



TAMPEREEN TEKNILLINEN YLIOPISTO
TAMPERE UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

KAUKO-OHJATTAVIEN LENNOKKIEN HYÖDYNTÄMINEN MATKAPUHELINVERKKOJEN KUULUVUUSALUEIDEN LAAJENTAMISEKSI POIKKEUSTILANTEISSA

Loppuraportti



Joonas Säe ja Jarkko Laaja
Tampereen teknillinen yliopisto (TTY)
Elektroniikan ja tietoliikennetekniikan laboratorio
25. syyskuuta 2018, TAMPERE

TIIVISTELMÄ

Suurhäiriötilanteiden aiheuttamien sähkökatkojen korjaaminen voi kestää pahimmillaan jopa useita päiviä. Korjaustoimet saadaan nopeasti käyntiin ja yleensä ensimmäiset pari tuntia pystytään hoitamaan korjaustoimenpiteitä sujuvasti, sillä toimenpiteiden apuna käytetyt matkapuhelinverkot ovat vielä toiminnassa. Parin tunnin jälkeen korjaustoimenpiteisiin kuluu enemmän aikaa, sillä matkapuhelinverkkojen varavoiman loppuessa korjausalueilla ei ole enää normaalia kuuluvuusalueita, joten korjausryhmät voivat joutumaan ajamaan pitkiä matkoja jotta päästään taas kuuluvuusalueelle.

Tässä projektissa tutkittiin sitä, kuinka korjausryhmille voitaisiin saada matkapuhelinyhteys suoraan korjauspaikoilta hyödyntämällä dronea ja matkapuhelinta. Matkapuhelinverkkojen kuuluvuusalue määräytyy monien asioiden perusteella ja yksi niistä on ympäristö. Normaalisti kaukana sijaitsevien tukiasemien signaalit eivät kuulu enää maanpinnalle, sillä maanmuodot ja esimerkiksi ympärillä oleva metsä vaikeuttaa signaalinvoimakkuutta. Kun matkapuhelin nostetaan dronen avulla ilmaan, saadaan signaalia voimakkaammaksi, sillä puiden yläpuolella puhelimella on yleensä suora näköyhteys kaukanakin oleviin tukiasemiin.

Projektissa tehtiin mittauksia viidellä eri paikkakunnalla: Pinsiöllä, Valkeakoskella, Orivedellä, Nokialla ja Savonkylällä. Kaikissa paikoissa suoritettiin automatisoidut mittausreitit kolmella eli korkeudella: 50 m, 100 m ja 150 m korkeuksissa. Lisäksi jokaisessa korkeudessa mitattiin erikseen kolmea eri matkapuhelinverkkoteknologiaa eli 2G:n GSM-verkkoja, 3G:n UMTS-verkkoja, sekä 4G:n LTE-verkkoja.

Mittaustuloksista voidaan nähdä, että signaalinvoimakkuus on ilmassa maanpintaan verrattuna 20–30 dB voimakkaampi eli lineaarisella asteikolla 100–1000-kertainen. Käytännössä tämä tarkoittaa signaalin selkeästi parempaa kuuluvuutta eli esimerkiksi maanpinnan muutaman kilometrin etäisyyden kasvamista jopa kymmenkertaiseksi ilmassa. Tämä huomattiin selvittämällä etäisyyksiä tukiasemiin joihin puhelin oli ollut kiinni mittauksien aikana. Kauimmat tukiasemien sijaintien etäisyydet olivat selkeästi yli 20 km, jopa 40 km etäisyydellä mittapuhelimesta. Mittausten pohjalta todettiin lisäksi, että 50 m korkeudella maanpinnassa oli parhain tilanne signaalinvoimakkuuden suhteen mitatuilla paikoilla. Tämä voi tosin johtua siitä, että mittausalueilla antennien korkeudet ovat 50–70 m korkeudella. Lisäksi projektissa testattiin maanpinnalta puhelun muodostamista bluetooth-kuulokkeen avulla dronessa kiinni olevaan puheliin. Tämäkin onnistui hyvin eli testien mukaan 50 m - 100 m etäisyys kuulokkeen ja puhelimen välillä oli mahdollinen, kun laitteiden välissä ei ollut esteitä.

ESIPUHE

Tämä on loppuraportti Elenian tilaamasta projektista **Kauko-ohjattavien lennokkien hyödyntäminen matkapuhelinverkkojen kuuluvuusalueiden laajentamiseksi poikkeustilanteissa** (engl. Use of drones in extending network coverage in disturbance scenarios, DENCO). Projektin tarkoituksena oli nimen mukaisesti tutkia kauko-ohjattavien lennokkien mahdollista hyödyntämistä matkapuhelinverkkojen kuuluvuusalueiden laajentamiseksi poikkeustilanteissa. Projektin pohjalta Jarkko Laaja kirjoitti oman diplomityönsä *Drone Enhanced Connectivity to Cellular Networks in Disturbance Scenarios*. Hanke toteutettiin aikavälillä 1.4.2018–30.9.2018.

DENCO-projektissa tutkijaosapuolena toimi Tampereen teknillisen yliopiston Elektromagneettisen ja tietoliikennetekniikan laboratorio. Loppuraportissa on hyödynnetty osia Jarkko Laajan diplomityöstä.

Tampereen teknillinen yliopisto haluaa kiittää kaikkia tutkimuksessa mukana olleita yrityksiä yhteistyöstä. Kiitokset Viestintävirastolle ja Elisalle heidän myöntämistään radio- ja mittausluvista, joita tarvittiin mittauksien tekemiseen. Erityiskiitos vielä Elenialle hyvin mielenkiintoisesta projektista.

SISÄLLYS

1. Johdanto	1
2. Matkapuhelinverkkojen hyödyntäminen sähkönjakeluverkon korjaustoimen- piteissä	2
2.1 Matkapuhelinverkot Suomessa	2
2.2 Sähkönjakeluverkot Suomessa	3
2.3 Sähkönjakeluverkkojen korjausprosessi	4
2.4 Dronen hyödyntäminen sähköverkon tarkastus- tai korjaustöissä	5
3. Mittausmenetelmät	6
3.1 Mittaukset ilmassa - Drone	6
3.2 Mittaukset ilmassa - Nemo Handy	7
3.3 Mittaussuunnitelma	8
3.3.1 Mittauspaikkojen valinta	8
3.3.2 Mittauspaikat	9
3.3.3 Lentoreittien suunnittelu	10
3.4 Tiedonkeruu	10
3.5 Tiedon prosessointi	11
4. Mittaustulokset	12
4.1 Pinsiö	13
4.1.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla	15
4.2 Valkeakoski	16
4.2.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla	17
4.2.2 Tukiasemaetäisyydet maanpinnalla	18
4.3 Orivesi	19
4.3.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla	20
4.4 Nokia	21
4.4.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla	22
4.5 Savonkylä	23

4.5.1	Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla	24
4.5.2	Tukiasemaetäisyydet maanpinnalla	25
4.6	Tulosten analysointi	26
4.6.1	Vastaanottotehon vertailu	26
4.6.2	Tukiasemaetäisyyksien vertailu	26
4.6.3	Havaittujen naapuritukiasemien vertailu	27
5.	Yhteenveto	28
	Lähteet	29
	Liitteet	31
	Mittau tulokset	31
	Pinsiö	31
	Valkeakoski	32
	Orivesi	33
	Nokia	34
	Savonkylä	35
	Haastatteluiden transkriptiot	36
	Lasse Ryt ky	36
	Mikko Riikonen	38
	Ville Leino	41

1. JOHDANTO

Suurhäiriötilanteissa, esimerkiksi myrskyn aiheuttamissa sähköverkon pitkäkestoisissa keskeytyksissä, korjaustoimenpiteet voivat kestää jopa useita päiviä (Energiateollisuus 2018). Yksinkertaisesti syy on siinä, että myrsky on tehnyt erittäin laajaa tuhoa sähköverkolle, jonka korjaaminen kestää yötä päivää jatkuvista korjaustoimenpiteistä huolimatta useita päiviä.

Yksi syy korjaustoimenpiteiden pitenemiselle liittyy sähköyhtiöiden korjaustoimenpideprosessien riippuvuudesta matkapuhelinverkkoihin: korjaajien tulee olla yhteydessä käyttökeskukseen, jotta korjaustoimenpiteiden niin sanottu tilannekuva on jatkuvasti selvillä. Tällä tarkoitetaan sitä, että käyttökeskuksessa tiedetään kokoajan mitä verkossa tapahtuu eli tarkalleen missä osissa verkkoa on vika ja mitä kohtia ollaan korjaamassa kullakin hetkellä. Vallitseva tilanne voi muuttua minä hetkenä hyvänsä, joten korjaustoimenpiteitä tekevien korjausryhmien tulee olla yhteydessä käyttökeskukseen matkapuhelimien avulla aina kun yksi korjaustoimenpide on saatu tehtyä. Ja nimenomaan tässä vaiheessa voi tulla merkittäviä hidastuksia korjauksiin, sillä sähköttömilla alueilla matkapuhelinverkon kuuluvuusalue voi olla huonontunut tai jopa puuttua.

Kun matkapuhelinverkon kuuluvuusalue eli peitto loppuu sähköjakeluverkon korjattavalta alueelta, tulee korjausryhmien olla joka tapauksessa yhteydessä käyttökeskukseen. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että korjausryhmien tulee siirtyä sellaiselle alueelle, jossa matkapuhelinverkkojen peittoaluetta vielä on. Yleensä tämä tarkoittaa yli 10 kilometrin ajamista pois korjattavalta alueelta johon kuluu aikaa.

Tässä DENCO-projektissa selvitettiin kuinka yhteys korjaustoimenpidepaikkoihin voitaisiin saada käyttämällä hyväksi dronea ja matkapuhelinta. Näiden avulla matkapuhelinverkkojen signaalit tukiasemista voidaan saada paremmin kuulumaan, kun päästään lentämään puiden yläpuolelle. Projektissa selvitettiin siis kuinka paljon voimakkaampi signaali on korkeammalla ilmassa maanpintaan nähden, sekä kuinka kaukaa yhteys voitaisiin vielä saada kuulumaan. Näillä tuloksilla haluttiin selvittää voitaisiinko droneja hyödyntämällä saada selkeää hyötyä sähköverkon korjaustoimenpiteisiin.

2. MATKAPUHELINVERKKOJEN HYÖDYNTÄMINEN SÄHKÖNJAKELUVERKON KORJAUSTOIMENPITEISSÄ

Matkapuhelinverkot ovat tärkeässä roolissa sähkönjakeluyhtiöiden toiminnassa. Matkapuhelinverkkoja käytetään esimerkiksi etäohjattavan verkostoautomaation tarpeisiin, joka mahdollistaa muun muassa vianpaikannuksen ja -erotuksen sähkönjakeluverkossa. Verkkoja käytetään myös hyvin paljon operatiiviseen toimintaan varsinkin huolto- ja viankorjaustoimenpiteiden yhteydessä. (Haapanen 2015)

2.1 Matkapuhelinverkot Suomessa

Suomessa on käytössä kolme kaupallista matkapuhelinoperaattoria, joilla on omat infrastruktuurinsa. Jokaisella operaattorilla on käytössään kolmea eri matkapuhelinverkkojen teknologiaa maanlaajuisesti, joita ovat 2. sukupolven (engl. second generation, 2G) GSM-verkot (engl. Global System for Mobile Communications), 3. sukupolven (engl. third generation, 3G) UMTS-verkot (engl. Universal Mobile Telecommunications System) ja 4. sukupolven (engl. fourth generation, 4G) LTE-verkot (engl. Long Term Evolution).

Matkapuhelinverkot toimivat normaaliolosuhteissa erittäin hyvin. Ongelmia tulee kuitenkin siinä vaiheessa, kun puhutaan poikkeusolosuhteista. Matkapuhelinverkkojen tukiasemilla täytyy olla Viestintäviraston määräysten mukaan 2–4 tuntia varavoimaa esimerkiksi akkujen avulla toteutettuna (Viestintävirasto 2014). Tämä mahdollistaa sähkönjakeluyhtiöiden korjaustoimenpiteiden sujuvan etenemisen, kun matkapuhelinverkot ovat vielä pystyssä vähän aikaa vaikka sähkönsyöttö on katkennut sähköverkosta. Todellisuudessa varavoima voi loppua itseasiassa jo aikaisemmin kuin määräykset vaativat, sillä tukiasemien akustot eivät ole aina parhaimmassa kunnossa ja matkapuhelinverkoilla on normaalia suurempi käyttöaste poikkeusolosuhteissa, joka nopeuttaa varavoiman ehtymistä (Säe 2017).

Tässä projektissa tutkittiin yhden kaupallisen operaattorin matkapuhelinverkkoa. Tällä tarkoitetaan kaikkia käytössä olevia teknologioita ja jokaisella mittauspaikalla

havaittavia taajuuskaistoja. Yleensä havaitut taajuuskaistat olivat LTE:n osalta 800 MHz kaistalla (700 MHz:n taajuuskaista ei ole vielä maanlaajuisesti käytössä) ja GSM- sekä UMTS-verkkojen osalta 900 MHz kaistalla, sillä kyseiset matalammat taajuudet ovat käytössä haja-asutusalueilla, joissa mittaukset toteutettiin. Suomessa käytössä olevat matkaviestintaajuuskaistat on lueteltu taulukossa 2.1.

Taulukko 2.1 Yleiset matkaviestintaajuuskaistat Suomessa. (Viestintävirasto 2018)

Taajuuskaista	Teknologia
700 MHz	LTE
800 MHz	LTE
900 MHz	GSM, UMTS
1800 MHz	GSM, UMTS, LTE
2100 MHz	GSM, UMTS, LTE
2600 MHz	LTE

Taulukossa 2.1 nähtävät ylemmät taajuuskaistat eli 1800 MHz, 2100 MHz ja 2600 MHz on käytössä kaupunkialueilla, sillä korkeammat taajuudet eivät etene yhtä pitkälle kuin matalammat taajuudet. Tämä tarkoittaa sitä, että korkeammalla taajuuskaistalla toimivia tukiasemia tarvittaisiin paljon enemmän kuin matalamman taajuuskaistan järjestelmiä haja-asutusalueilla, joten niiden käyttö kyseisillä alueilla ei ole kustannustehokasta.

Matkapuheliverkon yleiseen toimintaan vaikuttaa käytettävien teknologioiden ja taajuuskaistojen lisäksi myös itse infrastruktuurin toteutus. Yleisesti matkapuhelinverkon signaalinkuuluvuus riippuu käytetyn taajuuskaistan ja lähetystehon lisäksi käytetystä antennista, sen orientaatiosta, sekä korkeudesta suhteessa maanpintaa, sillä korkeammalla sijaitsevan antennin lähettämä signaali pääsee etenemään paremmin esteiden yli. Yleisesti siis, varsinkin puhelimen sijainnin perusteella, signaalin kuuluvuuteen vaikuttaa ympäristö, jossa toimitaan. Kaupunkialueilla tukiasemien antennit ovat suurimmassa osin kattojen päällä ja sivussa, mutta maaseudulla haja-asutusalueella antennit ovat pääasiassa mastoissa.

