



## TIIVISTELMÄRAPORTTI

# IONISOIVAN SÄTEILYN HAVAINNOINTI JA NÄYTTEENOTTO UAS-JÄRJESTELMÄLLÄ

Roy Pöllänen, Säteilyturvakeskus, PL 14, 00881 Helsinki

Tero Karhunen, Juha Röning, Marko Kauppinen, Ville Pitkänen, Pekka Siirtola, Antti Tikanmäki, Eija Ferrera, Jani Hakala, Jyri Mikkilä, Tuukka Petäjä, Markku Kettunen

### Tiivistelmä

Kaksivuotiseksi aiotussa tutkimushankkeessa toteutetaan laitteisto ionisoivan säteilyn havainnointiin ja radioaktiivisten aineiden näytteenottoon. Hankkeen ensimmäisenä vuonna 2015 toteutettiin esiselvitys ja alustava suunnitelma radioaktiivisten aineiden näytteenotosta multikoptereilla. Multikopteriin asennettavalle ilmaisimelle tehtiin laboratoriotestejä suorituskyvyn arvioimiseksi. Ilmaisimen todettiin sopivan asennettavaksi DJI Inspire 1 multikopteriin. Datansiirto ilmaisimesta käyttäjälle toteutettiin älypuhelinsovelluksen avulla, joka mahdollistaa mittauksen tosiaikaisen seurannan ja tulosten etäanalysoinnin. Jatkossa toteutetaan asennukset ja kenttätestit, mikäli MATINE myöntää rahoituksen. UAS-järjestelmän käytön etuna on, että säteilytiedustelu voidaan toteuttaa halpaan hintaan ja lennokkia operoivaa henkilöstöä vaarantamatta. Sotilaallisen maanpuolustuksen lisäksi laitteistoa voidaan hyödyntää yhteiskunnan turvallisuuden tukena.

### 1. Johdanto

Miehittämättömiä ilma-aluksia (UAS = Unmanned Aerial System) käytetään maailmalla viljalti erilaisiin sovelluksiin. Sotilaskäytössä tiedustelu- ja maalinosoitustehtävät ovat jo arkipäivää; siviilikäytössä niitä sovelletaan esimerkiksi ilmakuvaus- ja erilaisiin valvonta- ja tutkimustehtäviin. Myös väestönsuojelu- ja pelastustehtävät ovat mahdollisia. Viime vuosina tapahtunut voimakas kehitys ilmailu-, tieto- ja säteilymittaustekniikassa mahdollistaa lennokkien käytön säteilytiedusteluun, ja se onkin eräs tärkeimmistä miehittämättömien järjestelmien suunnitelluista käyttöalueista esimerkiksi vakavan suuronnettomuuden, terroritoiminnan tai ydinaseiden käytön jälkeen tai aikana. Etuna on, että tiedustelu voidaan toteuttaa halpaan hintaan ja vaarantamatta tehtävää suorittavaa henkilöstöä.

Lentokoneita, helikoptereita ja erilaisia maa-ajoneuvoja on jo vuosia käytetty säteilytiedusteluun ympäristössä. Niiden avulla tiedustelua voidaan suorittaa laajoilla alueilla ja kattavasti. Miehitetyt lentolaitteet ovat kuitenkin hankinta- ja käyttökustannuksiltaan kalliita eikä niitä ole aina käytettävissä näytteenotto- ja säteilytiedustelutehtäviin. Maa-ajoneuvojen käyttö edellyttää käytännössä tiestön käyttöä. Henkilökuntaa tarvitaan ohjaamaan sekä alustaa että mittauksia. Lisäksi jopa miljoonia maksavan alustan kontaminoituminen saattaa estää laitteiston käytön jatkossa. Arvokkaiden koneiden ja laitteiden uhraaminen – henkilöstöstä puhumattakaan – näytteiden ottamiseksi ja säteilyn mittaamiseksi ei tule kyseeseen. Lennokkien hinta on vain murto-osa täysikokoisista lentolaitteista ja äärimmäisissä tapauksissa ne voivat olla jopa kertakäyttöisiä. Hankintahinnan lisäksi myös operoinnin ja ylläpidon kustannukset ovat huomattavasti pienempiä. Esimerkiksi henkilöautossa helposti kuljetettava järjestelmä voidaan operoida joustavasti käyttäjän haluamasta paikasta – lentokenttään ei tarvita – ja käyttäjälle sopivana ajankohtana.

