoiminnan kehittäminen lentorobotteja hyödyntäen

8.3.1 Lentorobottitoimintaan soveltuvat tahot

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

Luontaisesti lentorobotein suoritettava lentotarkastustoiminta soveltuisi parhaiten helikopteriyrityksille, jotka haluavat panostaa uuteen, kustannustehokkaaseen ja ympäristöstävälliseen lentoteknologiaan. Niissä on valmiiksi riittävä ilmailun tuntemus ja osaaminen. Kehittämistä tarvitaan luonnollisesti RPAS-järjestelmistä ja niillä operoinnista. RPAS-lisäykset yrityksen lentotoimintakäsikirjaan sujuisivat oletettavasti kitkatta. Yritysten tulee vain olla valmiita laajentamaan olemassa olevaa perinteistä tuotetarjontaa uusilla RPAS-palveluilla.

Toinen vaihtoehto on lähteä haastamaan perinteisillä helikoptereilla operoivat yritykset puhtaalta pöydältä. Tästä esimerkkinä on huhtikuussa perustettu uusi lentoyritys Next Eagle Oy, jonka liikeideana on tarjota lentosuoritteita miehittämättömillä ilma-aluksilla infrastruktuurin tarkastus- ja ilmakuvauslentoja varten.

Yksi mahdollisuus on, että verkkoyhtiöille jo nyt tarkastus- ja/tai kunnossapitopalveluja tuottavat yritykset ottavat miehittämättömillä ilma-aluksilla tehtävät tarkastuslennot tuoteohjelmaansa. Näitä yrityksiä ovat edellä mainitut Visimind ja Sharper Shape sekä kunnossapitoyrityksistä esimerkiksi Eltel Networks Oy, Empower Oy tai Voimatel Oy.

8.3.2 Tarkastuslentojen pilotointi lentorobottien avulla

Raportin laatija selvitti yhdessä Sharper Shape Oy:n edustajien kanssa mahdollisuutta yhdessä testata todellisissa olosuhteissa lentorobotein suoritettavia sähköverkoston lentotarkastuksia syksyllä 2014. Selvityksen yhteydessä laadittiin pilotoinnin alustava tutkimusohjelma. Käytyjen keskustelujen jälkeen päädyttiin malliin, jossa pilotoinnin vastuulliseksi suorittajaksi tuli Sharper Shape. Yritys haki hankkeelle osarahoitusta Sähkö tutkimuspoolilta, joka myönsi pyydetyn summan. Muilta osin pilotoinnin rahoitus on vielä tätä kirjoitettaessa auki, mutta todennäköisesti hanke toteutunee joissain muodossa joko tämän vuoden syksyllä tai viimeistään ensi vuonna.

Suurimpana haasteena tarvittavan rahoituksen lisäksi on saada eurooppalaiset tehokkaiden lentorobottien valmistajat kiinnostumaan oikeasti myös siviilimarkkinoista ja osallistumaan pilotointiin kohtuullisin ehdoin.

Alustavan tutkimussuunnitelman mukaan pilotointia tehtäisiin heräävästä kiinnostuksesta riippuen 1-3 verkkoyhtiön alueella.

9 LENTOTARKASTUSTEN KUSTANNUKSET JA POTENTIAALI

9.1 Lentotarkastusten kustannuksista miehitetyillä helikoptereilla

Verkkoyhtiöt pitävät lentotarkastusten kustannuksia suurina. Ilman havaintovälineistöä tehtävät suurhäiriölennot maksavat lentoyhtiöstä ja käytetystä VFR-kelpoisesta helikopterista riippuen 900 - 1 200 euroa/lentotunti lisättyä arvonlisäverolla. Lentotuntien määrä vuositasolla riippuu luonnollisesti suurhäiriöitä aiheuttavien sääilmiöiden esiintymisestä ja vuosittainen vaihtelu on suurta. Suurimmat yhtiökohtaiset lentosuoritemäärät vuositasolla ovat satoja lentotunteja, jolloin puhutaan sadoista tuhansista euroista/yhtiö/vuosi.