2.2 Sähkönjakeluverkot Suomessa

Sähkönjakelujärjestelmästä koostuu Suomessa kantaverkosta, alueverkosta ja jakeluverkosta. Valtakunnallinen kantaverkko eli sähkönsiirron runkoverkko siirtää voimalaitoksissa tuotettua energiaa maantieteellisesti eri paikoissa sijaitseville alueverkoille ja erittäin suurille yrityksille 400 kV, 220 kV ja 110 kV korkeajännitetasoilla. Suomessa kantaverkkoa hallinnoi Fingrid Oyj. (Energiavirasto 2018), (Fingrid 2018)

Alueverkot siirtävät vastaavasti sähköä eteenpäin kantaverkosta paikallisille jakeluverkoille tyypillisesti 110 kV jännitteellä. Jakeluverkot taas toimittavat sähkön lopulta pienkuluttajille eli kotitalouksille 20 kV ja 0,4 kV jännitteillä. (Lakervi & Partanen 2008), (Energiavirasto 2018)

2.3 Sähkönjakeluverkkojen korjausprosessi

Sähkönjakeluverkon toimintaa ja korjausprosessia ohjaa sähkömarkkinalaki. Lain mukaan "Verkonhaltijan tulee riittävän hyvälaatuisen sähkön saannin turvaamiseksi verkkonsa käyttäjille ylläpitää, käyttää ja kehittää sähköverkkoaan sekä yhteyksiä toisiin verkkoihin sähköverkkojen toiminnalle säädettyjen vaatimusten ja verkon käyttäjien kohtuullisten tarpeiden mukaisesti." (Sähkömarkkinalaki 2013) Jokaisella sähkönjakeluyhtiöllä on omat toimintatapansa, mutta peruseriaatteet ovat samantlaiset kaikissa sähkönjakeluyhtiöissä.

Yleinen pääpiirre häiriötilanteissa ja korjausprosesseissa on erityisesti ennakointi. Tämä tarkoittaa sitä, että häiriöiden varalle on jo etukäteen tehty varautumissuunnitelma, jonka mukaan edetään häiriötilanteiden ilmettyä ja johon henkilöstö on perehdytetty etukäteen. (Pylkkänen 2014) Ennakointi tarkoittaa yleensä myös sitä, että esimerkiksi sääennusteita ja varoituksia mahdollisista vaarallisista sääilmiöistä seurataan jatkuvasti. Näin pyritään ennustamaan myös häiriön mahdollinen kesto, laajuus ja vaikutukset verkkoon. Näiden avulla suunnitellaan kaikki tarvittavat resurssit (henkilöstö, kalustot, materiaalit), sekä tarvittavat yhteydenpidot sidosryhmiin häiriöitä varten.

Itse häiriötilanteen korjausprosessissa tilannetta pyritään ylläpitämään mahdollisimman reaaliaikaisella tilannekuvalla. Tämä tarkoittaa tietoa vikojen määrästä, niiden tyypeistä, sähköttömien käyttöpaikkojen määrästä, häiriön laajuudesta ja mahdollisesta kestosta, sekä monista muista kuten resurssien riittävyyden seuraamisesta. Itse korjausprosessissa hyödynnetään matkapuhelinverkkoja, jotta käyttökeskus pystyy kommunikoimaan maastohenkilöstön kanssa. Jos puhelinyhteyttä ei ole saatavilla, joutuu korjausryhmät siirtymään jokaisen toimenpiteen jälkeen alueelle, josta saadaan yhteys käyttökeskukseen. (Pylkkänen 2014) Tämä vie tietysti ylimääräistä aikaa, varsinkin jos siirtyminen edellyttää pitkien matkojen ajamista.

2.4 Dronen hyödyntäminen sähköverkon tarkastus- tai korjaustöissä

Elenian urakoitsijakumppaneilla on pilottikäytössä muutamia droneja sähköverkon tarkastus- ja korjaustöissä. Droneja käytetään korjauspisteen paikantamiseen ja vahingon arvioimiseen. Vikavälin selvittämisen jälkeen vikapistettä voidaan etsiä dronen avulla lentämällä sähkölinjan yläpuolella. Varsinkin vaikeakulkuisessa maastossa tämä säästää paljon aikaa. Ilman dronea tämä paikannus tehtäisiin kesäisin autolla tai jalan sekä talvisin moottorikelkalla tai mönkijällä.

Eritoten vaikeasti päästäville alueilla, kuten saarikohteissa, dronea voidaan käyttää vahinkojen arvioimiseen. Dronella voidaan arvioida muun muassa lepääkö kaatunut puu ilmajohdon päällä vai onko johtoja mennyt poikki, onko eristimiä vikaantunut tai onko pylviä mennyt poikki. Suurhäiriötilanteessa dronella otetuilla valokuvilla pyritään muodostamaan mahdollisimman tarkka kokonaiskuva, joka voidaan välittää työryhmiä ohjaavalle suurhäiriökoordinaattorille.

Rajoittavia tekijöitä dronen käyttämiselle on lain vaatima suoran näköyhteyden säilyttäminen droneen eli VLOS (engl. visual line-of-sight). Dronen käytössä tulee väkisinkin vastaan tilanteita jossa joudutaan lentämään suoran näköyhteyden ulkopuolella eli BVLOS (engl. beyond visual line-of-sight). (Traf 2018)

Dronen käytölle ei ole toistaiseksi asetettu määräyksiä tai toimintaohjeita Elenialla. Pääosin droneja käytetään valoisissa olosuhteissa, jotta kameran ottamista kuvista saa selvää. Dronen käytössä noudetetaan valmistajan käyttöohjeita ja maalaisjärkeä. Esimerkiksi tuulenpuuskiin voidaan varautua lentämällä puun latvojen yläpuolella. Myöskään sähkölinjojen lähellä lentäminen ei ole ongelma. Kahdenkymmenen kilovoltin sähkölinjan päällä pitää lentää puolen metrin päässä ennen kuin drone saa minkäänlaista häiriötä. Kuormitetun muuntajan isompi magneettikenttä aiheuttaa häiriötä noin metrin päässä. Sähkölinjojen aiheuttama häiriö ei vaikuta dronen lentokäyttäytymiseen vaan se aiheuttaa esimerkiksi kompassivaroituksia dronen hallintaohjelmassa. (Leino 2018), (Riikonen 2018), (Rytty 2018)

3. MITTAUSMENETELMÄT

Tässä kappaleessa käydään läpi lyhyesti kuinka mittaukset matkapuhelinverkossa on toteutettu. Kappaleessa käsitellään mittauslaitteistoa, mittaussuunnitelmaa, tiedonkeruuta ja tiedon prosessointia.

3.1 Mittaukset ilmassa - Drone

Mittauksissa käytettiin kuvassa 3.1 näkyvää DJI Inspire 2 -dronea. Lähinnä ammattivalokuvaajille tarkoitettu drone valittiin sen ominaisuuksien (lentoaika, tuulensietokyky, vakaus, turvallisuus) ja hyötykuorman kantokyvyn vuoksi. Kameran lisäksi dronen pohjaan kiinnitettiin mittauslaitteena toimiva matkapuhelin Samsung Galaxy S8.



Kuva 3.1 DJI Inspire 2.

3.2 Mittaukset ilmassa - Nemo Handy

Mittausohjelmana oli kuvassa 3.2 näkyvä Keysight Technologies -yhtiön Nemo Handy. Tämä mittausohjelma kerää matkapuhelinverkon dataa ja tallentaa sen puhelimen muistiin jatkoprosessointia varten. Mittausohjelma pystyy lukittumaan tiettyyn teknologiaan siten, että se kerää esimerkiksi ainoastaan 4G-dataa.



Kuva 3.2 Mittausohjelma Nemo Handy.

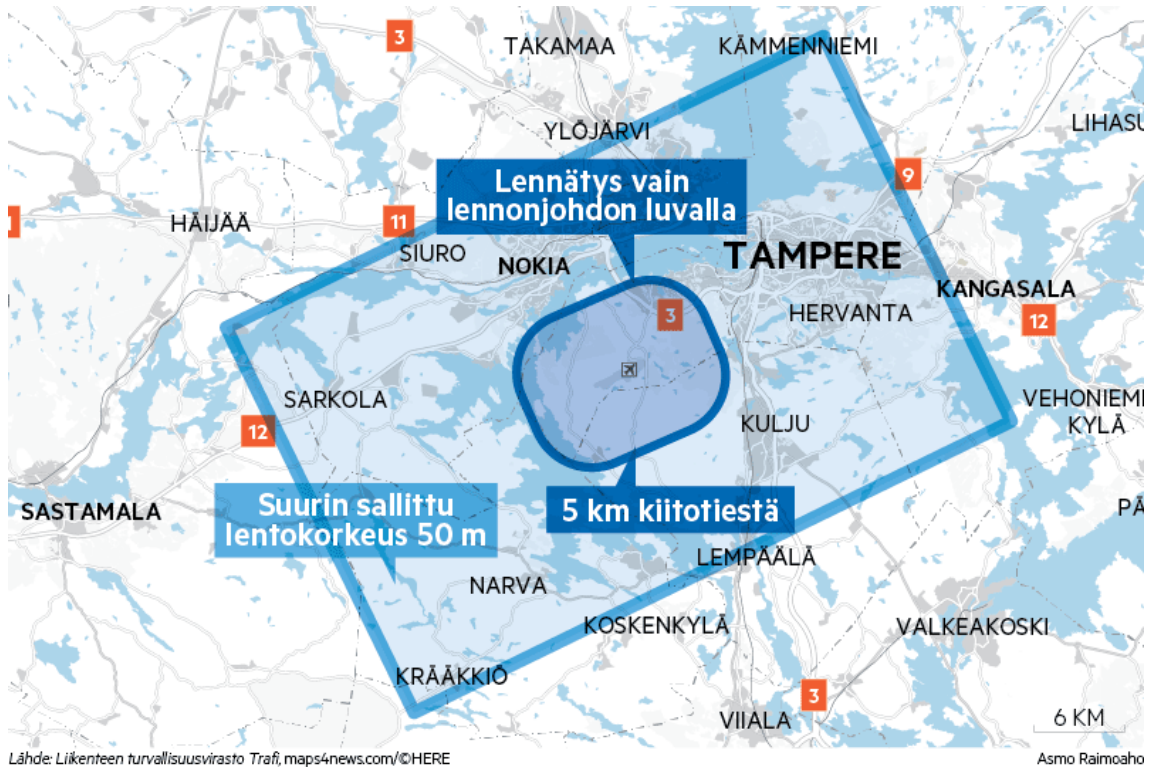
Mittausohjelman keräämä data on puhelimen mittaamaa tietoa matkapuhelinverkosta, sekä matkapuhelinverkon lähettämää tietoa puhelimelle. Näitä puhelimen kannalta oleellisia parametrejä verkossa toimimiseen ovat muun muassa vastaanotetun signaalin voimakkuus, häiriötasot ja naapurisolut. Näitä parametrejä käytetään hyödyksi puhelimen toimimiseen verkossa eli siihen, että puhelin pystyy esimerkiksi vaihtamaan solua silloin kun parempi solu on tarjolla.

3.3 Mittaussuunnitelma

Mittauksia varten piti tehdä etukäteen tarkat suunnitelmat, jotta ne pystyttiin suorittamaan mahdollisimman sujuvasti. Tämä vaati erityisestä huolellisuutta niin mittauksien tekniseltä toteutukselta kuin mittauspaikkojen valitsemiselta.

3.3.1 Mittauspaikkojen valinta

Matkapuhelimen käyttö dronessa vaati Viestintävirastolta saatua radiolupaa koska ilmassa oleva radiolähetin voi aiheuttaa häiriötä muille matkapuhelimille. Saimme myös tarvittavan mittausluvan Elisalta, jonka verkossa kaikki mittaukset suoritettiin. Lisäksi mittauspaikkojen valinnassa tuli huomioida kielletyt lentoalueet ja rajoitteet lentokorkeuden suhteen. Suurimpana rajoittavana tekijänä oli kuvassa 3.3 näkyvä Tampere-Pirkkalan lentoaseman lentorajoitusalue.



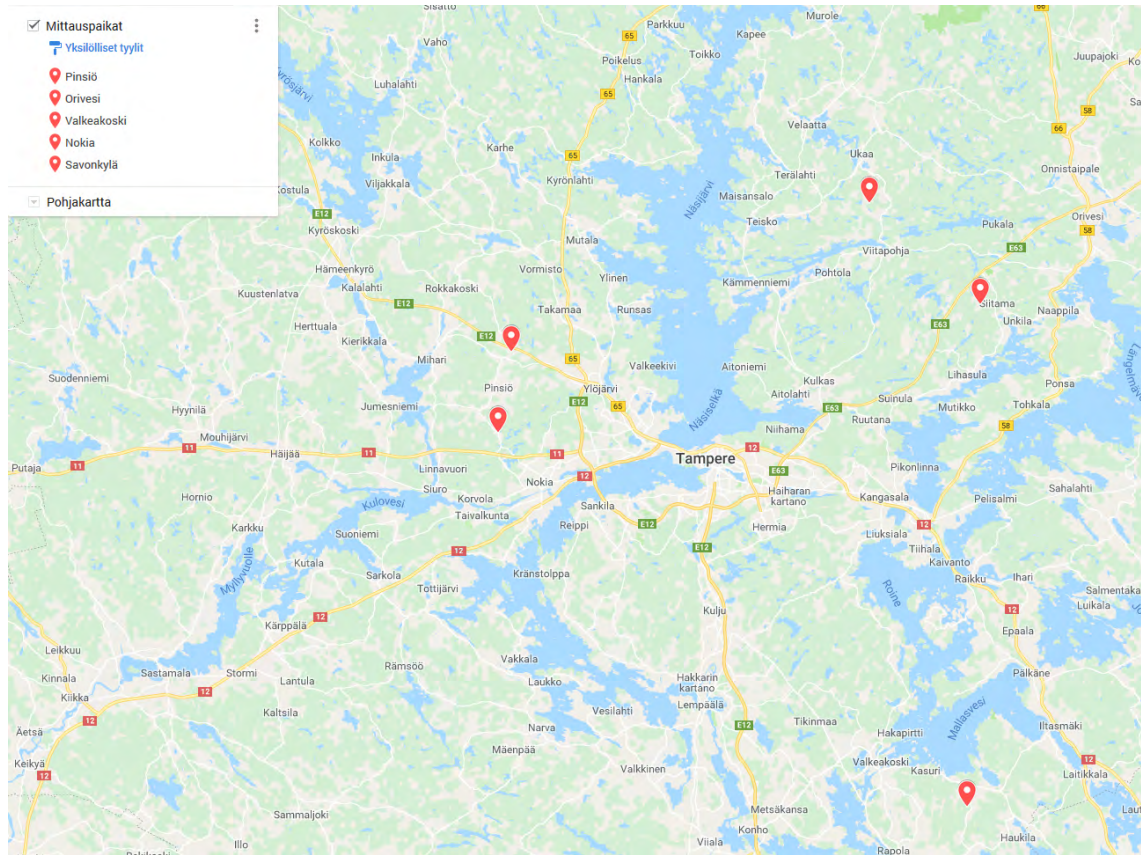
Kuva 3.3 Tampere-Pirkkalan lentoaseman lentorajoitusalue. (Aamulehti 2017)

Mittauspaikoille asetettiin lisäksi seuraavat kriteerit:

1. haja-asutusalueella
2. sähkölinjan vieressä
3. turvallinen lentää
4. ei vaaraksi ihmisille, eläimille tai ympäristölle

3.3.2 Mittauspaikat

Mittauksia suoritettiin viidessä eri sijainnissa. Mittauspaikat nimettiin aika suurpiirteisesti lähimmän kunnan tai kylän mukaan. Kuvassa 3.4 on mittauspaikkojen sijainti ja taulukossa 3.1 tarkemmat koordinaatit.