Miehittämättömien (ilma-)alusten soveltaminen ja käyttö erilaisten anturien alustana on lähitulevaisuudessa säteilymittausmittausteknologian megatrendejä. Kaikkialla maailmassa on meneillään hankkeita, jossa tutkitaan UAS-järjestelmien hyödyntämistä

Postiosoite	Käyntiosoite	Puhelin	s-posti, internet
Postadress	Besöksadress	Telefon	e-post, internet
Postal Address	Office	Telephone	e-mail, internet
MATINE/Puolustusministeriö	Eteläinen Makasiinikatu 8 A	Vaihde 295 160 01	matine@defmin.fi
PL 31	00130 Helsinki		www.defmin.fi/matine
FI-00131 Helsinki	Finland		
Finland			

erilaisiin tehtäviin. Komponenttien miniatyrisoinnin ja havainnointitekniikan kehittymisen takia antureita voidaan nykyään asentaa hyvinkin pienikokoisiin ilma-aluksiin, esimerkiksi minihelikoptereihin, laitteiston suorituskyvyn kärsimättä. Säteilyä havainnoivien laitteiden ja näyttöjen teknologiat ovat nykyään tasolla, joka mahdollistaa operatiivisen UAS-järjestelmän toteuttamisen. Tätä ennen tarvitaan kuitenkin prototyyppi, jonka pohjalta operatiivinen laitteisto voidaan toteuttaa.

Tutkimus antaa näkökulmaa uudenlaisten havainnointitekniikoiden kehittämiseen ja hyödyntämiseen yhteiskunnan turvallisuuden lisäämiseksi. Lennokkiin suunnitellun laitteiston tuottama data palvelee maanpuolustuksellisia ja muiden säteilymittauksia tekevien turvallisuusviranomaisten tarpeita. Laitteiston tarjoama informaatio auttaa välttämään henkilö- ja omaisuusvahinkoja sekä sotilas- että siviilitoiminnoissa ja tukee päätöksentekoa poikkeavissa säteilytilanteissa.