Kunnossapidon tarkastuslentoja voidaan hinnoitella tuntipohjaisesti tai tarkastetun johtokilometrimäärän perusteella euroa/tarkastuskuvattu johtokilometri. Erään esitetyn hintatiedon mukaan kunnossapidon tarkastuslennon kilometrihintana olisi luokkaa 100 euroa/kilometri + ALV. Hinta ei sisällä tarkastusaineiston jälkiprosessoinnin kustannuksia. Jos verkkoyhtiön vuotuinen tarkastusvolyymi on esimerkiksi 5 000 johtokilometriä, aiheutuu siitä noin puolen miljoonan euron lentokulut/vuosi.

Erään alan toimijan esittämän näkemyksen mukaan maamme helikopterikalusto olisi sangen ikääntynyttä, jolloin korvausinvestointien myötä kaluston pääomakustannukset kasvavat tulevaisuudessa. Toisaalta uusi kalusto on energiatehokasta ja vikakorjauskulut ovat vanhaa kalustoa vähäisemmät, mikä pienempinä käyttökustannuksina osin alentaa hinnankorotuspaineita.

Nykyisin käytettävä laserkeilauskalusto on tehokasta, mutta myös kallista. Kustannuksissa pitää huomioida mm. tarkasta IMU-yksiköstä aiheutuvat pääoma- ja käyttökustannukset. Tarkka IMU tarvitaan ilma-aluksen asentotiedon jäljittämiseen kuvaushetkellä, jotta keilaushavainnot voidaan kiinnittää tarkasti kolmiulotteiseen koordinaatistoon. Aivan halpoja eivät myöskään ole nykyisissä tarkastuskuvauksissa käytettävät nopeat kamerat.

Yhteenvetona voidaan olettaa, että kasvaneesta kilpailusta huolimatta perinteisin miehitetyin helikopterein suoritettujen tarkastuslentojen hintataso ei tule ainakaan merkittävästi laskemaan. Pikemminkin hinnoissa on korotuspaineita.

9.2 Lentorobottien käyttömahdollisuudet ja kustannussäästöpotentiaali

9.2.1 Lentorobottikuvaukset näköyhteydellä (VLOS-lennot)

Lentorobotit ovat ominaisuuksistaan ylivoimaisia paikallisesti suoritetuissa tarkastus- ja kuvauslennoissa perinteisiin helikoptereihin verrattuna. Ammattilaitteet ovat helppokäyttöisiä, joustavia ja näppärästi auton peräkontissa tai mönkijän mukana kuvauspaikalle vietävissä. Suositeltavin ilma-aluksen rakenne on moniroottorinen sähkökopteri, joka on hiljainen eikä saastuta.

Saatujen hintaindikaatioiden perusteella tunnin kuvaus lentorobotilla maksaa luokkaa 300 - 400 € + ALV sisältäen 50-100 otettua kuvaa. Vastaavasti lentorobotin saa koko päiväksi kuvauksiin noin 1 200 eurolla. Siinä ehtii kuvaamaan useitakin eri kohteita.

Hinta perinteisellä miehitetyllä helikopterilla tehtynä on moninkertainen.

Moniroottorisella lentorobotilla voidaan kuvaus tehdä huomattavasti lähempänä jännitteistä kohdetta kuin perinteisellä helikopterilla ja kuvien laatu on erinomainen.

Sääolosuhteet rajoittavat lentorobotin käyttöä yleensä kuivaan keliin ja tuulenoisuus saa olla enintään 5-8 m/s. Tavanomaiset lentorobotit eivät myöskään kykene kantamaan laserkeilauksessa tarvittavaa välineistöä, joiden massa on pienimmilläänkin yli kymmenen kiloa.

9.2.2 Tarkastuslennot näköyhteyden ulkopuolella (B-VLOS-lennot)

Lennot näköyhteyden ulkopuolelle edellyttävät voimassa olevan lainsäädännön mukaan ilmatilan varaamista, joka on nykyisellään monimutkainen ja hidas prosessi. Ilma-alukseen pitää pystyä rakentamaan luotettavat ohjausyhteydet vaikka lennettäisiin täysin automaattiohjauksessa. Muiden ilma-alusten ja lentoesteiden manuaalisesti ohjattu väistäminen edellyttää ilma-aluksesta videokuvayhteyttä, joka vastaa "lentäjän" näkymää. Ohjaus- ja videoyhteyksille osoitettujen, sopivien taajuuksien puuttuminen voi muodostua viimeiseksi naulaksi arkkuun, vaikka muutoin asiat olisivat kunnossa.