Kuva 3.4 Mittauspaikat.

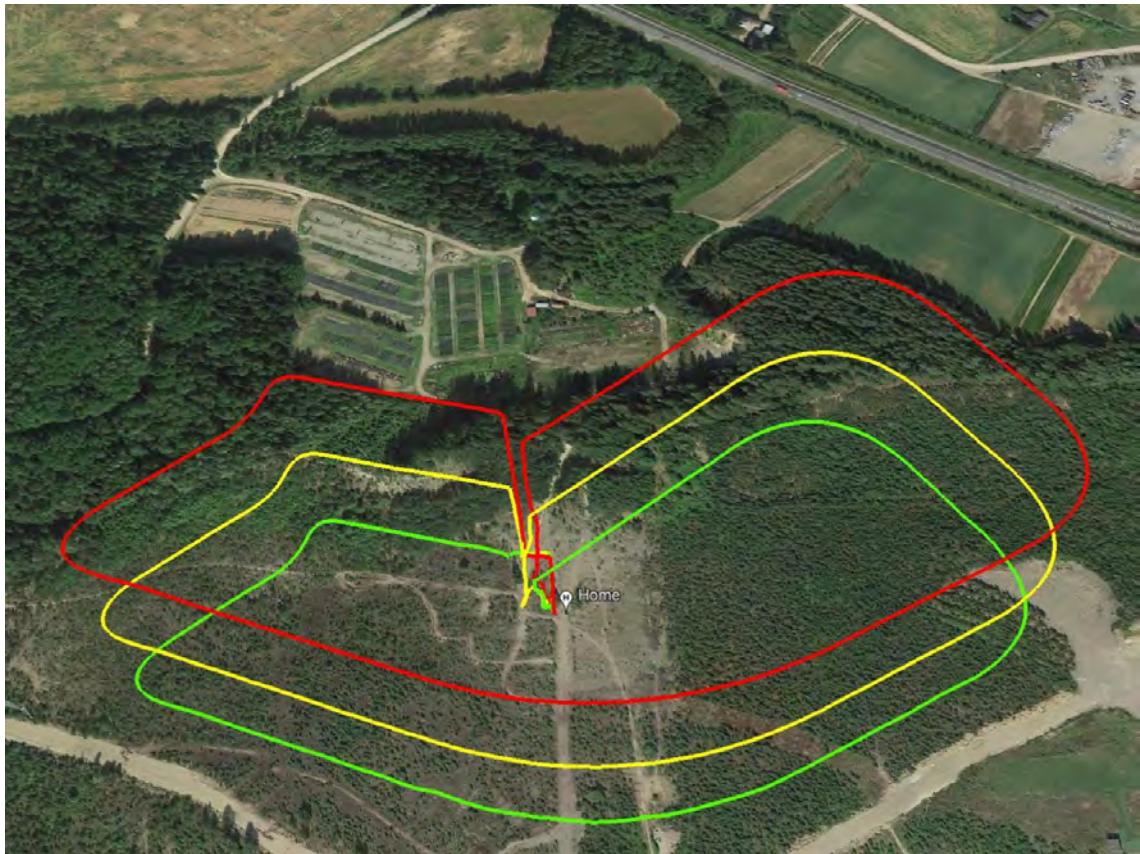
Taulukko 3.1 Mittauspaikat.

mittauspaikka	päivämäärä	latitudi	longitudi
Pinsiö	31.5.2018	61.576617	23.455424
Valkeakoski	13.6.2018	61.237533	24.166493
Orivesi	20.6.2018	61.612329	24.187912
Nokia	27.6.2018	61.516498	23.435078
Savonkyli	10.7.2018	61.687474	24.014687

Mittaustuloksiin vaikuttaa oleellisesti myös matkapuhelinverkon fyysinen toteutus valituilla alueilla. Operaattorit eivät jaa tätä dataa julkisesti, joten tämän projektin osalta on oletettu, että antennien korkeudet ovat 50 m ja 70 m väliltä, joka on tyypillinen antennien korkeus haja-asutusalueilla.

3.3.3 Lentoreittien suunnittelu

Lentoreitit toteutettiin automaattisina lentoina, jotta mittauksista saatiin toistettavia ja mahdollisimman vertailukelpoisia. Yksittäisen lennon pituus oli noin 1 km ja lennon kesto noin 5 min. Sama lentoreitti toistettiin kaikilla teknologioilla 50 m, 100 m ja 150 m korkeuksissa. Jokaisessa mittauspaikassa suoritettiin yhdeksän mittauslentoa. Kuvassa 3.5 on Pinsiön mittauksissa käytetyt automaattiset lentoreitit 50 metrin, 100 metrin ja 150 metrin korkeuksissa.



Kuva 3.5 Automaattiset lentoreitit.

3.4 Tiedonkeruu

Mittauksissa kerättiin tietoa monesta eri lähteestä. Dronessa olevat GPS-piiri, barometri ja IMU (engl. inertial measurement unit) tallensivat dronen telemetriadataa sisäiselle muistikortille. Lisäksi mittauslaitteena olevassa älypuhelimessa oli käynnissä kaksi ohjelmistoa: Nemo Handy ja G-NetTrack Pro. Nemo Handy oli pääasiallinen tiedonkeruulähde. Dronen keräämästä tiedosta käytettiin lähinnä lentokorkeutta kun taas G-NetTrack Pro:n dataa käytettiin osittain tukiasemien sijaintien selvittämiseen.

3.5 Tiedon prosessointi

Nemo Handy:sta saatu mittausdata purettiin tietokoneella olevalla Nemo Outdoor -ohjelmalla CSV-tiedostoiksi (engl. comma separated value). Dronen telemetriatietojen noutamiseen käytettiin Airdata UAV -palvelua, joka mahdollistaa lentodatan tarkastelun verkkosivulla. Myös tämä tieto ladattiin CSV-tiedostoina tiedon prosessointia varten. Vaihtoehtoisesti dronen keräämä yksityiskohtainen telemetriadata tallentuu dronen omalle muistikortille, josta se voidaan hakea DJI Assistant 2 -ohjelman avulla. G-NetTrack Pro -ohjelma tuottaa sekä CSV-, että Google Earth:in käyttämiä KML-tiedostoja (engl. keyhole markup language) tiedon prosessointia ja visualisointia varten.

Kaikki datalähteet tuottavat valtavan määrän dataa projektin kannalta turhista asioista, joten jälkiprosessointia varten tietoja rajattiin vain haluttuihin tietokenttiin. Tällä tavalla Matlab-ohjelmistolla suoritettava tiedon prosessointi ja visualisointi oli nopeampaa.

Mitattavien suureiden lisäksi selvitimme kuinka kaukana oleviin tukiasemiin dronessa oleva matkapuhelin on saanut yhteyden. Vaikka teorian perusteella näköyhteys kaukana sijaitsevaan tukiasemaan mahdollistaisi huomattavasti suuremman signaalin kantaman verrattuna maanpintaan, niin käytännön tulokset ovat arvokkaita vahvistamaan teorian paikkansapitävyys. Mittausohjelmista saatiin teknologiasta riippuen tukiasematunnuksia tai solutunnuksia. Näitä tunnuksia voitiin syöttää cellmapper.net -verkkopalveluun. Cellmapper (Cellmapper 2018) on joukkoistettu tukiasema- ja peittokarttapalvelu. Tukiasemien sijainnit määritellään usean käyttäjän keräämän matkapuhelindatan perusteella. 4G-data on melko luotettavaa, kun taas 3G- ja 2G-datassa on paikottain epätarkkuuksia. Tukiasemien sijaintien paikantamisessa käytettiin lisäksi mastokarttaa (Mastokartta 2018) ja Google Earth:in satelliittikuvia. Epäselvät tapaukset, jossa Cellmapper ei tarjoa luotettavaa tietoa, on jätetty pois tuloksista.

4. MITTAUSTULOKSET

Mittaustuloksissa tärkeimpiä parametrejä ovat tukiasemalta vastaanotetun tehon määrä ja tämän signaalin laatu. Vastaanottoteholla tarkoitetaan näissä tuloksissa hyötysignaali-tehoa eikä matkapuhelimen vastaanottamaa kokonaistehoa. Laadulla tarkoitetaan hyödyllisen signaalin eroa häiriöön ja kohinaan. Kaikilla teknologioilla on eri määritelmät näille parametreille, joten tulokset eivät ole suoraan vertailukelpoisia eri teknologioiden välillä. Tästä huolimatta, signaalin tehoon ja laatuun vaikuttavat seikat (esimerkiksi signaalin vaimeneminen etäisyyden suhteessa) pätevät jokaiselle teknologialle.

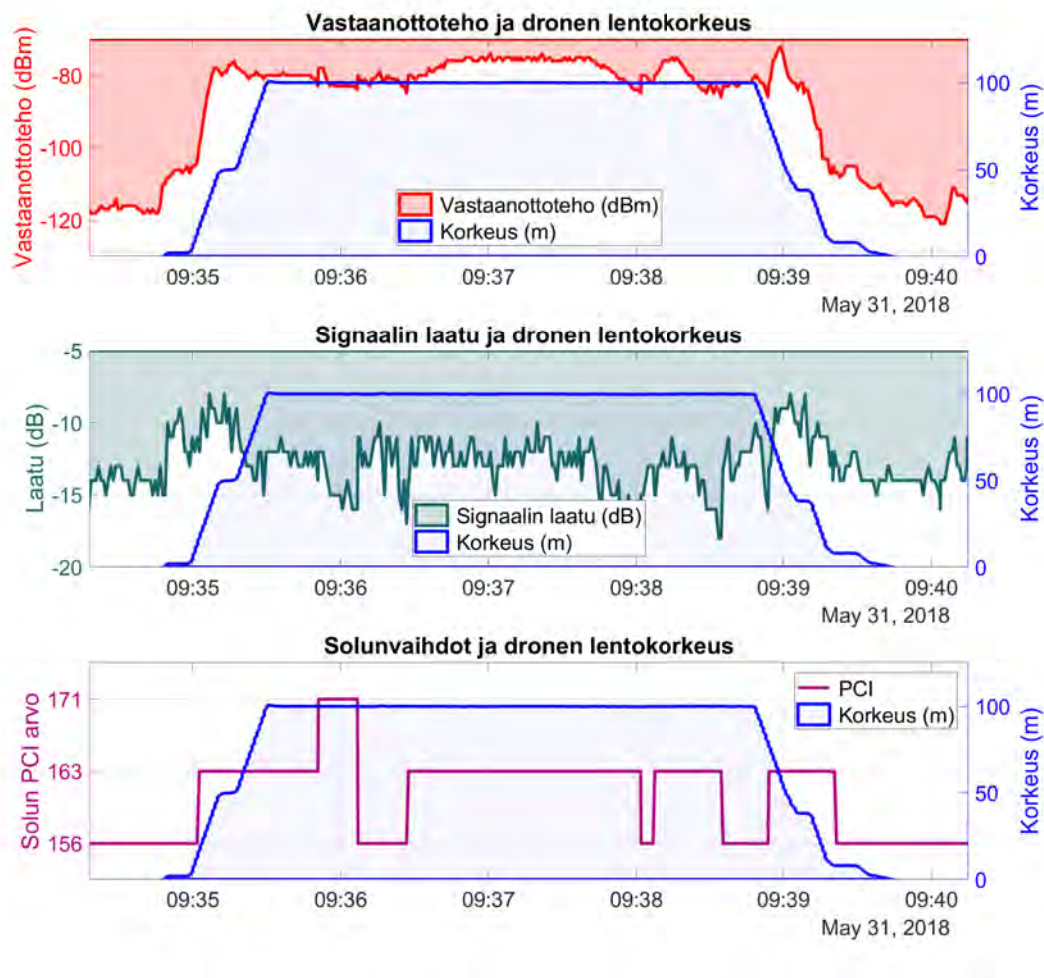
Taulukossa 4.1 on kuvattu mittauskuvissa käytetyt väriselitteet. Jokaisessa kuvassa sininen kuvaa dronen lentokorkeutta, punainen vastaanottotehoa, vihreä signaalin laatua ja violetti solunvaihtoja eli kun matkapuhelin vaihtaa tukiasemasta toiseen. 2G-mittauksissa ei ole mukana laatutuloksia, koska 2G-verkossa laatumittaukset on toteutettu niin, että mittausohjelma ei saa kerättyä niistä tietoa.

Jokaisesta mittauspaikasta on valittu kaksi kuvaa esittämään tuloksia eri korkeuksilla ja teknologioilla. Täydelliset mittauslentojen tulokset löytyvät liitteistä. Tukiasemien etäisyyksistä kertovista kartoista on valittu yksi kuva mittauspaikkaa kohden. Näihin tukiasemiin dronessa oleva matkapuhelin on ollut yhteydessä ainakin hetkellisesti. Muutamassa mittauspaikassa on vertailun vuoksi esitetty mihin tukiasemiin maanpinnalla oleva matkapuhelin on yhteydessä. Tämä vertailu on siinä mielessä epätarkka, koska maanpinnan mittaustulokset ei ole saatu lentoreitin varrelta vaan dronen nousu- ja laskeutumispaikan ympäristöstä. Vaikeakulkuisesta maastosta johtuen, lentoreittejä ei voitu toistaa maanpinnalla autolla tai kävellen. Vertailu on kuitenkin suuntaa-antava, miten dronen lentokorkeus vaikuttaa käytössä oleviin tukiasemiin.