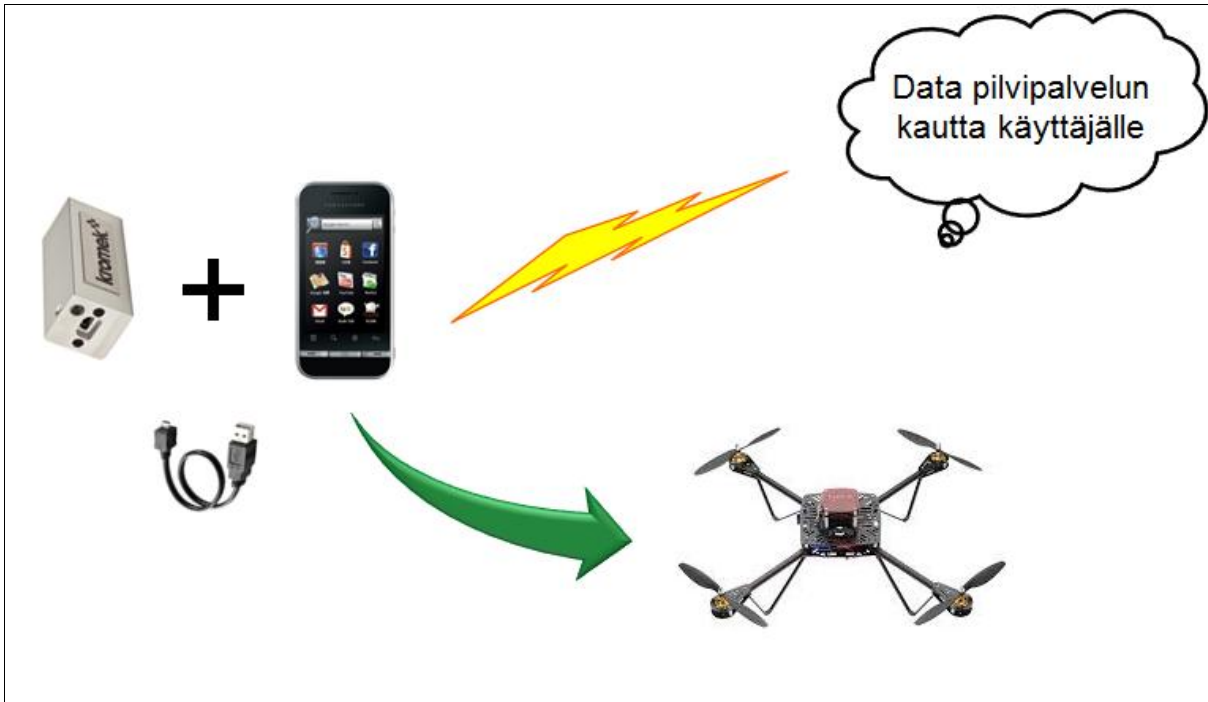
## 2. Tutkimuksen tavoite ja suunnitelma

Päätavoitteena on rakentaa UAS-järjestelmään soveltuva prototyyppilaitteisto, jonka avulla voidaan toteuttaa säteilytiedustelu ja suorittaa ilmassa olevien radioaktiivisten aineiden näyttö. Tarkoituksena on saada kokemusta ja näkemystä säteilytiedustelun ja näyttöjen käytännön toteutuksesta. Samalla parannetaan vastetta säteilyvaarallisten aineiden havaitsemiseksi ja tunnistamiseksi. Prototyyppilaitteiston testaustulosten avulla voidaan arvioida, millainen laitteisto ja millainen suorituskyky tulisi olla myöhemmin hankittavalla operatiivisella säteilytiedustelu- ja näyttöjärjestelmällä.

Rakennettava säteilytiedustelulaitteiston prototyyppi toteutetaan ominaisuuksiltaan sellaiseksi, että sitä voivat hyödyntää säteilymittauksia tekevät turvallisuusviranomaiset. Laitteisto toteutetaan alustasta riippumattomaksi, ts. sitä voidaan käyttää miehittämättömissä alustoissa tai jopa henkilökohtaisena säteilyhavainnointilaitteena. Kaksivuotisen hankkeen ensimmäisenä vuonna (2015) tehdään säteilyilmaisimen laboratoriotestejä, jotta ilmaisimen suorituskyky ja kestävyys voidaan todentaa. Ensimmäisenä vuonna integroidaan ilmaisimen ja sen tiedonkeruu-/välitysyksikkö, joka mahdollistaa säteilymittausdatan keräämisen ja tosiaikaisen käsittelyn. Näiden tehtävien tavoitteena on vakuuttua siitä, että jatkossa toteutettavat lentotestit ovat mahdollisia käyttäen kyseistä ilmaisinta ja tiedonkeruulaitteistoa. Ensimmäisenä vuonna selvitetään mahdollisuus näyttöjärjestelmän toteutukseen minikopterista.

## 3. Aineisto ja menetelmät

Hankkeen teknistieteellinen innovaatio on yhdistää säteilymittausten toteutus tiedon tallennukseen ja tosiaikaiseen siirtoon miniatyyrilaittein ottaen huomioon lennokkialustan rajoitukset hyötykuorman massan ja tilavuuden osalta. Datansiirto toteutetaan ilman lennokin tiedonsiirtojärjestelmää, jolloin saavutetaan riippumattomuus alustasta ja UAS-järjestelmätoimittajan mahdollisista rajoitteista. Näin myös mahdollistuu mittausdatan lähettäminen mihin tahansa käyttäjän määrittämään osoitteeseen (Kuva 1).