Suorituskykyiset, VTOL-tyyppiset RPAS-järjestelmät maksavat huomattavasti enemmän kuin VFR-lentoihin kykenevä helikopteri. Erään valmistajan suorituskykyinen RPAS-järjestelmä maksaa suuruusluokkaa 1,5 milj. euroa, kun perinteisen kevyen helikopterin saa alle 0,5 milj. eurolla. Tosin pakettiin kuuluu kaksi polttomootorikäyttöistä helikopteria, kahdennettu ohjauskeskus, viestintäjärjestelmä sekä koulutuspaketti. Suorituskykyiset RPAS-järjestelmät eivät vielä kykene taloudellisesti kilpailemaan pitkissä tarkastuslennoissa perinteisille helikoptereille.

Suurhäiriöiden tilannekuvan kartoitus

Edellä kuvatusta on helposti pääteltävissä, että lentorobottien on hyvin vaikea tällä hetkellä suoraan korvata miehitettyjä helikoptereita suurhäiriötilanteessa. Rajoitettujen alueiden vikatarkastuksiin ja partiointiin vaikeassa maastossa ne sen sijaan soveltuvat edellyttäen, että ei mennä 500 metriä kauemmaksi ohjaajasta tai apuohjaajasta (tähyistäjä).

Säännölliset tarkastuslennot

Teknisesti suorituskykyisiä RPAS-järjestelmiä voitaisiin käyttää jo tänä päivänä verkoston tarkastuslentoihin. Ilmatilan varaamisen hankaluus sekä suorituskykyisten järjestelmien kalleus vievät kuitenkin toiminnalta taloudellisen pohjan, mikäli lennoilla edellytetään tehtäväksi havaintoja samanlaisella kalustolla kuin miehitetyillä lennoilla tehdään nykyisin. Kiinteäsiipiset ja suhteellisen edulliset lentorobotit ovat todellinen vaihtoehto jo nyt, mikäli tarkastuslennoilta riittää korkealaatuinen digitaalinen kuvamateriaali ja käytettävissä on riittävät ohjaus- ja turvallisuusjärjestelmät sekä edistykselliset kuvankäsittelyohjelmistot.

Aika on joka tapauksessa lentorobottien puolella, sillä kehitys menee vauhdilla eteenpäin sekä tekniikassa että säädöspaneilla.

10 VERTAILUA JA JOHTOPÄÄTÖKSIÄ

10.1 Lentorobottien ja perinteisten miehitettyjen helikopterien vertailua

	Perinteinen helikopteri	Lentorobotti
Suorituskyky = kantokyky x toimintasäde	Ylivoimainen nykyisiin sähkökäyttöisiin lentorobotteihin verrattuna	Kiinteäsiipisten toimintasäde tyydyttävä, mutta vaatii tilaa operointiin. Polttomootorikäyttöiset suorituskykyisiä
Lennättämisen vaatima tila ja varustus	Pieni tila, polttoaineentankkausvälineet tarvitaan	Kiinteäsiipinen vaatii nousu- ja laskeutumistilaa, (moni)roottorisilla VTOL-kyky. Lentäminen näköyhteyden ulkopuolella vaatii erityisvarustusta
Ilmatilan varaaminen	Ei tarvita <u>valvomattomassa</u> ilmatilassa operoitaessa. Lentoetäisyys ja lentokorkeus eivät vaikuta	Ei tarvita valvomattomassa ilmatilassa näköyhteydellä enintään 150 metrin (120 m) korkeudessa operoitaessa
Lentomenetelmät ja toiminnan luonne	Vakiintunutta	Näköyhteydellä melko vakiintunutta Näköyhteyden ulkopuolella operoitaessa kokeiluasteella ja mahdollista sääntely puuttuu
Liiketoiminta	Vakiintunutta	Näköyhteydellä alkamassa, B-VLOS-toiminta suunnitteilla
Lentosuunnitelman tarve	Tarvitaan pääsääntöisesti vain valvotussa ilmatilassa operoitaessa	Tarvitaan pääsääntöisesti vain valvotussa ilmatilassa operoitaessa, huom. 150 m ei saa ylittää ilman Trafim myöntämää lupaa
Ohjaus- ja videoyhteydet, ilmailuradio	Ohjaus- ja videoyhteyttä ei tarvita, ilmailuradio tarvitaan muussa kuin valvomattomassa G-luokan ilmatilassa operoitaessa	Ohjausyhteydet tarvitaan aina, lisäksi videoyhteys tms. B-VLOS-lennoilla Ilmailuradio kuten miehitetyillä helikopterilla
Ohjaustaajuudet osoitettu kansainvälisin sopimuksin	Ei tarvita	Näköyhteydellä operoitaessa taajuudet osoitettu (5 GHz), B-VLOS-toiminnassa ei kansainvälistä sopimusta
Investointikustannukset	VFR-kelpoiset helikopterit edullisia	Kevyet sähkökäyttöiset edullisia (<50 k€) Suorituskykyiset polttomootorikäyttöiset järjestelmät kalliita
Käyttökustannukset ja miehitys	Uusilla helikoptereilla keskinkertaiset, tarvitaan lentäjä + maatikihenkilö	Näköyhteydellä lennettäessä hyvin pienet ja yleensä 1 henkilö riittää ohjaamaan B-VLOS lennoissa suhteellisen pienet, tarvitaan yleensä 2 henkilöä ohjaamaan/tarkkailemaan
Ympäristöystävällisyys	- - -	Sähkökäyttöiset + + Polttomootorikäyttöiset -
Turvallisuusuhka ympäristölle ja muille ilma-aluksille	Suhteellisen pieni	Kevyet sähkökäyttöiset pieni Isot polttomootorilla varustetut suuri