Taulukko 4.1 Mittauskuvien väriselitteet.

väri	mittausarvo
sininen	dronen korkeus maanpinnalta
punainen	hyötysignaali-teho (dBm)
vihreä	signaalin laatu (dB)
violetti	tukiasemien vaihto

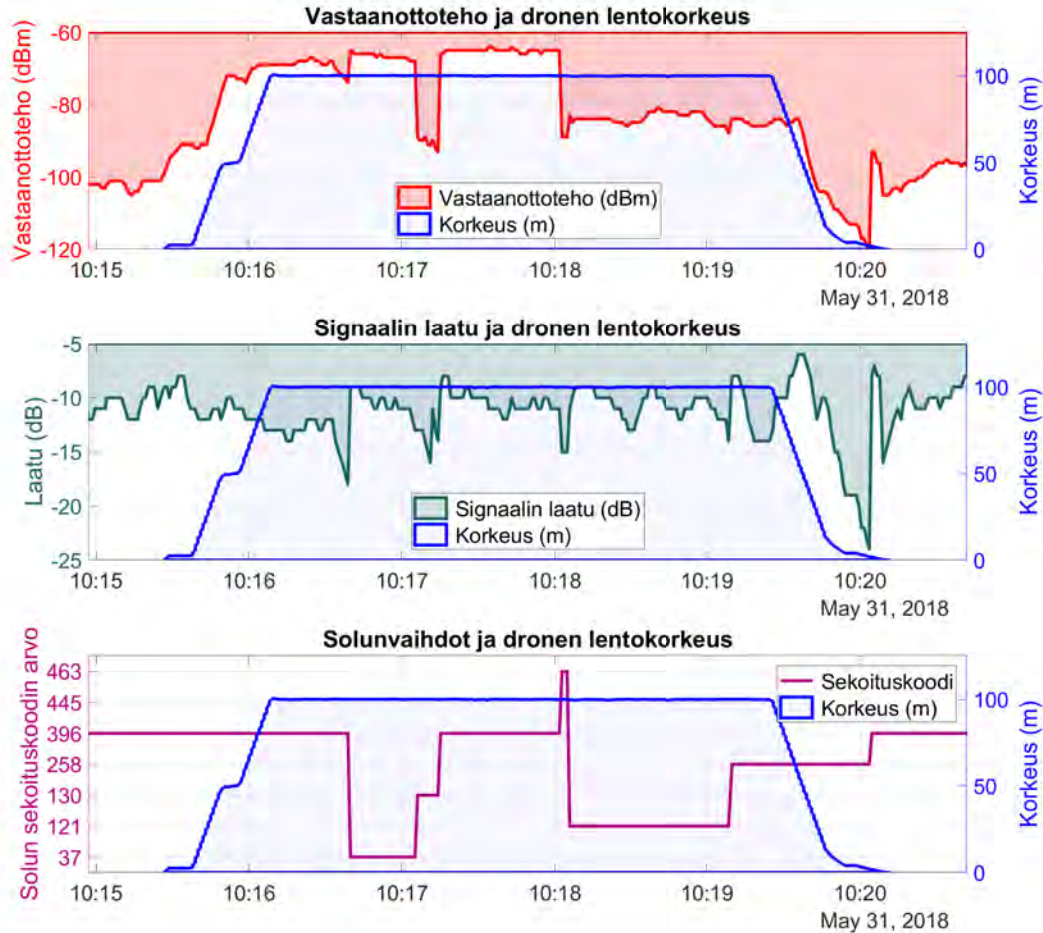
4.1 Pinsiö



Kuva 4.1 Pinsiön 4G 100 m mittaustulokset.

Kuvassa 4.1 on mittaustulokset 4G-verkossa 100 metrin korkeudessa. Ylemmässä kuvassa on vastaanottoteho verrattuna dronen lentokorkeuteen. Maanpinnalla vastaanottoteho on noin -120 dBm, kun taas 100 metrin korkeudessa vastaanottoteho on noin -80 dBm. Tämä 40 desibelin ero tarkoittaa 10000-kertaista tehoeroa lineaarisella

asteikolla. Signaalin laatu on paras noin 50 metrin kohdalla. Maanpinnan ja 100 metrin välillä ei ole suurta eroa signaalin laadussa. Solunvaihtoja tapahtuu kolmen eri tukiaseman välillä.

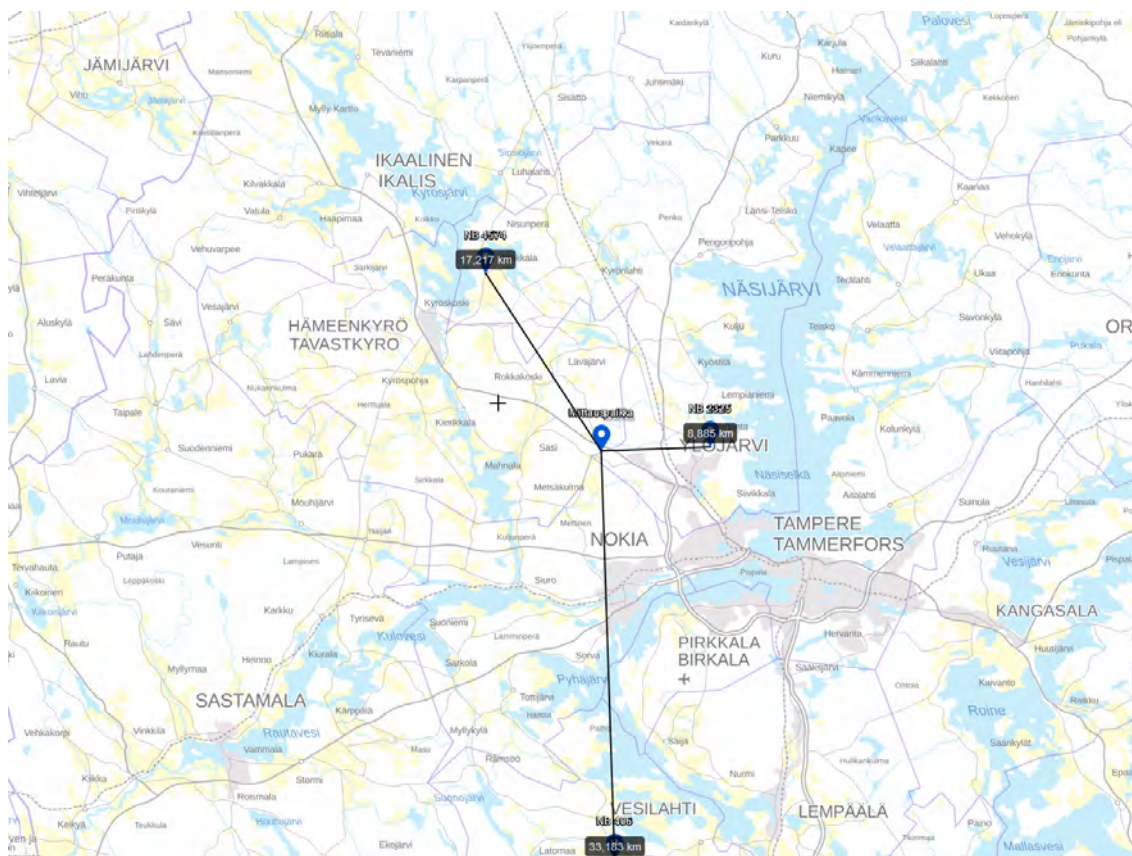


Kuva 4.2 Pinsiön 3G 100 m mittaustulokset.

Kuvassa 4.2 on mittaustulokset 3G-verkossa 100 metrin korkeudessa. Vastaanottotehon ero maanpinnan ja lentokorkeuden välillä on tässä mittauksessa noin 20 dB, eli 100-kertainen ero absoluuttisella asteikolla. Verrattaessa vastaanottotehon käyttäytymistä suhteessa yhteydessä olevaan tukiasemaan huomataan, että signaalitaso voi nousta tai laskea jyrkästi riippuen mihin tukiasemaan matkapuhelin on yhteydessä. Riippuen teknologiasta ja verkon parametreista nämä solunvaihdot tehdään pääosin vastaanottotehon perusteella. Joissakin tapauksissa myös signaalin laatu vaikuttaa solunvaihtoihin. Myös tässä mittauksessa laatu pysyy melko vakiona korkeuden kasvaessa.

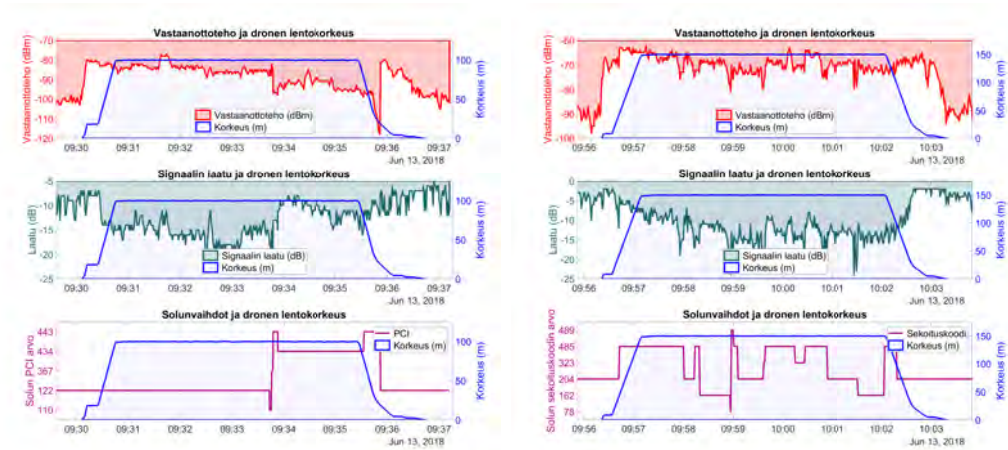
4.1.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla

Kuvassa 4.3 on Pinsiön 3G-verkon tukiasemat, joihin matkapuhelin on ollut yhteydessä lentokorkeuksilla. Tukiasemien maston korkeus, antennisuuntaus (sekä vaaka, että pystytasossa) ja maaston muodot vaikuttavat mihin tukiasemiin matkapuhelin saa yhteyden. Tässä mittauksessa kauimpana oleva tukiasema on noin 33 kilometrin päässä mittauspaikasta.



Kuva 4.3 Pinsiön 3G-tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla.

4.2 Valkeakoski



(a) 4G 100 m.

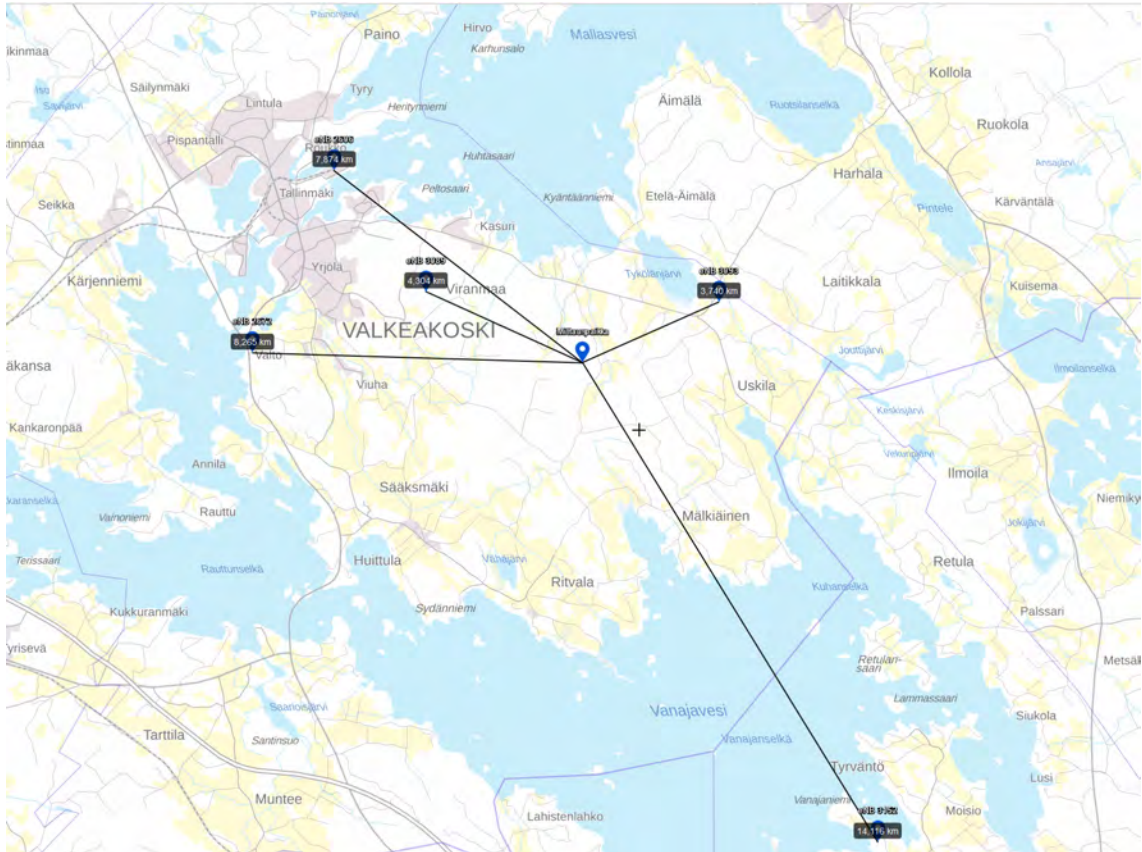
(b) 3G 150 m.

Kuva 4.4 Valkeakosken mittaustulokset.

Kuvassa 4.4a vastaanottoteho nousee 10–20 dB ja signaalin laatu heikkenee korkeuden noustessa sataan metriin. Kuvassa 4.4b vastaanottoteho pysyy noin 20 desibeliä parempana maanpintaan verrattuna lukuisista solunvaihdosta huolimatta. Kuvista näkyy myös, kuinka solunvaihdolla on äkillinen vaikutus signaalin tehoon ja laatuun.

4.2.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla

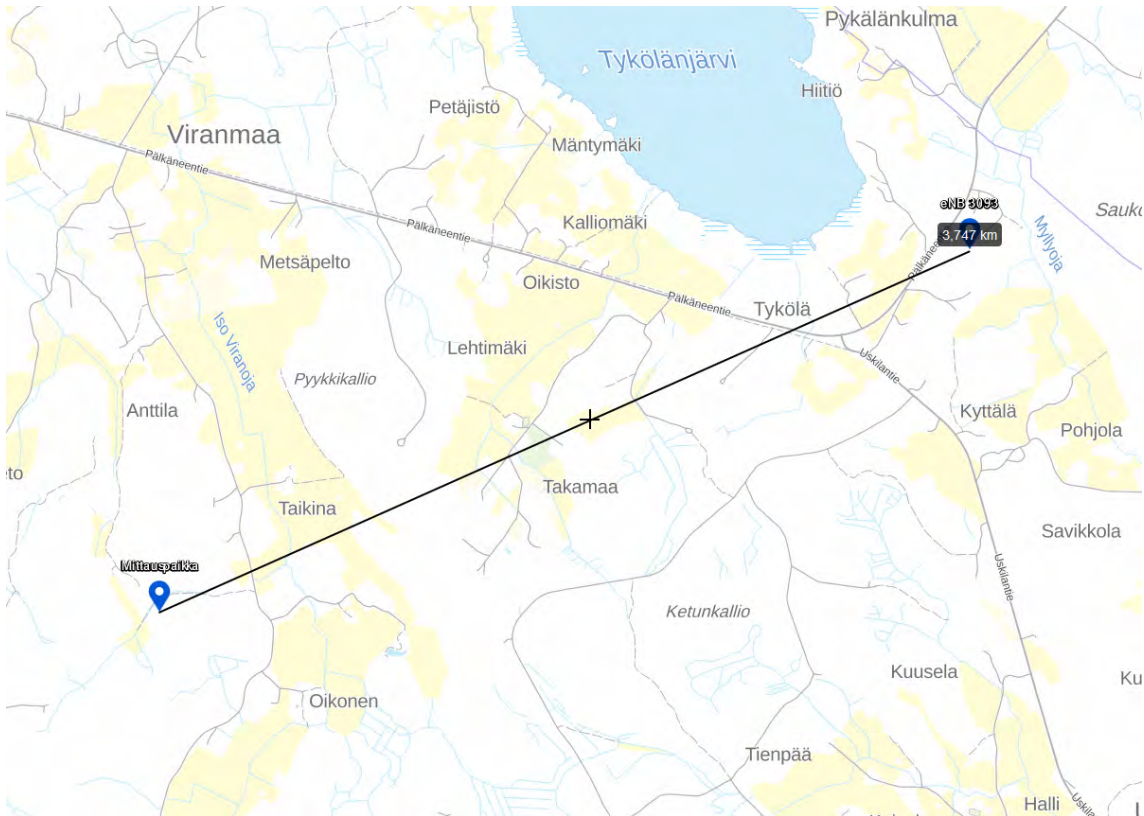
Kuvassa 4.5 on Valkeakosken 4G-verkon tukiasemat, joihin matkapuhelin on ollut yhteydessä. Tässä mittauksessa kauimpana oleva tukiasema on noin 14 kilometrin päässä mittauspaiasta.