Kuva 1. Säteilymittauskonsepti. Sähköä lukuun ottamatta CZT-anturissa on kaikki säteilymittauksiin tarvittava. Älypuhelimesta saadaan sähkön lisäksi aika- ja paikkainformaatio ja sillä ohjataan säteilyilmaisimen toimintaa ja datansiirtoa.

Radioaktiivisten aineiden näytteenotto ilmasta on välttämätöntä erityisesti silloin, kun havainnoidaan sellaisia radionuklideita, jotka lähettävät vain vähän tai eivät lainkaan gammasäteilyä. Näytteenotto multikoptereita käyttäen on haastavaa, sillä kaupallisia tuotteita ei ole ja roottorien aiheuttama pyörrekenttä voi vaikuttaa näytteen edustavuuteen.

Tutkimuksen käytännön toteutus vuonna 2015 jaettiin osatehtäviin, joiden tulokset dokumentoitiin erillisraportteina (viitteet [1]-[5]):

1. Multikopteriin asennettavalle säteilyn energiaspektriä rekisteröivälle CZT-ilmaisimelle tehtiin alustavat havainnointikyvyn testit laboratoriossa käyttäen hyväksi tunnettuja säteilylähteitä [1]. Tavoitteena oli todentaa ilmaisimen ominaisuudet ja arvioida havainnointitehokkuus säteilyn energian funktiona.
2. Pienikokoiseen ilma-alukseen ei käytännössä voida asentaa useita erityyppisiä säteilyilmaisimia, joten ulkoisen säteilyn annosnopeus tulee voida laskea säteilyn energiaspektristä [2]. Tätä varten tehtiin energiaspektri- ja annosnopeusmittauksia tunnettuja säteilylähteitä käyttäen ja toteutettiin annosnopeuden laskentaohjelma.
3. Säteilyilmaisimen tulisi kestää suuria ulkoisen säteilyn annosnopeuksia ilmaisimen toimintakyvyn kärsimättä [3]. Toimintakyvyn verifiointi toteutettiin käyttäen apuna suuraktiivisia  $^{137}\text{Cs}$  ja  $^{60}\text{Co}$  säteilylähteitä.
4. Säteilyilmaisimen tulee sietää myös mekaanisia rasituksia ja sähkömagneettisten kenttien aiheuttamia häiriöitä [4]. Häiriötestien lisäksi tehtiin suunnitelma ilmaisimen ja puhelimen sijoittelusta kvadropteriin ja toteutettiin Android-sovellus säteilymittausdatan keruuseen ja siirtämiseen.
5. Kaupallisia ratkaisuja radioaktiivisten aineiden näytteenottoon ilmasta multikoptereita käyttäen ei ole olemassa. Esiselvityksessä [5] tarkastellaan mahdollisia näytteenottotapoja ja esitetään näytteenottimen periaatesuunnitelma.