Taulukko 10.1 . Miehitettyjen helikopterien ja lentorobottien vertailua

10.2 Lentorobottien hyödyntämispotentiaali nopealla aikataululla

Lentorobotit soveltuvat teknistaloudellisesti tänä päivänä lähinnä näköyhteydellä tapahtuviin verkoston tarkistuskuvauksiin ja mahdollisiin ortokuvauksiin esimerkiksi rakennettaessa uusia sähköasemia, voimalaitoksia tai ilmajohtoverkostoa.

10.3 Lentorobottien hyödyntämispotentiaali tulevaisuudessa

Keskipitkällä aikavälillä (noin 5 vuotta) lentorobotit ovat todennäköisesti teknistaloudellisesti kilpailukykyisiä verkoston säännönmukaisen kunnossapidon lentotarkastuksissa perinteisten helikopterien vaihtoehtona.

Suurhäiriötilanteissa tilannekuvan kartoittamisen osalta odotettava hieman pitempään, kun joudutaan osin toimimaan valvotussa ilmatilassa. Yksittäisen, maantieteellisesti rajoitettujen alueiden vikapaikannuksessa lentorobotit ovat käyttökelpoisia jo lähitulevaisuudessa.

10.4 Kehittämisehdotuksia ja suosituksia

Laite- ja järjestelmävalmistajat:

1. Sähkökäyttöisten moniroottoristen helikopterien kokonaissuorituskykyä lisättävä selvästi pitkien B-VLOS-lentojen mahdollistamiseksi
2. Akkujen kapasiteetti/paino suhdetta kasvatettava
3. Kehitettävä tai parannettava näköyhteyden ulkopuolella operoitaessa tarvittavia ohjaus-, navigointi- ja turvajärjestelmiä
4. Parannettava lennonsuunnittelun työkaluja, esimerkkinä 3-ulotteisen maastomallin käyttöönotto lennonsuunnittelussa. Mallin tulee sisältää lentoestetiedot.
5. Luotava yhteysmenettelystandardi ohjaus- ja kuvansiirtoyhteyksiä varten
6. Kehitettävä havaintoaineiston jälkikäsitelyssä tarvittavia ohjelmistoja
7. Alalle näkyvyyttä – viestintää tulevista mahdollisuuksista
8. Kotimaista koulutusta ja siviilipuolen tutkimusta lisättävä
9. Vaikutettava lainsäätäjiin asianmukaisella informaatiolla alan mahdollisuuksista ja riskeistä

Lainsäätäjä ja viranomaiset:

1. Lainsäädäntöä kehitettävä toiminnan mahdollistavaan suuntaan sekä kansainvälisellä että kansallisella tasolla
2. Suomi on harvaan asuttu maa ja sääntelyssä tulee noudattaa eurooppalaisittain liberaaleinta linjaa
3. Lentäminen lentoestekorkeuden alapuolella (enintään 30 metriä maan tai veden pinnasta) on vapautettava kaava-alueiden ulkopuolella sääntelystä täydellisesti alle 30 kiloisilla miehittämättömillä ilma-aluksilla toimittaessa. Samalla kuitenkin säädettävä väistämisvelvollisuus kaikkiin muihin nähden (ihmiset, rakennukset ja rakenteet, muut alukset ja liikennevälineet, muu omaisuus, luonnonrakenteet, eläimet jne.)