Kuva 4.5 Valkeakosken 4G-tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla.

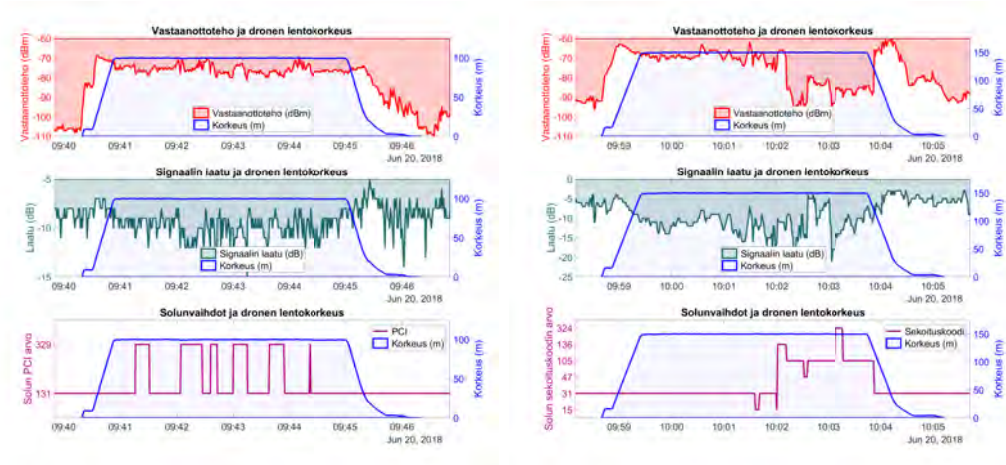
4.2.2 Tukiasemaetäisyydet maanpinnalla

Kuvassa 4.6 on Pinsiön 3G-verkon tukiasemat, joihin matkapuhelin on ollut yhteydessä maanpinnalla. Koska lähellä sijaitsevan tukiaseman signaali on niin voimakas, matkapuhelin on yhteydessä vain yhteen tukiasemaan (matkapuhelinverkon parametreista riippuen puhelin havaitsee vain tietyn tehotason päässä palvelevasta solusta olevia soluja johon matkapuhelin ei voi vaikuttaa itse).



Kuva 4.6 Valkeakosken 4G-tukiasemaetäisyydet maanpinnalla.

4.3 Orivesi



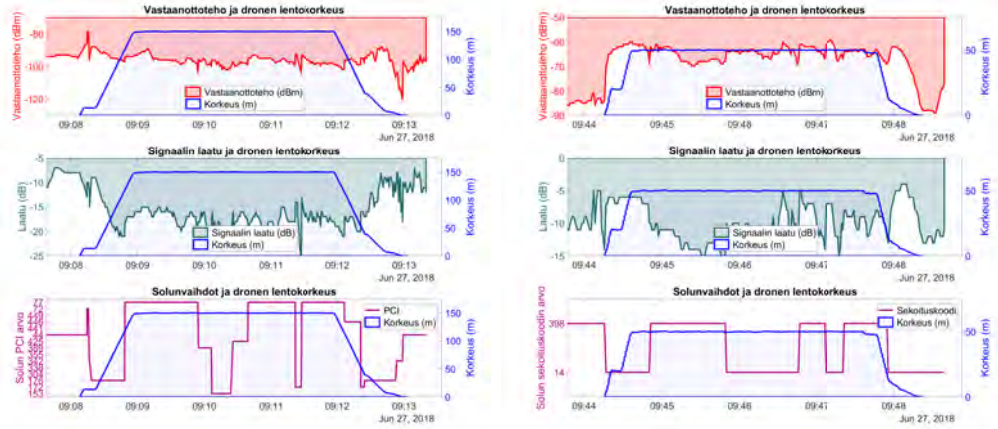
(a) 4G 100 m.

(b) 3G 150 m.

Kuva 4.7 Oriveden mittaustulokset.

Kuvassa 4.7a vastaanottoteho nousee ja signaalin laatu laskee dronen korkeuden kasvaessa. Kuvassa 4.7b näkyy vastaanottotehon huomattava heikkeneminen tukiaseman vaihtuessa. Tämä voi johtua siitä, että drone on lentänyt pois aluetta pääasiassa palvelevan tukiaseman antennin keilasta, eikä parempaa solua ole ollut enää tarjolla.

4.4 Nokia



(a) 4G 150 m.

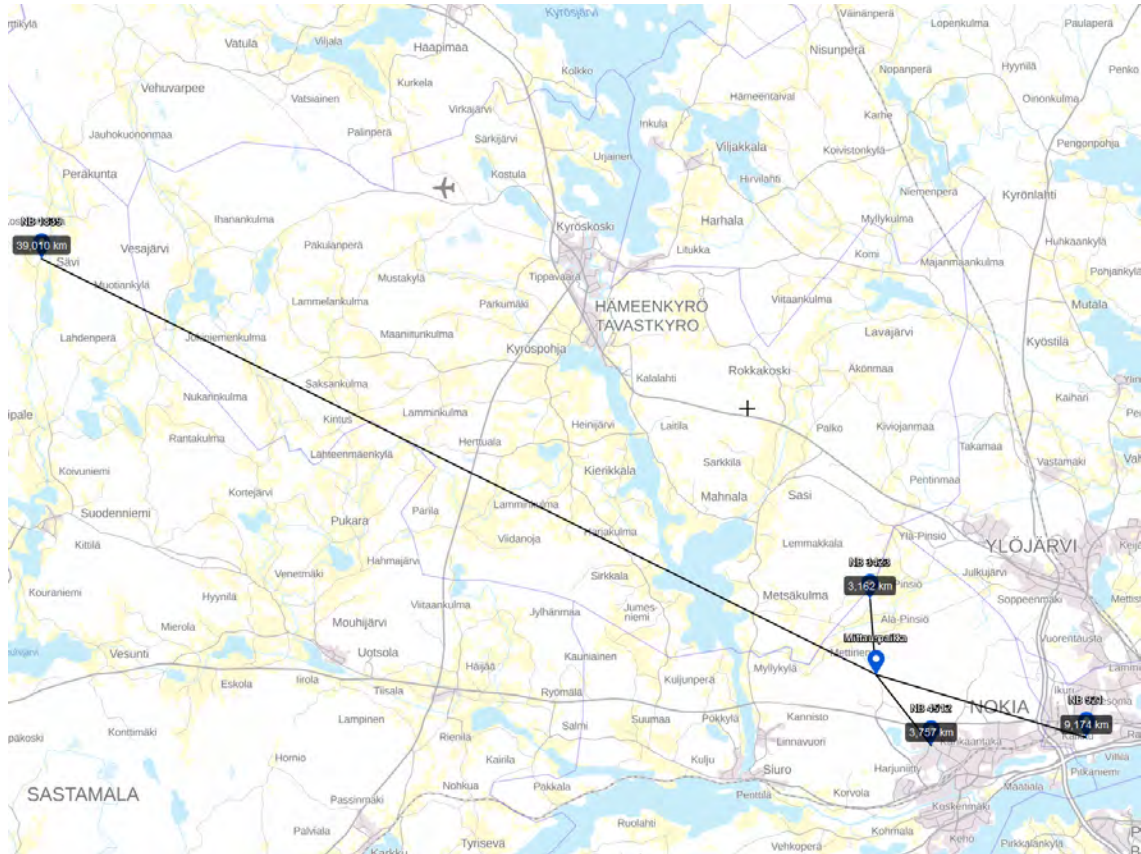
(b) 3G 50 m.

Kuva 4.9 Nokian mittaustulokset.

Nokian 4G-mittaustulokset poikkesivat aikaisemmista tuloksista. Kuvassa 4.9a näkyy, miten vastaanottoteho pysyy samana tai jopa heikkenee maanpinnan yläpuolella. Myös signaalin laatu heikkenee huomattavasti. Kuvassa 4.9b näkyvä 3G-mittaus 50 metrissä on taas samankaltainen aikaisempien tuloksien kanssa. Tämä kertoo siitä, että eri teknologioiden tukiasemien sijainnissa, antennien suuntauksissa (sekä horisontaalinen, että vertikaalinen suuntaus) voi olla huomattavia eroja. Vaikka yhdellä teknologialla saisi todella hyvän vastaanottotehon, se ei tarkoita, että se pätyisi muihinkin teknologioihin samassa sijainnissa.

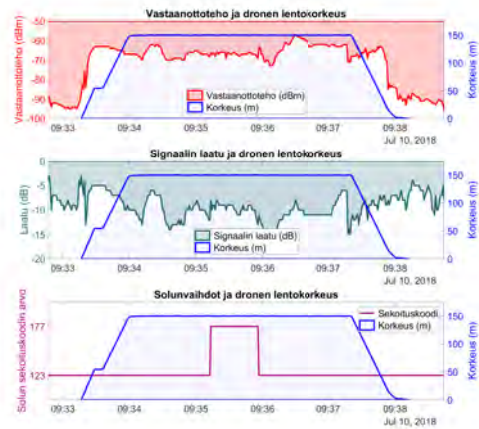
4.4.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla

Kuvassa 4.10 on Nokian 3G-verkon tukiasemat, joihin matkapuhelin on ollut yhteydessä. Tässä mittauksessa kauimpana oleva tukiasema on noin 39 kilometrin päässä mittauspaiasta.



Kuva 4.10 Nokian 3G-tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla.

4.5 Savonkylä



(a) 3G 150 m.



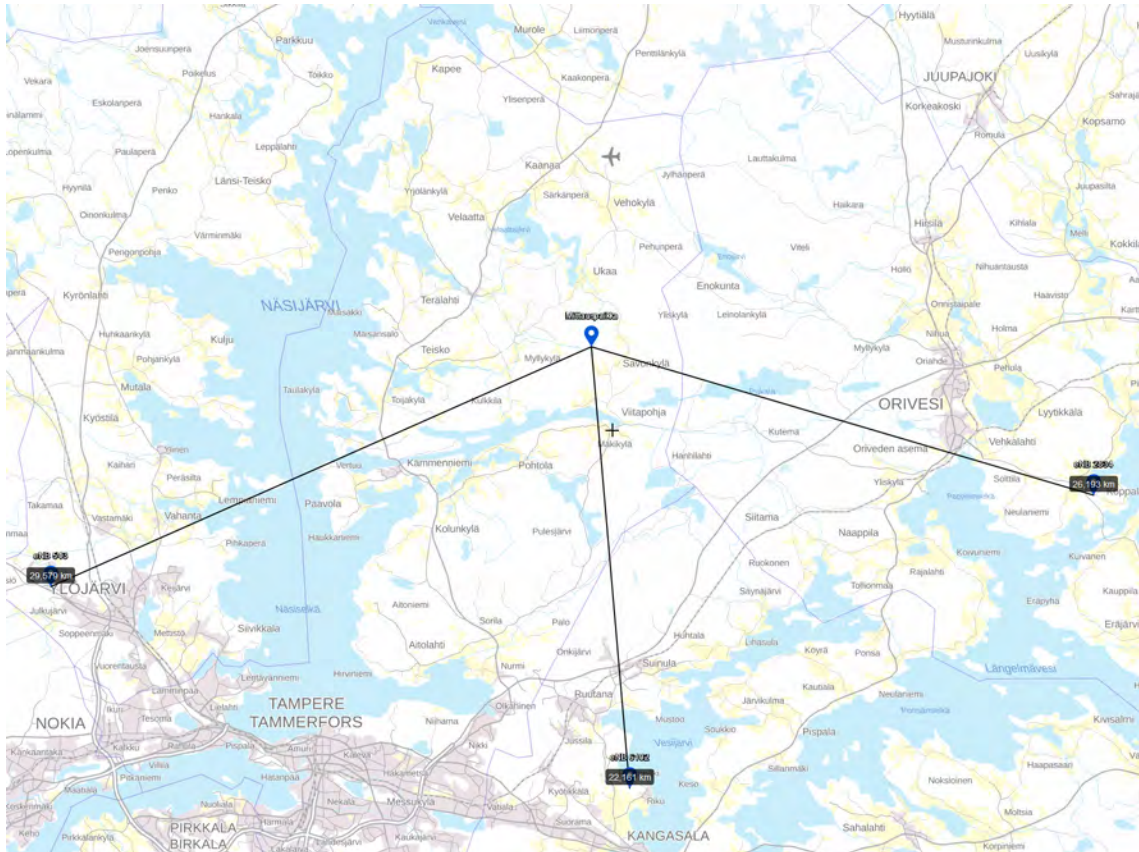
(b) 2G 150 m.

Kuva 4.11 Savonkylän mittaustulokset.

Sekä Savonkylän 3G-mittauksia esittävä kuva 4.11a, että 2G-mittauksia esittävä kuva 4.11b ovat linjassa aikaisempien tulosten kanssa. Huomionarvoista on, kuinka tukiasema vaihtuu lentoreitin samassa kohdassa sekä 3G-, että 4G-mittauksissa. Tämä kertoo siitä, että näiden teknologioiden kohdalla antennien suuntaukset ovat luultavasti melko samanlaiset.