#### 4. Tulokset ja pohdinta

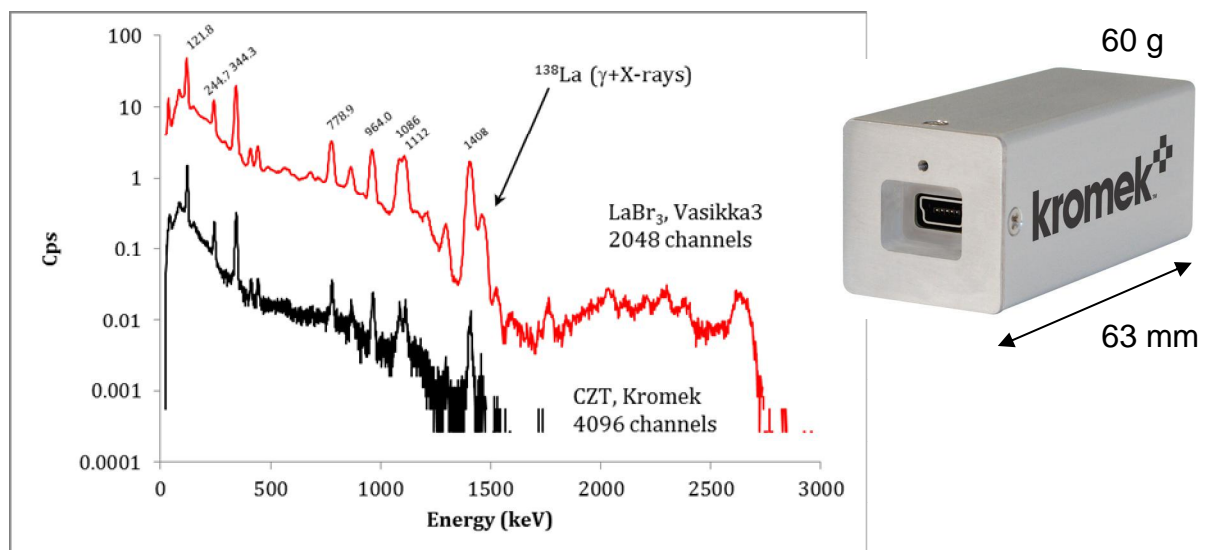
Toimiva ja käyttötarkoitukseensa sopiva lentoalusta on välttämätön perusedellytys hyvin suunnitellulle järjestelmälle, mutta toimivan operatiivisen säteilytiedustelujärjestelmän toteutus miehittämättömään ilma-alukseen edellyttää myös perusteellisesti testattuja osakomponentteja. Niinpä tässä tutkimuksessa keskityttiin säteilytiedustelun osakomponenttien (säteilyilmaisin, datankeruu ja -lähetyksen, näyttö) tarkasteluun painopisteenä komponenttien toimivuus ja luotettavuus.

Säteilytiedustelun kannalta keskeisiä asioita ovat – laitteiden toimivuuden ja luotettavuuden lisäksi – lentoalustan operatiivisuus, mittausten laatu, kyvykyys tosiaikaiseen datansiirtoon ja mahdollisuus datan etäanalyysiin. Nykyiset lentoalustat alkavat olla käytettävyyden osalta riittävän hyviä, jotta säteilytiedustelua voidaan toteuttaa onnistuneesti ja kustannustehokkaasti.

Erillisraportit [1]-[3] osoittavat, että

- CZT-säteilyilmaisimen (GR1-A) ominaisuudet ovat valmistajan ilmoittaman mukaisia: Energiaerottelukyky on 1.58 % @662 keV ja on parempi kuin yleisesti käytetyillä NaI- ja LaBr<sub>3</sub>-tuikeilmaisimilla. Ilmaisimen pienen koon takia (tilavuus 1 cm<sup>3</sup>, Kuva 2) tehokkuus on kuitenkin em. ilmaisimiin verrattuna huomattavasti pienempi. Tämä on kuitenkin etu, mikäli ilmaisinta joudutaan käyttämään voimakkaassa säteilykentässä.
- CZT-ilmaisimella kalibroitiin näyttämään ulkoisen säteilyn annosnopeutta. Erillistä ilmaisinta annosnopeuden mittaamiseksi ei siis ilma-aluksessa tarvita.
- <sup>137</sup>Cs (662 keV)- ja <sup>60</sup>Co (1173 ja 1332 keV)-lähteillä tehtyjen testimittausten perusteella ilmaisimella toimii luotettavasti vielä annosnopeudella 1 mSv h<sup>-1</sup>. Testimittauksia ei kuitenkaan toteutettu nuklideilla, jotka emittoivat pienempienergiaista gammasäteilyä. Niiden tapauksessa luotettavan toiminnan raja voi olla alhaisempi.