4. Osoitettava pikaisesti taajuudet näköyhteyden ulkopuolella harjoitettavaa lentotoimintaa varten
5. Tuettava aloittavia alan yrityksiä ja kehitysohjelmiä taloudellisesti sekä järjestämällä korkeatasoista laaja-alaista koulutusta (mm. järjestelmätekniikka ja lento-operointi)

Lentotoiminnan harjoittajat:

1. Seurattava tiiviisti alan kehitystä ja investoitava kokeilujärjestelmiin
2. Kehitettävä miehittämättömien ilma-alusten operoinnissa ja huollossa tarvittavaa osaamista
3. Vaikutettava ilma-alusten valmistajiin myös siviilipuolen tuotantoon panostamiseksi

Vakuutus- ja rahoitussektori:

1. Kehitettävä alalle kilpailukykyisiä vakuutus- ja rahoitustuotteita

Loppukäyttäjät ja järjestöt:

1. Tuettava aloittavia RPAS-lentoliiketoiminnan harjoittajia, vaikka alussa pitkien, näköyhteyden ulkopuolelle ulottuvien lentojen hinnat olisivat jonkin verran miehitettyjä helikoptereita kalliimpia
2. Koottavat voimat yhteisten kehitysohjelmien toteuttamiseksi laitevalmistajien, lento-operaattorien sekä tutkimus- ja oppilaitosten kanssa
3. Rajoitetun alueen ja yksittäisten rakenteiden digitaalisissa kuvauksissa lentorobotit ovat edullisin ja usein myös laadukkain vaihtoehto. Käyttäkää näitä palveluja

11 LYHENTEITÄ JA TERMEJÄ

ADS-B	Automatic Dependent Surveillance-Broadcast, Ilmailun tiedonvälityskäytäntö (ml. sijaintitiedot)
A-GPS	Assisted GPS, Avustettu GPS-paikannus
AGL	Altitude above Ground Level, Korkeus maan pinnasta
AIP	Aeronautical Information Publication - Ilmailukäsikirja
AIS	Aeronautical Information Services – Ilmailutiedotuspalvelu
ALS	Airborne Laser Scannig, Laserkeilaus ilma-aluksesta
AMSL	Above Mean Sea Level, Korkeus merenpinnasta
ARNS	Aviation Radio Navigation Service, Ilmailun radionavigointipalvelu
ATM	Air Traffic Management, Ilmaliikenteen hallinta
Autopilotti	on laite tai järjestelmä, joka huolehtii automaattisesti lentokoneen tai vesialuksen ohjaamisesta
B-VLOS	Beyond Visual Line Of Sight - Lennot suoran näköyhteyden ulkopuolelle
CTA	Control Traffic Area, Lennonjohtoalue
DEM	Digital Elevation Model, Digitaalinen korkeusmalli
DGPS	Differential GPS, Differentiaalinen GPS-paikannus
DME	Etäisyydenmittauslaite
DMS	Distribution Management System, Käyttötukijärjestelmä (yleensä paikkatietopohjainen)
DSM	Digital Surface Model, Digitaalinen pintamalli
DGPS	Differential Global Positioning System
EASA	European Aviation Safety Agency
EATA	European
EGNOS	European Geostationary Navigation Overlay Service, Euroopan satelliittipohjainen paikannuksen tukijärjestelmä (SBAS)
EIRP	Equivalent Isotropically Radiated Power, Ekvivalenttinen isotrooppinen säteilyteho
Eurocontrol	European Organisation for the Safety of Air Navigation