4.5.1 Tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla

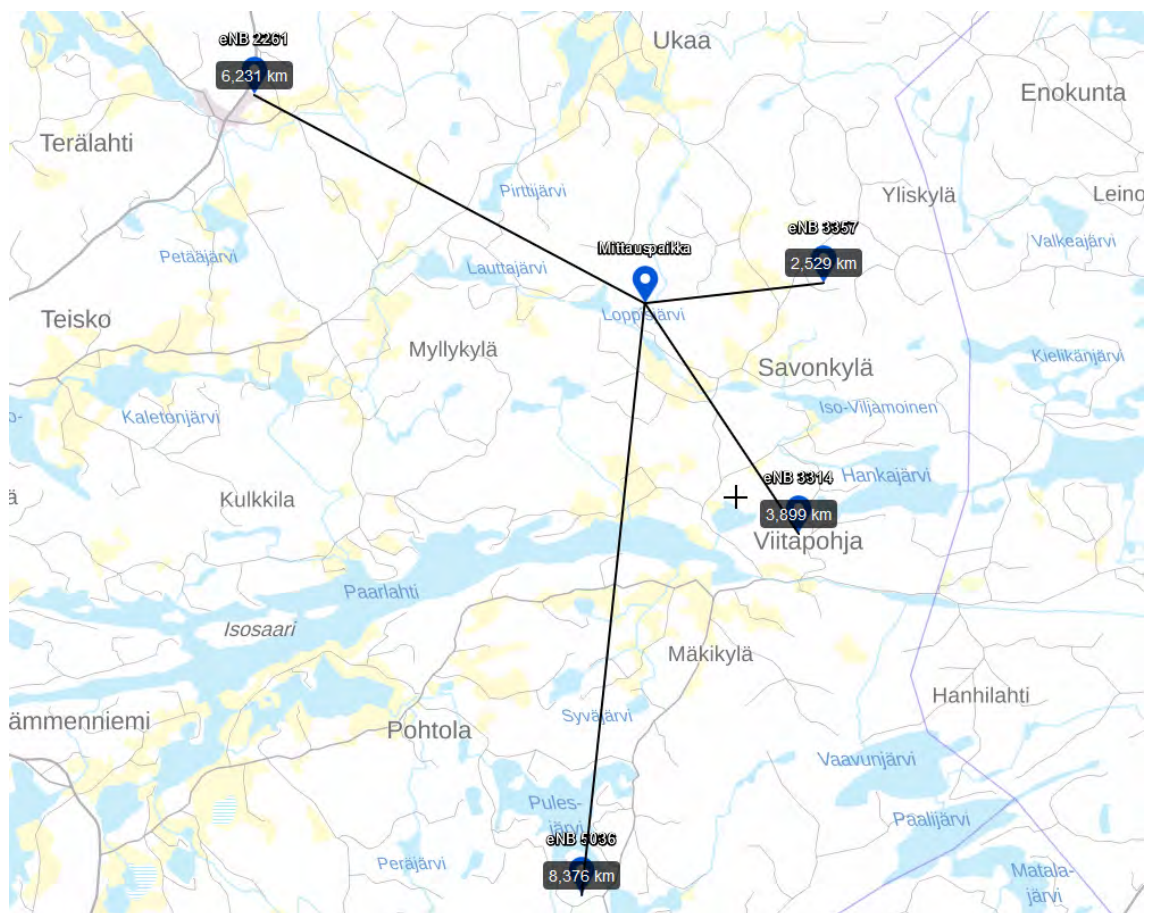
Kuvassa 4.12 on Savonkylän 4G-verkon tukiasemat, joihin matkapuhelin on ollut yhteydessä. Tässä kuvassa on merkitty vain kauimpana sijaitsevat tukiasemat, jotka ovat 22–30 km päässä mittauspäikasta.



Kuva 4.12 Savonkylän 4G-tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla.

4.5.2 Tukiasemaetäisyydet maanpinnalla

Kuvassa 4.13 on Savonkylän 4G-verkon tukiasemat, joihin matkapuhelin on ollut yhteydessä maanpinnalla. Suurin etäisyys on noin 8 km, kun taas lentokorkeuksilla päästiin 30 km etäisyyteen. Dronen avulla maksimikantama lisääntyi yli 20 kilometrillä. Näitä tuloksia analysoidessa pitää muistaa, että nämä tulokset on saatu normaaliolosuhteissa ja riippuvat muistakin tekijöistä kuin matkapuhelimen korkeudesta. Kuitenkin 20 kilometrin hyöty kantamassa on linjassa sen seikan kanssa, että puuntasojen yläpuolella voidaan saavuttaa 100-1000-kertainen signaalin voimakkuus suhteessa maanpintaan.



Kuva 4.13 Savonkylän 4G-tukiasemaetäisyydet lentokorkeuksilla.

4.6 Tulosten analysointi

Mittaustuloksia on vertailtu kahdella mittarilla, joilla on suurin vaikutus projektin käyttötarkoitusta varten: vastaanottotehon kasvaminen ja näkyvien naapuritukiase-
mien lisääntyminen verrattuna maanpintaan.

4.6.1 Vastaanottotehon vertailu

Vastaanottotehon vertailu maanpinnan ja lentokorkeuksien välillä on merkittävää, koska tehoeroilla on vaikutus signaalin kantamaan. Maanpinnalla vain muutaman kilometrin yhteys tukiasemaan voi ilmassa kasvaa jopa kymmeniin kilometreihin suuremmalla vastaanottoteholla. Taulukossa 4.2 on vertailtu vastaanottotehoja jokaisessa mittauspaikassa. Ero ilmoitetaan desibeleinä. Lukuunottamatta Nokian 4G-tuloksia, ilmassa on yleensä noin 20–30 dB parempi tehotaso verrattuna maanpintaan, joka vastaa 100-1000-kertaista eroa lineaarisella tehoasteikolla.

Taulukko 4.2 Vastaanottotehon vertailu maanpinnalla ja ilmassa (dB).

Sijainti	4G	3G	2G
Pinsiö	36.08	30.69	35.46
Valkeakoski	18.22	17.61	14.89
Orivesi	28.50	25.78	26.69
Nokia	-1.81	14.62	16.96
Savonkylä	19.89	28.18	29.99

4.6.2 Tukiasemaetäisyyksien vertailu

Taulukossa 4.3 on esitetty kauimpana sijaitsevan tukiaseman etäisyys, johon drones-
sa oleva matkapuhelin oli yhteydessä. Nämä etäisyydet ovat lähinnä suuntaa-antavia, sillä ne on saavutettu normaaliolosuhteissa, joissa kaikki lähimmät tukiasemat ovat toiminnassa. Lähellä sijaitsevien tukiasemien lähettämä teho on niin voimakas, että matkapuhelimella ei ole syytä vaihtaa kaukana sijaitsevien tukiasemien heikotasoisempaan signaaliin. Näistä mittaustuloksista voidaan päätellä, että dronen nostaminen puun latvojen yläpuolelle on toimiva ratkaisu, koska drone on ollut yhteydessä yli 20 kilometrin pässä oleviin tukiasemiin. Tämän suuruisiin etäisyyksiin on maanpinnalla olevalla matkapuhelimella erittäin vaikea päästä.

Taulukko 4.3 *Kaiumpana sijaitsevien tukiasemien vertailu (km).*

Sijainti	4G	3G	2G
Pinsiö	8.2	33.2	2.8
Valkeakoski	14.1	3.7	4.3
Orivesi	4.2	11.6	22.9
Nokia	11.2	39.0	7.7
Savonkylä	29.6	6.2	12.3

4.6.3 Havaittujen naapuritukiasemien vertailu

Naapuritukiasemalla tarkoitetaan tukiasemaa, jonka dronessa kiinni oleva matkapuhelin havaitsee, mutta ei ole yhteydessä. Havaitsemisella tarkoitetaan sitä, että matkapuhelin vastaanottaa tarpeeksi voimakkaan signaalin kyseiseltä tukiasemalta, joka on tietyn, verkosta riippuvan parametrin, päässä palvelevan tukiaseman vastaanotettua tehotasoa. Taulukossa 4.4 on kuvattu 4G-naapuritukiasemien määrä eri korkeuksilla. Muiden teknologioiden (3G ja 2G) kohdalla mittausohjelma ei tallenna naapuritukiasemia samalla tavalla, joten niitä ei ole listattu tässä yhteydessä.

Poislukien Pinsiön tulokset, havaittujen naapuritukiasemien määrä kasvaa korkeuden noustessa. Tämä johtuu todennäköisesti aikaisemmin mainitusta antennien suuntauksista. Savonkylässä ero on suurin maanpinnan ja lentokorkeuksien välillä. Taulukosta voidaan lisäksi huomata, että eri lentokorkeuksien välillä ei ole suurta eroa.

Nämä mittaustulokset on saatu normaaliolosuhteissa, jossa lähellä sijaitsevat tukiasemat ovat toiminnassa ja joiden signaalivoimakkuus on keskimääräisesti korkeampi kuin kauempana sijaitsevien tukiasemien. Häiriötilanteessa, jossa nämä lähimmät tukiasemat saattavat olla pois käytöstä, drone havaitsisi enemmän kauempana sijaitsevia tukiasemina, koska lähitukiasemien voimakas lähetyssignaali ei vaikuttaisi häiritsevästi muihin signaaleihin.

Taulukko 4.4 *Havaittujen 4G-naapuritukiasemien määrä.*

Sijainti	Maanpinta	50 m	100 m	150 m
Pinsiö	5	3	3	3
Valkeakoski	1	3	5	5
Orivesi	2	3	3	3
Nokia	5	7	7	7
Savonkylä	3	11	10	9

5. YHTEENVETO

DENCO-projektissa selvitettiin kuinka matkapuhelinverkko kuuluu eri korkeuksilla maanpintaan nähden. Tuloksien perusteella voidaan sanoa, että ilmassa matkapuhelinverkkojen signaalinvoimakkuus on 20–30 dB voimakkaampi, kuin maanpinnalla oleva signaalinvoimakkuus. Lineaarisella asteikolla ilmaistuna tämä tarkoittaa 100–1000-kertaista signaalinvoimakkuutta. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että matkapuhelinverkon signaali kuuluu paljon kauemmaksi korkeammalla ilmassa kuin maanpinnalla. Tulos oli odotettavissa, sillä maanpintaan nähden verrattuna ilmassa ei käytännössä ole ollenkaan esteitä lähettimen ja vastaanottimen välissä. Lisäksi mittauksissa testattiin onnistuneesti maassa olevan käyttäjän langatonta bluetooth kuuloketta, joka oli yhdistetty dronessa olevan matkapuhelimeen. Testien perusteella 50–100 metrin etäisyydellä olevaan puhelimeen sai vielä hyvin muodostettua puheyhteyden, kunhan välissä ei ole esimerkiksi puiden oksia.

Projektin tulosten perusteella voidaan todeta, että dronen käyttäminen matkapuhelinyhteyden toteuttamiseen poikkeusolosuhteissa olisi mahdollista. Tällöin korjaustiimien ei täytyisi lähteä ajamaan pitkiä matkoja peittoalueiden löytämiseksi ja dronea voitaisiin käyttää myös muihin toimenpiteisiin korjauspaikoissa. Tällöin voidaan säästää aikaa ja rahaa sähköverkkojen suurhäiriöiden korjaustoimenpiteissä.

LÄHTEET

- Aamulehti. Tiesitkö tätä? Dronen lennättäminen on Tampereen seudulla poikkeuksellisen rajoitettua – Näin haet lennonjohdolta luvan. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): <https://www.aamulehti.fi/uutiset/tiesitko-tata-dronen-lennattaminen-on-tampereen-seudulla-poikkeuksellisen-rajoitettua-nain-haet-lennonjohdolta-luvan-200346041/>
- Cellmapper. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): <https://www.cellmapper.net/>
- Energiateollisuus ry. Yleistietoa häiriöistä. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): https://energia.fi/perustietoa_energia-alasta/energiaverkot/sahkokatkot
- Energiavirasto. Sähköverkon haltijat. Saatavissa (viitattu 13.9.2018): <https://www.energiavirasto.fi/sahkoverkon-haltijat>
- Fingrid. Suomen sähkövoimajärjestelmä. Saatavissa (viitattu 13.9.2018): <https://www.fingrid.fi/kantaverkko/suomen-sahkojarjestelma/>
- Haapanen, J. 2015. Tilannekuvan hyödyntäminen sähkö- ja tietoliikenneverkon häiriöissä. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Lakervi, E. & Partanen, J. 2008. Sähkönjakeluteknikka. Otatieto
- Leino, V. Infratek Oy Finland, työnjohtaja. Haastattelu 24.5.2018.
- Mastokartta. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): <https://mastot.jles.me/>
- Pylkkänen, K. 2014. Tilannekuvan hallinta sähkönjakeluverkon häiriötilanteissa. Diplomityö. Tampereen teknillinen yliopisto.
- Riikonen, M. Elite Group, projektipäällikkö. Haastattelu 21.5.2018.
- Rytty, L. Infratek Oy Finland, verkostoasentaja. Haastattelu 21.5.2018.
- Säe, J. 2017, Aspects of Critical Communications in Disturbance Scenarios. Tampere University of Technology. Publication, vol. 1467, Tampere University of Technology.
- Sähkömarkkinalaki, L 9.8.2013/588, 2013. Saatavissa (viitattu 13.9.2018): <https://www.finlex.fi/fi/laki/alkup/2013/20130588>
- Trafi. Usein kysyttyä. Saatavissa (viitattu 13.9.2018): https://www.trafi.fi/tietopalvelut/usein_kysyttya/ilmailu_-_miehittamattomat_ilma-alukset_ja_lennokit

Turvallisuuskomitea. 2015. Sähköriippuvuus modernissa yhteiskunnassa.

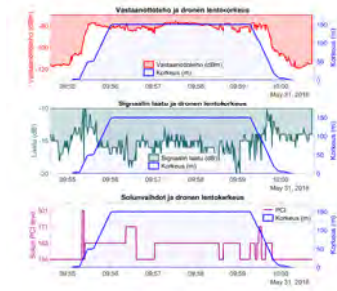
Viestintävirasto. Määräys viestintäverkkojen ja -palvelujen varmistamisesta sekä viestintäverkkojen synkronoinnista. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): <https://www.viestintavirasto.fi/attachments/maaraykset/Viestintavirasto54B2014M.pdf>

Viestintävirasto. Matkaviestinoperaattorit ja matkaviestinverkot. Saatavissa (viitattu 12.9.2018): <https://www.viestintavirasto.fi/ohjausjavalvonta/laitmaarayksetpaatokset/lupapaatokset/radiolupapaatokset.html>

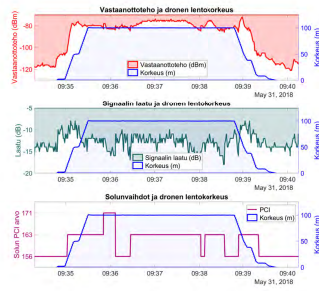
LIITTEET

Mittaustulokset

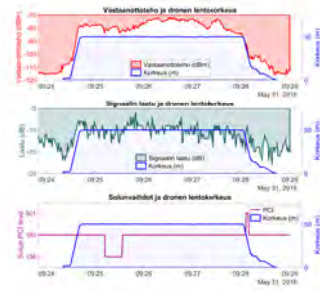
Pinsiö



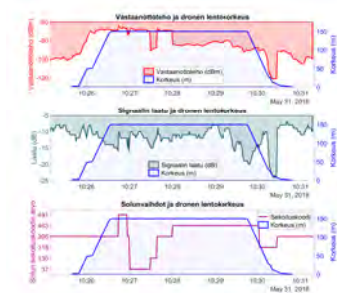
(a) 4G 150 m.