CZT-ilmaisimen värinänkeston testausta ei tutkimuksessa voitu toteuttaa vaarantamatta ilmaisimen eheyttä ja toimintaa.

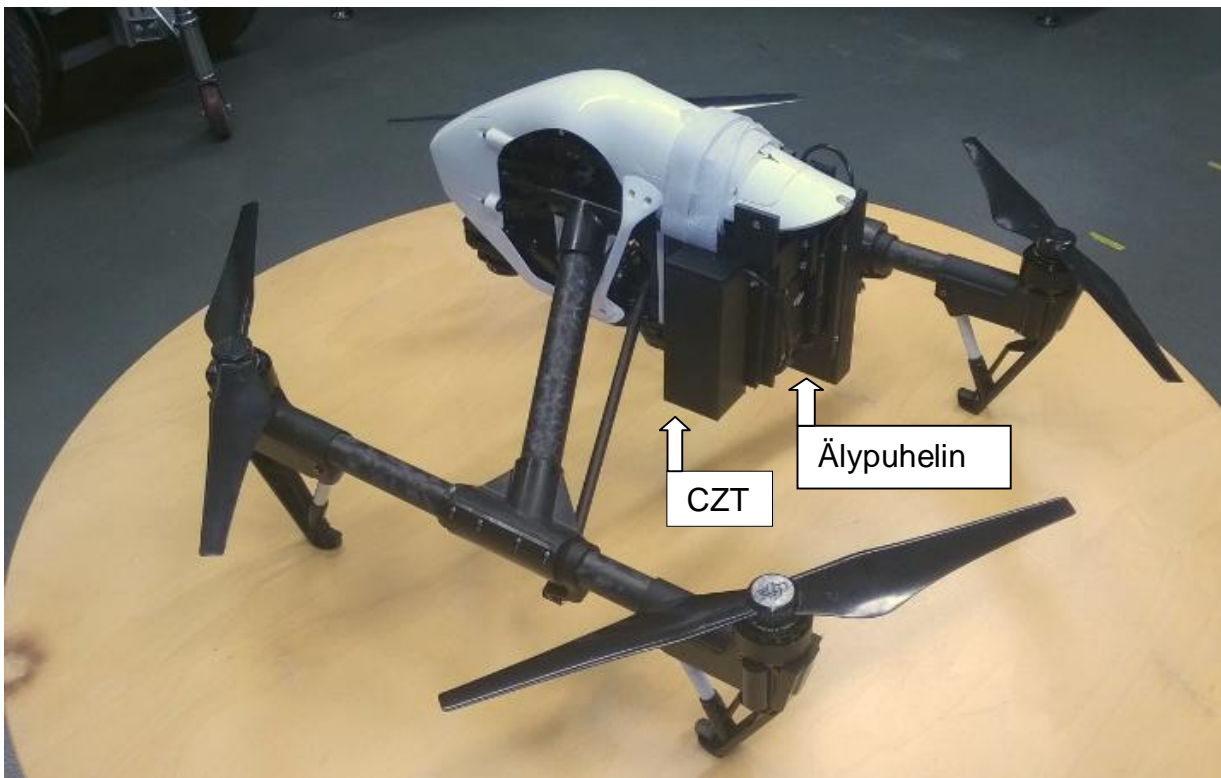


Kuva 2. LaBr<sub>3</sub>- (punainen viiva) ja Kromekin CZT-ilmaisimella (musta viiva) mitatut spektrit <sup>152</sup>Eu-säteilylähteestä [1].