E-VLOS	Extented Visual Line Of Sight,
FOV	Field Of View, Havaintolaitteen mittauskulma
FSS	Kiinteä satelliittiliikenne
Galileo	Euroopan kehitteillä oleva satelliittinavigointijärjestelmä
GCP	Ground Control Point
GIS	Geographic Information Systems, Paikkatietojärjestelmä
GLONASS	Global Navigation Satellite System, Venäjän maailmanlaajuinen paikannusjärjestelmä
GNSS	Global Navigation Satellite Systems, yleisnimitys maailmanlaajuiselle satelliittinavigointijärjestelmälle
GPS	Global Positioning System, Yhdysvaltojen maailmanlaajuinen satelliittipaikannusjärjestelmä
HLB	High Level policy Body, Ilmatilan hallinnan neuvottelukunta
ICAO	International Civil Aviation Organization, kansainvälinen siviili-ilmailu järjestö
IFR	Instrument Flight Rules, Lentomenetelmä, jossa ohjaaminen perustuu mittaristosta saatavaan informaatioon, eikä näkyvyyttä maahan tai ympäristöön ole välttämättä ollenkaan, ”mittarilentäminen”
IMU	Inertial Measurement Unit, Inertianmittausyksikkö, joka voi sisältää gyroskoopin ja 3D-kiiktyvyysanturien lisäksi paineanturin (barometri) ja magnetometrin. IMU on elektroninen laite, joka ei nykyisin sisällä liikkuvia osia toisin kuin perinteinen ”hyrräkompassi”. Autopilotin välttämätön sensori
ISPRS	International Society for Photogrammetry and Remote Sensing
JARUS	Joint Authorities for Rulemaking on Unmanned Systems, JARUS is a group of experts from the National Aviation Authorities (NAAs) and regional aviation safety organizations
LIDAR	Light Detection And Ranging, Laserkeilaus
LPS	Lines Per Second, Keilaustaajuus, eli pyyhkäisyä tai keilausta sekunnissa
MIL CTA	Military Control Area, Sotilaslennonjohtoalue
MTOW	Maximum TakeOff Weight, maksimi lentoonlähtömassa
NIR	Near Infra Red, Lähi-ifrapuna-alue
NIS	Network Information System, Verkkotietojärjestelmä (yleensä paikkatietopohjainen)
P-alue	Kieltoalue (Prohibited Area)

R-alue	Rajoitusalue (Restricted Area)
RGB	Red Green Blue, Näkyvän alueen päävärit, sininen, vihreä ja punainen
RAM	Radio Altitude Meter, Radiokorkeusmittari
RPAS	Remote Piloted Aircraft Systems, Etäohjatut ilma-alusjärjestelmät
TCAS	Traffic Collision Avoidance System, Toisiotutkan transponderisignaalin perustuva ilma-alusten törmäyksenestojärjestelmä
TRAFI	Liikenteen turvallisuusvirasto
TRA	Temporary Reserved Area, Tilapäinen ilmatilavarausalue
TRP	Tutkavastaaja, transponderi
TSA	Temporary Segregated Area, Tilapäinen erillisvarausalue
UAS	Unmanned Aerial System
UAV	Unmanned Aerial Vehicle
VOR	Very high frequency Omni-directional radio Range, radiomajakoihin perustuva lentokoneiden paikannusjärjestelmä
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"

TIETO- JA LÄHDELUETTELO

- /1/ UAV-lennokit, Alpo Hassinen, Itä-Suomen yliopisto 2013;
<http://mekri.uef.fi/uav/UAV-lennokit.pdf>
- /2/ Miehittämättömien ilma-alusten käyttö lentokuvauksissa, Jaska Ojala, 2011, Opinnäytetyö Rovaniemen ammattikorkeakoulu;
http://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/26549/Ojala_Jaska.pdf
- /3/ Secrets of UAV photomapping, Krzysztof Bosak;
<http://www.aerialrobotics.eu/pteryx/pteryx-mapping-secrets.pdf>
- /4/ Toiminta sähkönjakelun suurhäiriössä, Reneco 2012;
<http://konsulttitoimistoreneco.files.wordpress.com/2012/09/et-suurhc3a4iric3b6-raportti-2012-09-18.pdf>
- /5/ Sähkölinojen ilmakehuvaaminen, tekninen määrittely, Elenia Oy
- /6/ ACCA-Automaattisen Sähköverkon Raivausanalyysin kuvaukset, CORTEX VENTURES OY
- 1 Palvelumäärittely; <http://energia.fi/sites/default/files/images/acca - 1 - palvelumaarittely 1.0.pdf>
 - 2 Menetelmäkuvaus; <http://energia.fi/sites/default/files/images/acca - 2 - menetelmakuvaus 1.0.pdf>
 - 3 Hyödynnettävyyden arviointi; http://energia.fi/sites/default/files/images/acca - 3 - _hyodynnettavyden_arviointi 1.0.pdf
- /7/ Paikkatietoikkuna/kartat, valinta ortokuvat; <http://www.paikkatietoikkuna.fi/web/fi/kartta>
- /8/ Maanmittauslaitoksen avoimen aineiston tiedostopalvelu;
<https://tiedostopalvelu.maanmittauslaitos.fi/tp/kartta>
- /8/ Fotogrammetrian perusteet Maa-57.300 , HUT 2005;
<http://foto.hut.fi/opetus/300/luennot/luennot.html>
- /10/ Fotogrammetrian yleiskurssi Maa-57.301, HUT 2004, luento 9, Analyttinen stereomittaus, kuvien oikaisu ja ortokuvaus ja luento 10, Optinen 3D-mittaus ja laserkeilaus; <http://foto.hut.fi/opetus/301/luennot/luennot.html>
- /11/ GoogleEarth-kuvapalvelu, sovelluksen lataus:
<http://www.google.fi/intl/fi/earth/download/ge/agree.html>