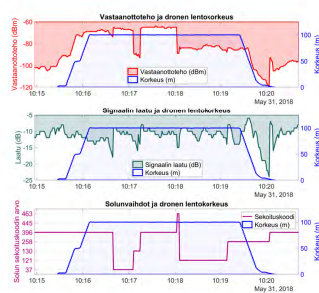
(b) 4G 100 m.



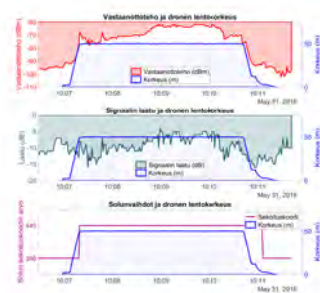
(c) 4G 50 m.



(d) 3G 150 m.



(e) 3G 100 m.



(f) 3G 50 m.



(g) 2G 150 m.



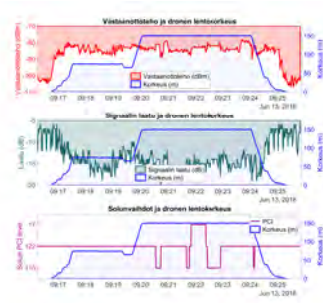
(h) 2G 100 m.



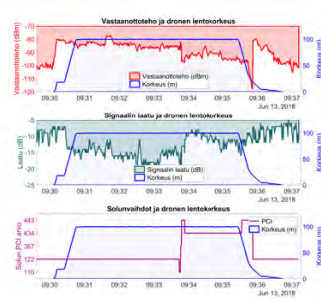
(i) 2G 50 m.

Pinsiön mittaustulokset.

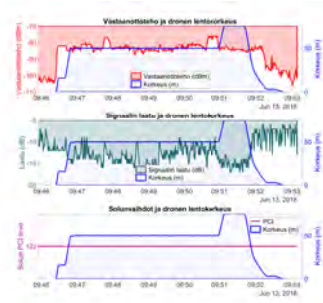
Valkeakoski



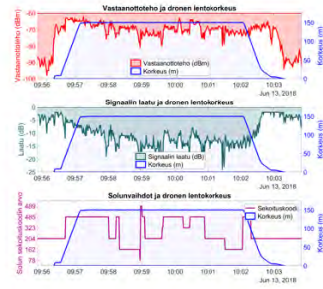
(a) 4G 150 m.



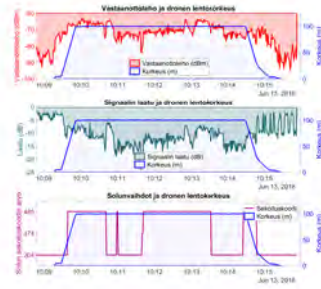
(b) 4G 100 m.



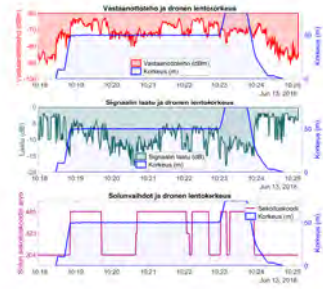
(c) 4G 50 m.



(d) 3G 150 m.



(e) 3G 100 m.



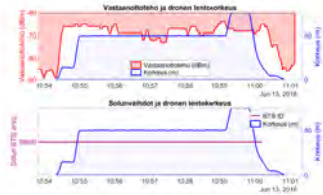
(f) 3G 50 m.



(g) 2G 150 m.



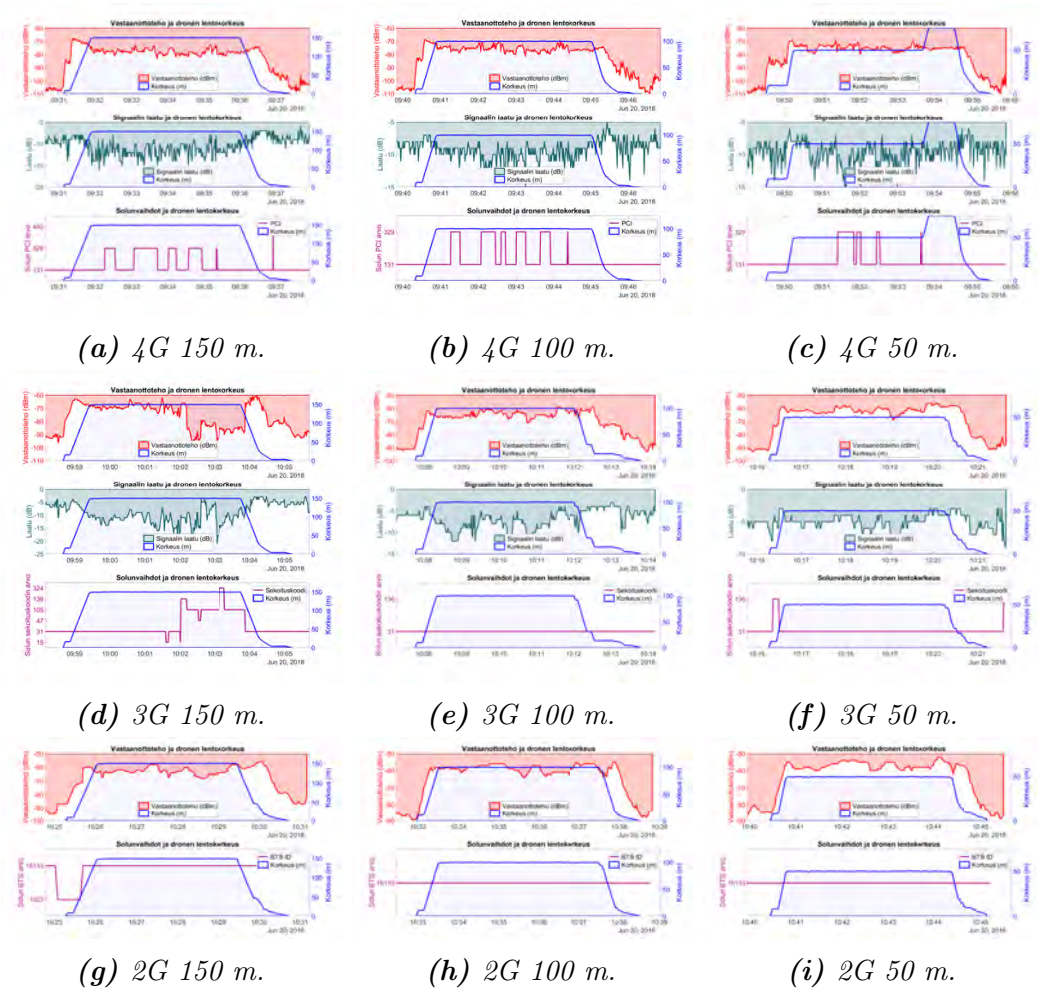
(h) 2G 100 m.



(i) 2G 50 m.

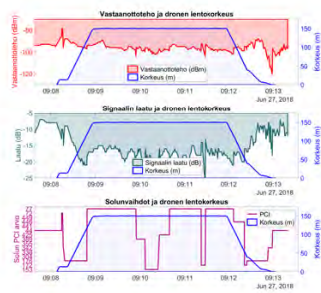
Valkeakosken mittaustulokset.

Orivesi

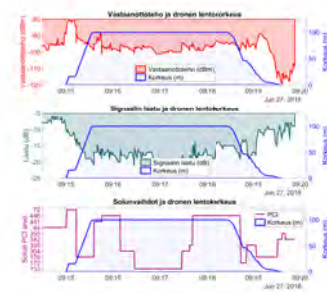


Oriveden mittaukset.

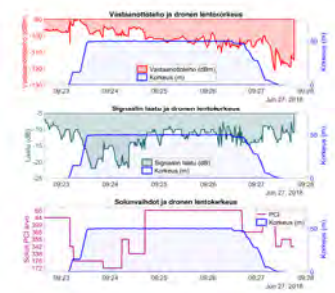
Nokia



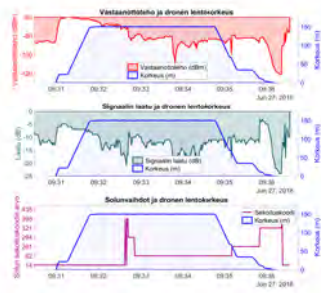
(a) 4G 150 m.



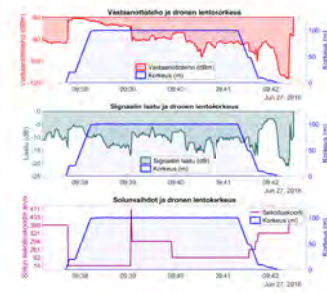
(b) 4G 100 m.



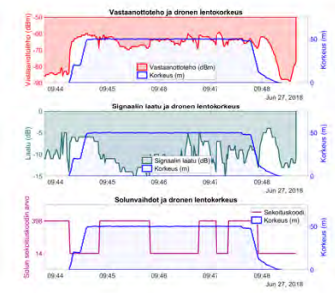
(c) 4G 50 m.



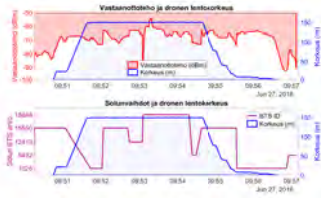
(d) 3G 150 m.



(e) 3G 100 m.



(f) 3G 50 m.



(g) 2G 150 m.



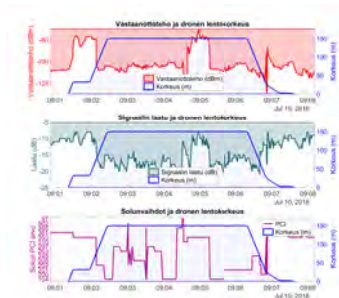
(h) 2G 100 m.



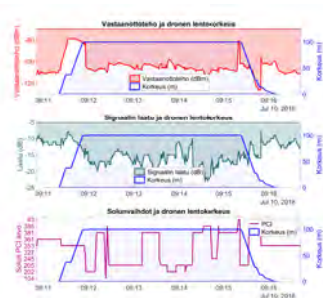
(i) 2G 50 m.

Nokian mittaustulokset.

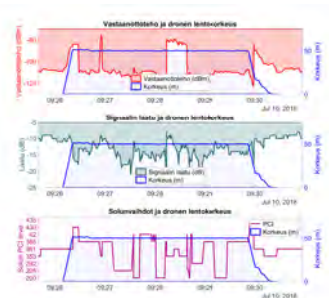
Savonkylä



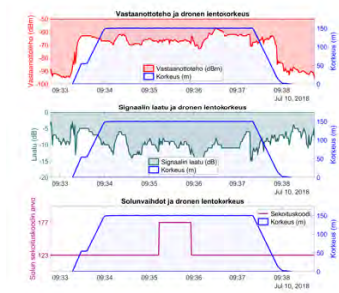
(a) 4G 150 m.



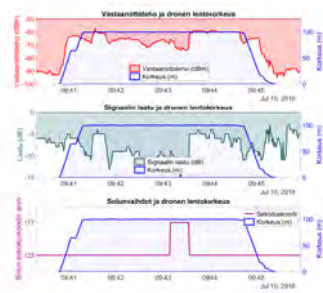
(b) 4G 100 m.



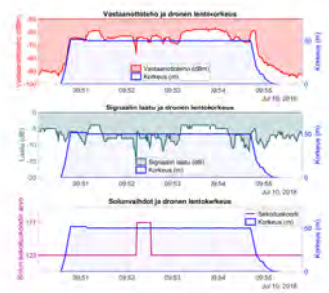
(c) 4G 50 m.



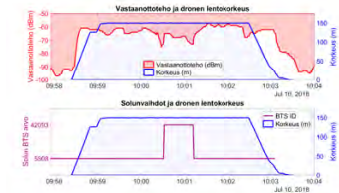
(d) 3G 150 m.



(e) 3G 100 m.



(f) 3G 50 m.



(g) 2G 150 m.



(h) 2G 100 m.



(i) 2G 50 m.

Savonkylän mittaustulokset.

Haastatteluiden transkriptiot

Puhelinhaastattelu, Lasse Rytky, 21.05.2018 klo 15.10

1. Voisitko kertoa nimesi, tittelisi ja yhtiösi nimen?

Lasse Rytky, verkostoasentaja, Infratek Finland.

2. Miten tällä hetkellä hyödynnätte droneja sähköverkon tarkastus- tai korjaustöissä?

Korjaustöissä päiväsaikaan metsäpätkillä VLOS lentona.

3. Sähkölinjan päälle on kaatunut puu. Voitko kertoa, miten korjausprosessi lähtee etenemään?

Kun poikkeama löydetään dronella, lennetään lähemmäksi ja otetaan muutama kuva. Samalla tutkitaan dronen avulla parasta reittiä, minkä kautta pääsisi korjauspaikalle. Koestukset ja maadoitukset, drone nopeuttaa huomattavasti toimintaa.

4. Mihin dronen ottamia valokuvia käytetään?

Valokuvat ovat (muistikortilla) työryhmän käytössä ja lähetään eteenpäin vasta myöhemmin Elenialle tai työnjohtajalle. Ei käytetä vahingon arvioimiseen tai korjausten priorisointiin, pelkästään työparin sisällä.

5. Kuinka monta henkilöä työskentelee yksittäisellä korjauspaikalla?

Vähintään pareittain.

6. Kuinka kauan aikaa menee yhdessä kohteessa keskimäärin dronen käyttöön?

Valmistelu 10 min, muutaman minuutin lento.

7. Onko akunkesto ongelmana?

Ei ole ollut toistaiseksi mitään ongelmaa.

8. Mikä drone malli käytössä?

Yuneec Python H.

9. Tarvitaanko korjaajilta jatkuva puheyhteys valvomoon?

Aina kun käsitellään erottimia tai laitetaan sähkö päälle, tarvitaan yhteys.

10. Onko tullut eteen tilanteita, jossa korjaajien on matkustettava löytääkseen matkapuhelinsignaali?

On tapahtunut suurhäiriötilanteissa. On tullut eteen tilanne, jossa on jouduttu autolla etsimään signaalia.

11. Ovatko korjaajat saaneet koulutusta dronen käyttöön?

Ei mitään koulutuksia. Harrastepohjalla toimitaan.

12. Onko koulutusta suunnitteilla?

Ei ole suunnitteilla.

13. Elenia mainitsi jonkun kannustimen, jos korjaajat ottavat dronella valokuvan. Miten se on toiminut?

Ei ole sovittu, mutta asiasta on ollut juttua.

14. Onko korjaajilla ennakkoluuloja droneja kohtaan?

Neutraali kanta, katsovat miten lähtee kehittymään.

15. Onko määräyksiä tai toimintaohjeita, missä olosuhteissa dronea ei käytetä?

VLOS rajoittaa, päivänvalossa, laitteesta riippuen tuuli rajoittaa (alle 5km/h), kieltoalueet rajoittavat.