Erillisraportissa [4]

- Toteutettiin älypuhelinsovellus (Android) säteilymittausdatan lukemiseksi ja datan edelleen lähettämiseksi. Data lähetetään Linssi-tietokantaan ns. LML-muodossa käyttäen joko WLAN tai 3G-yhteyttä.
- Tehtiin suunnitelma ilmaisimen ja älypuhelimien sijoittamisesta DJI Inspire 1 multikopteriin (Kuva 3).
- Toteutettiin (3D-tulostus) rakenteet ilmaisimen ja puhelimen kiinnittämiseksi multikopteriin.
- Varmistettiin, että CZT-ilmaisimen havaitsee eri suunnista tulevaa säteilyä likimain yhtä hyvin (kuutiomainen kide).
- Havaittiin multikopterin tuottavan häiriöitä CZT-ilmaisimen pulssitaajuuteen silloin, kun kopterin roottorien pyörintänopeutta muutetaan. Häiriöt ovat voimakkaimmillaan energia-alueella alle 50 keV, mutta niitä havaitaan aina 250 keV:iin asti.

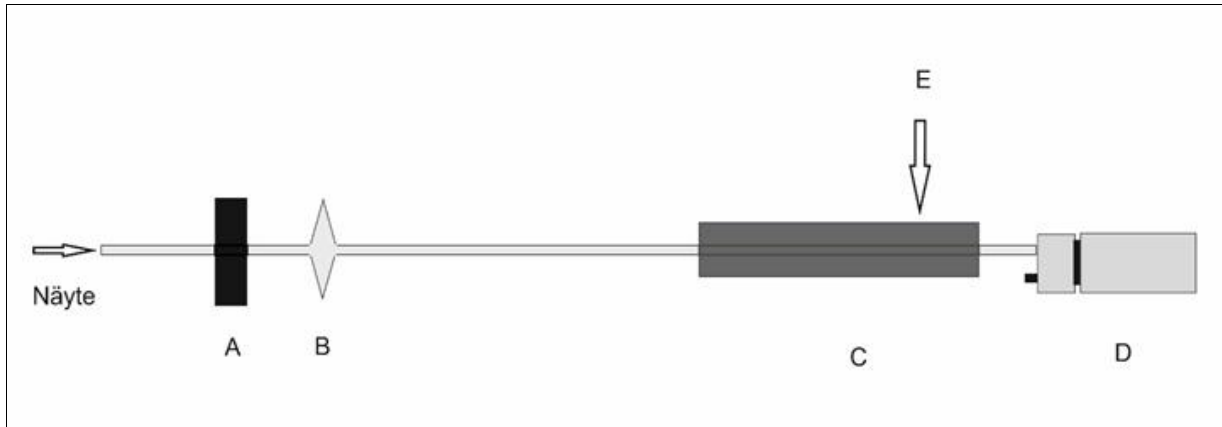
Multikopterin aiheuttamien häiriöiden poistamiseksi esitettiin erilaisia tapoja; häiriönpoisto toteutetaan jatkohankkeessa.



Kuva 3. Ilmaisimen ja älypuhelimien kiinnitys DJI Inspire 1 multikopteriin [4].

Erillisraportissa [5]

- Kartoitettiin erilaisia tapoja kaasun- ja hiukasmaisten (radioaktiivisten) aineiden näytteenottoon multikopterista.
- Esitettiin periaatekaavio DJI Inspire 1 multikopteriin sijoitettavasta keräimestä (Kuva 4). Keräin toteutetaan jatkohankkeena.



Kuva 4. Periaatekuva keräimen rakenteesta [5]. A pölysensori (lisäosa), B suodatinkotelo, C aktiivihiilipatruuna, D pumppu, E kiinnitys multikopteriin painopisteestä.

Erillisenä osiona (Puolustusvoimien Tutkimuslaitos) Intel PC Stick räätälöitiin toimimaan CZT-ilmaisimen kanssa. Tähän tikkutietokoneeseen asennettiin mittalaitteiden ohjaus-/analyysiohjelmat Unisampo ja Shaman sekä Linssi-tietokanta. Kuvassa 5 esitetyn laitteistokokonaisuuden paino on alle 500 g ja toiminta-aika 4 h.



Kuva 5. Säteilymittausten toteuttaminen Intelin PC-tikun avulla.