- /12/ GoogleMaps-palvelu, <https://www.google.fi/maps/preview>
- /13/ Raivaajan käsikirja, Fingrid Oyj 2011;
http://www.fingrid.fi/fi/verkkohankkeet/voimajohtoliitteet/Ymparisto-%20ja%20Turvallisuus-osiot/Raivaajan_kasikirja.pdf
- /14/ Työturvallisuusohje STO3, Verkostotyöt, Työturvallisuuskeskus TTK, 14.3.2013
- /15/ Ohjeet koneelliseen oksintaan sekä puun poistoon sähkölinjalta, HeadPower Oy:n työturvallisuusohje 23.12.2011
- /16/ ISPRS-International Society for Photogrammetry and Remote Sensing;
<http://www.isprs.org/>
- /17/ How to read your LIDAR spec – a comparison of single-laser-output and multi-laser-output LIDAR instruments, RIEGL Laser Measurement Systems GbmH, 2013;
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxriegl/downloads/Airborne_Laser_Scanning-what_to_expect_from_your_sensor_2013-03-08.pdf
- /18/ Ilmailukäsikirja, AIP Suomi-Finland; <https://ais.fi/ais/eaip/fi/>
- /19/ Ilmailun tiedotuspalvelu AIS; <https://ais.fi/>
- /20/ ASM-toimintakäsikirja, Trafi;
<http://www.trafi.fi/filebank/a/1376474760/6cf2b762e5d059ffdde70cb97b891e05/13034-ASM-toimintakasikirja.pdf>
- /21/ UAV-tekniikan kartoittaminen ja TAMK:n UAV-projektin pohjustaminen”, Opinnäytetyö Tampereen ammattikorkeakoulu, Mikko Pajunen ja Jani Sinivaara, 2010;
https://www.theseus.fi/bitstream/handle/10024/15762/Pajunen_Mikko_Sinivaara_Jani.pdf?sequence=1
- /22/ Design and control of quadrotors with application to autonomous flying, Samir Bouabdallah, École Polytechnique Fédérale de Lausanne, 2007;
http://biblion.epfl.ch/EPFL/theses/2007/3727/EPFL_TH3727.pdf
- /23/ UAS-International, <http://uvs-international.org/>

MUUTAMIA ESIMERKKEJÄ LENTOROBOTTIEN VALMISTAJISTA

1 Sähkökäyttöisten multikoptereiden eurooppalaisia valmistajia:

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

<http://www.videodrone.fi/>

<http://microdrones.com/index.php>

<http://www.camflight.no/en/>

2 Sähkökäyttöisten kiinteäsiipisten RPAS-ilmakuvauskoneiden valmistajia:

<http://www.trigger.pl/pteryx/>

Trimble <http://www.geotrim.fi/tuotteet/lennokkikartoitus-uav/>

3 Polttomoottorikäyttöisiä lentorobotteja

Lähinnä eurooppalaisia, kookkaampien polttomoottorikäyttöisten RPAS-helikopterien valmistajia ilman mitään kannanottoa laitteiden paremmuudesta tai kyvystä operoida B-VLOS-lentoja:

<http://www.aeroscout.ch/>

<http://www.cybaero.se/en/>

<http://www.higheye.nl/>

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

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

<http://www.survey-copter.com/english/home.html>

<http://www.swiss-uav.com/>

Maatalouskopteri:

<http://rmax.yamaha-motor.com.au/>