16. Miten akkujen lataukseen on varauduttu?

Ajoneuvossa on inverterit, joista saadaan normaali 230V, jonka avulla akkuja voidaan ladata.

17. Turvaväli dronen ja sähkölinjan välillä? 10m vai vähemmän?

Ei ole ohjeistusta. Pääosin lennetään myös vähän sivussa linjasta (varsinkin muuntajien kohdalla) Myös parempi näkyvyys sivussa.

18. Lisäohjeita turvallisuus määräyksistä?

Trafin ohjeiden mukaan, verkkoyhtiöltä ei mitään ohjeistuksia.

19. Näetkö mahdolliseksi että droneja voitaisiin käyttää esim. ohuiden oksien katkaisussa?

Ei ainakaan nykykalustolla.

20. Onko testattu automatisoituja lentoja?

Kaikki lennot tähän mennessä on manuaalisia lentoja, lukuun ottamatta automaattinen kotiinpaluu.

21. Onko dronelle muita käyttötarkoituksia korjaustilanteessa?

Tukiaseman käyttö dronessa. Jokien ylityskaapeleiden vetämisessä droneja voidaan käyttää vetämään kiinnitysnujuja. Tällöin ei tarvitse käyttää venettä. Käytössä ainakin Keski-Suomessa.

22. Mikä on suurin este dronejen käyttöönotossa korjaustöissä?

Ilmatilan varaukset. BVLOS-lennot.

23. Miten itse näet dronejen käytön hyödyllisyyden/tarpeellisuuden sähköverkon korjaustilanteissa?

Droneista on todella paljon hyötyä.

Puhelinhaastattelu, Mikko Riikonen, 21.05.2018 klo 14.53

1. Voisitko kertoa nimesi, tittelisi ja yhtiösi nimen?

Riikonen Mikko, Elite Group ja projektipäällikkö.

2. Miten tällä hetkellä hyödynnätte droneja sähköverkon tarkastus tai korjaustöissä?

Pilotointi asteella, tarkastuksia ja viankorjausta.

3. Sähkölínjan päälle on kaatunut puu. Voitko kertoa miten korjausprosessi lähtee etenemään?

Paikannus: lähdetään lentämään jommastakummasta suunnasta riippuen lentoreitin helppoudesta. Lennetään linjaa pitkin. Jos mahdollista (maaston mukaan), lennetään ajoneuvosta käsin. Väkisinkin tulee BVLOS tilanteita.

4. Mihin dronen kameraa käytetään?

Pyritään käyttämään vahingon arvioimiseen ja korjausten priorisointiin. Käytetään pääasiallisesti valokuvia. Valokuvat ovat työryhmän käytössä ja lähetään eteenpäin vasta myöhemmin.

5. Kuinka monta henkilöä työskentelee yksittäisellä korjauspaikalla?

Yhdestä kahteen.

6. Kuinka kauan aikaa menee yhdessä kohteessa keskimäärin?

Yhdessä vikapaikassa kuluu aikaa noin tunti.

7. Miksi ja kuinka usein korjaajat ottavat yhteyden valvomoon?

Käyttökeskukseen tarvitsee olla yhteydessä sähköverkon muutostöissä, jotta sähköverkko pysyy ajan tasalla käyttökeskuksessa.

8. Tässä projektissa ideana olisi ratkaista tuo kuuluvuusongelma käyttämällä dronea, joka tarjoaisi puheluyhteyden. Vaikka maanpinnalla ei olisi mobiiliverkon kuuluvuutta, dronessa kiinni oleva kännykkä saisi yhteyden kauempiin tukiasemiin ja voisi jakaa tämän yhteyden alapuolella oleville korjaajille. Näetkö tässä ratkaisussa mitään ongelmia?

Suurin ongelma on akunkesto. Puhelunkestot voivat olla yli puolituntia suurhäiriötilanteissa.

9. Onko tullut eteen tilanteita, jossa korjaajien on matkustettava löytääkseen matkapuhelinsignaali?

Ei moneen vuoteen, ainoastaan kovassa myrskyssä.

10. Onko ongelmaa yritetty ratkaista esimerkiksi satelliittipuhelimella?

Ei, mutta työryhmä voi kommunikoida keskenään radiopuhelimilla.

11. Ovatko korjaajat saaneet koulutusta dronen käyttöön?

Ei laajamittaista, pieniä testilentoja.

12. Onko koulutusta suunnitteilla?

Tämän vuoden puolella tarkoitus järjestää koulutus muutamalle työryhmälle.

13. Elenia mainitsi jonkun kannustimen, jos korjaajat ottavat dronella valokuvan. Miten se on toiminut?

Kannustin on tiedossa, ja se auttaa.

14. Onko korjaajilla ennakkoluuloja droneja kohtaan?

Enemminkin innoissaan dronen käyttöä kohtaan. Drone helpottaa töitä, koska se vähentää kävelymäärää.

15. Onko määräyksiä tai toimintaohjeita, missä olosuhteissa dronea ei käytetä?

Valmistajan asettamat rajoitukset, päivänvalossa paras ja koitetaan välttää sadetta. Droneen on myös yritetty saada valoja kiinni, että pimeällä lentäminen helpottuisi.

16. Miten akkujen lataukseen on varauduttu?

Ajoneuvossa on invertterit, joista saadaan normaali 230V, jonka avulla akkuja voidaan ladata.

17. Turvaväli dronen ja sähkölinjan välillä? 10m vai vähemmän?

Koitetaan lentää mahdollisimman korkealla, mutta siten, että kaikki näkyy. Ainakin 5m linjan yläpuolella. Lennetään suoraa linjan yläpuolella, koska näkyvyys on siinä paras.

18. Näetkö mahdolliseksi että droneja voitaisiin käyttää esim. ohuiden oksien katkaisussa?

Vaatisi isomman dronen. DJI Phantom 4 tällä hetkellä käytössä.

19. Onko dronen käytössä aina kaksi henkeä?

Yhdestä kahteen. Helpottaa jos on kaksi, jolloin toinen voi ajaa autoa.

20. Onko testattu automatisoituja lentoja?

Kaikki lennot tähän mennessä on manuaalisia lentoja, mutta automatisointi helpottaisi huomattavasti.

21. Onko dronelle muita käyttötarkoituksia korjaustilanteessa?

Maakaapelin vetämisessä kuvattaisiin maastoa tulevia reklamaatioita varten. Pystytään todentamaan, että maasto on palautettu alkuperäiseen kuntoon. Tarkastustointi.

22. Rajoittaako lainsäädäntö (esim. BVLOS lentojen suhteen) tai muut säännökset tarvittavia dronelentoja?

BVLOS rajoittaa, ja mahdolliset lentokentät.

23. Mikä on suurin este dronejen käyttöönotossa korjaustöissä?

Laitteiden hinta, lainsäädännön kiristytminen.

24. Miten itse näet dronejen käytön hyödyllisyyden/tarpeellisuuden sähköverkon korjaustilanteissa?

Viankorjauksessa ja paikantamisessa vianetsintä nopeutuu huomattavasti, dronet ovat tulleet jäädäkseen.

Puhelinhaastattelu, Ville Leino, 24.05.2018 klo 14.00

1. Voisitko kertoa nimesi, tittelisi ja yhtiösi nimen?

Ville Leinio, työnjohtaja, Infratek Oy

2. Miten tällä hetkellä hyödynnätte droneja sähköverkon tarkastus- tai korjaustöissä?

Kaksi dronea käytössä, yksi Etelä-Suomessa toinen pohjoisessa. Odotetaan seuraavaa suurhäiriötä, jossa voisi käyttää droneja vian paikantamiseen. Komponenttien tarkastaminen dronella johon on muuten vaikea päästä.

3. Sähkölínjan päälle on kaatunut puu. Voitko kertoa miten korjausprosessi lähtee etenemään dronelennon näkökulmasta?

Vikavälin selvittämisen jälkeen aloitetaan linjan partiointi kesäisin autolla tai jalan, talvisin moottorikelkalla tai mönkijällä. Vikapaikan hakemista nopeutetaan dronen avulla. Vältetään hankalissa maaolosuhteissa kävelemistä.

4. Käytetäänkö droneja korjausalueen paikannuksen lisäksi vahingon arvioimiseen?

Erityisesti vaikeasti päästävillä alueilla, esim. saarikohde, dronesta on hyötyä. Arvioidaan onko pelkästään puu johdon päällä vai onko johtoja mennyt poikki, eristimiä vikaantunut, pylviä mennyt poikki. Pyritään muodostamaan mahdollisimman tarkka kokonaiskuva, joka voidaan välittää työryhmiä ohjaavalle henkilölle eli suurhäiriökoordinaattorille.

6. Mihin dronen ottamia valokuvia käytetään? Välitetäänkö niitä eteenpäin vai ovatko ne vain korjausryhmän käytössä?

Voidaan välittää eteenpäin Elenian UTG-järjestelmään (valokuva + paikkatieto). Elenian mediakäyttöön. Pääosin korjausryhmän sisäisessä käytössä.

7. Kuinka monta henkilöä työskentelee yksittäisellä korjauspaikalla?

Kaksi. Auton kuljettaja ja dronen ohjaaja.

8. Kuinka kauan aikaa menee yhdessä kohteessa keskimäärin dronen käyttöön?

Käytetään dronen lentonopeutta 7-8 m/s, noin 25 km/h. Vaikuttaa monta tekijää, maaston vaikeus. Ei yksiselitteistä aikaa, parempi vertailla jalkapadissa suoritettavaan etsimiseen.

9. Mikä drone malli on teillä käytössä?

DJI Phantom 3 Pro ja Yuneec Typhoon H7

10. Tarvitaanko korjaajilta jatkuva puheyhteys käyttökeskukseen?

Ei, ilmoitus kun vikaväli on rajattu ja aloitetaan etsintä erotinväliltä. Vikapaikka kirjataan UTG-järjestelmään.

11. Onko tullut eteen tilanteita (esim. suurhäiriötilanteiden aikana), jossa matkapuhelinverkon tukiasemat ovat alhaalla ja korjaajien on lähdettävä ajamaan autolla löytääkseen matkapuhelinsignaali?

On tullut vastaan. Eino-myrskyn aikana vuonna 2013 tukiasemat pimenivät ja jouduttiin etsimään autolla signaalia. Ei kahden viimeisen vuoden aikana.

12. Onko tätä ongelmaa yritetty ratkaista millään tavalla? Onko käytössä radiopuhelimia?

Ei ole, autolla etsiminen.

13. Meidän projektissa ideana olisi ratkaista tuo kuuluvuusongelma käyttämällä dronea tukiasemana. Vaikka maanpinnalla ei olisi mobiiliverkon kuuluvuutta, dronessa kiinni oleva kännykkä saisi yhteyden kauempiin tukiasemiin ja voisi jakaa tämän yhteyden alapuolella oleville korjaajille. Näetkö tässä ratkaisussa mitään ongelmia?

UTG-järjestelmä ei toimi hirveän hyvin kaikissa maastopaikoissa. Dronesta voisi olla apua tähän.

14. Ovatko korjaajat saaneet koulutusta dronen käyttöön?

Ei, itseopiskeluna. Jos toimintaa laajentuisi, silloin olisi hyvä toteuttaa.

15. Onko koulutusta suunnitteilla?

Ei, mietitään vielä mihin suuntaan lähdetään dronjen kanssa etenemään.

16. Onko korjaajilla ennakkoluuloja droneja kohtaan?

On varmaankin, onko se helppo käyttää. Pieniä vaikeuksia dronen kanssa jo koettu. Lähettäminen kantomatka on metsämaastossa rajoittava tekijä.

17. Elenia mainitsi jonkun kannustimen, jos korjaajat ottavat dronella valokuvan. Miten se on toiminut?

Ei ole hyödynnetty. Odotaan suurhäiriötä, jotta droneja päästäisiin testaamaan. Kannustin koetaan hyväksi aloitteeksi Elenian puolelta.

18. Onko toimintaohjeita, missä olosuhteissa dronea ei käytetä?

Valoisuus vaikuttaa saako kamerakuvasta selvää. Mennään dronen käyttöohjeiden mukaan.

19. Onko dronen lyhyt lentoaika ongelma?

Ei, koska kaukoohjaimen ja dronen välinen kantama on rajoittava tekijä. Jos käytettäisiin matkapuhelinverkon tukiasemia dronen hallintaan, lentoaika voisi muodostua ongelmaksi.

20. Dronen akkujen lataus ilmeisesti onnistuu ajoneuvossa?

Onnistuu invertterien avulla. Riittävä määrä akkuja, joista osa on aina latauksessa.

21. Turvaväli dronen ja sähkölinjan välillä? 10m vai vähemmän?

Ei määräyksiä. 20 kV linjan päällä voidaan mennä 0,5 m päähän ennen kuin tulee minkäämlaista häiriötä. Raskaasti kuormitetulla muuntajalla on isompi magneettikenttä saa aiheuttaa häiriötä metrin päässä. Dronen käyttämisessä ei mitään ongelmia, sähkölinjat aiheuttavat ainoastaan kompassivirheitä dronen sensoreissa. Ei mitään vaaratilanteita tai ennalta-arvaamattomia liikkeitä johtuen häiriöstä.

22. Lennetäänkö linjan päällä vai vieressä?

Päällä, reilusti sen yläpuolella, puiden latvojen yläpuolella, Aikaisemmin tapahtui dronelle vahinko, kun äkillinen tuulenpuuska paiskasi dronen päin puun latvaa.

23. Rajoittaako lainsäädäntö (esim. BVLOS lentojen suhteen) tai muut säännökset tarvittavia dronelentoja?

BVLOS rajoittaa, VLOS lennoissa lennonjohdolta saa tarvittavat lentoluvat. BVLOS tapauksissa tilapäisten vaaraalueiden perustaminen on pitkä ja kankea prosessi.

24. Mitä määräyksiä on asetettu, että dronella lentäminen olisi turvallista korjaustilanteessa?

Ei, toiminta vielä lapsenkengissä. Normaalilla maalaisjärjellä mennään.

25. Onko dronelle muita käyttötarkoituksia korjaustilanteessa? (kiinnityslinjojen vetäminen vesistön yli? tai maaston kuvaus maakaapelin vetoa varten)

Ei olla mietitty vielä muita käyttötarkoituksia, keskitytty viankorjaukseen.

26. Onko testattu automatisoituja lentoja?

Pelkästään manuaalisia lentoja.

27. Mikä on suurin este dronejen laajamittaiselle käyttöönotolle?

Kannattavuus, kuinka paljon drone nopeuttaa korjausurakkaa. Elenian verkossa maakaapelointi lisääntyy, vähemmän ilmajohtoja. Joissakin käyttötarkoituksissa helikopteri parempi. BVLOS rajoite.

28. Miten itse näet dronejen käytön hyödyllisyyden sähköverkon korjaus-tilanteissa? Ovatko ne jo tällä hetkellä korvaamaton työkalu?

Ei ole korvaamaton, hyvä apulainen.