## 5. Loppupäätelmät

Kaksivuotisen tutkimuksen ensimmäinen vuosi täytti tutkimukselle asetetut tavoitteet. On syytä olettaa, että mahdollinen jatkohanke – ilmaisimen ja näytteenottimen asennukset multikopteriin ja niille suoritettut kenttätestit – tulee myös toteutumaan suunnitellulla tavalla, mikäli siihen myönnetään rahoitus.

Kaupallisten lentoalustojen laatu ja käytettävyys tulee lähivuosina paranemaan uusien sovellusten ja markkinoiden kasvun myötä. Kasvun myötä myös alustojen hinnat tulevat pienenemään. Ammattikäyttöön tarkoitettuja laitteita tullaan saamaan selvästi alle kymmentuhannen euron hintaan.

Säteilyä havainnoivat ilmaisimet ovat viime vuosina kehittyneet voimakkaasti ja tulevat edelleen kehittymään. Laadukkaiden laitteiden hinnat ovat kuitenkin vielä korkeita. Tutkimuksessa käytetty CZT-ilmaisimien maksaa noin yhdensätuhatta euroa eli se on laitteiston kallein komponentti. Tähän nähden älypuhelimien ja näytteenottimen laitteet ovat erittäin halpoja – tehtävästä riippuen niitä voidaan tarvittaessa pitää jopa kertakäyttöisinä.

Ionisoivan säteilyn havainnointi ja radioaktiivisten aineiden näytteenotto suppeilta alueilta voidaan lähitulevaisuudessa toteuttaa halvoin lentävin laittein ja vaarantamatta tehtävää toteuttavaa henkilöstöä. Lentokenttää, tiestöä, kalliita erikoisvälineitä ja pitkään kestävää erikoiskoulutusta laitteiden operointiin ei tulla tarvitsemaan. Kun kyseessä on laaja-alainen laskeuma tai ilmakehään laajalti levinneet radioaktiiviset aineet, tullaan miehitettyjä alustoja edelleenkin tarvitsemaan. Spektrometrinen mittausdata (etä)analysointi, näytteiden laboratoriomittaukset ja tulosten tulkinta tulevat jatkossakin vaatimaan erikoisosaamista.

## 6. Tutkimuksen tuottamat tieteelliset julkaisut ja muu raportointi

Tutkimuksen tieteellinen dokumentaatio aloitetaan jatkohankkeen rahoituksen varmistuttua. Vuoden 2015 tuloksia esiteltiin MATINEn tutkimusseminaarissa 18.11.2015 ([http://www.defmin.fi/files/3266/Ionisoivan\\_sateilyn\\_havainnointi\\_ja\\_naytteenotto\\_UAS-jarjestelmalla.pdf](http://www.defmin.fi/files/3266/Ionisoivan_sateilyn_havainnointi_ja_naytteenotto_UAS-jarjestelmalla.pdf)); yksityiskohtaiset tulokset esitetään seuraavissa MATINELLE toimitetuissa teknisissä raporteissa, joita ei sellaisenaan julkaista:

[1] R. Pöllänen. Kromek GR1-A CZT-ilmaisimen laboratoriotestit. VAM-TECDOC-4-2015. Säteilyturvakeskus, 2015.

[2] T. Karhunen. Kromek GR1-A annosnopeuskalibrointi. KEV-TECDOC-2015. Säteilyturvakeskus, 2015.

[3] T. Karhunen. Kromek GR1-A mittaukset STUKin säteilytyshallissa. KEV-TECDOC-2015. Säteilyturvakeskus, 2015.

[4] M. Kauppinen, V. Pitkänen, P. Siirtola, J. Röning. MATINE Kromek GR1-A quadcopter feasibility testing. Oulun yliopisto, 2015.

[5] J. Hakala, J. Mikkilä, T. Petäjä. Esiselvitys radioaktiivisen aineen näytteenotosta multikopterista. Helsingin yliopisto, 2015.