

DRONEN KÄYTTÄMINEN SÄHKÖASEMIEN TARKASTUKSISSA

Omexom

Parkkinen Juho

Opinnäytetyö

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

2024

Sähkö- ja automaatiotekniikka
Insinööri (AMK)

Tekijä	Juho Parkkinen	Vuosi	2024
Ohjaaja(t)	Antti Niemelä, Ins. (Yamk)		
Toimeksiantaja	Omexom		
Työn nimi	Dronen käyttäminen sähköasemien tarkastuksissa		
Sivumäärä	29		

Tämä opinnäytetyö keskittyy Unmanned Aerial System (UAS) -teknologian hyödyntämiseen sähköasemien tarkastuksissa. Tavoitteena oli selvittää, miten dronet voivat parantaa sähköasemien tarkastusprosessien tehokkuutta, tarkkuutta ja turvallisuutta. Lisäksi työssä pyrittiin laatimaan käytännön ohjeistuksia ja suosituksia droneteknologian käyttöönottoon sähköasemilla, ottaen huomioon lainsäädäntö- ja turvallisuusvaatimukset.

Opinnäytetyön teoreettinen viitekehys perustui UAS-teknologian kehitykseen ja sovelluksiin. Lisäksi tarkasteltiin sähköasemapalvelujen tarpeita ja kehitystä sekä lainsäädännön ja eettisten näkökulmien merkitystä. Työssä hyödynnettiin asiantuntija-artikkeleita ja lainsäädäntöön liittyviä lähteitä. Työ toteutettiin toiminnallisenä opinnäytteenä, jonka tuotoksena oli toimeksiantajalle koottu UAS-toiminnan käsikirja.

Työn tulokset osoittivat, että droneteknologian käyttö sähköasemien tarkastuksissa parantaa merkittävästi tarkastusprosessin tehokkuutta ja turvallisuutta. Dronet mahdollistavat tarkkojen ja ajankohtaisten tietojen keräämisen laajoilta alueilta, mikä auttaa havaitsemaan ongelmat aikaisessa vaiheessa ja vähentämään huoltokustannuksia. Lisäksi työssä kehitettiin selkeitä ohjeistuksia lainsäädännön- ja turvallisuusvaatimusten noudattamiseen, mikä mahdollistaa vastuullisen ja turvallisen UAS-toiminnan sähköasemaympäristössä.

Johtopäätöksenä voidaan todeta, että UAS-teknologian hyödyntäminen tarjoaa merkittäviä etuja sähköasemien ylläpidossa ja tarkastuksissa. Tulevaisuudessa jatkotutkimus voisi keskittyä droneteknologian pitkän aikavälin vaikutuksiin sähköverkon ylläpidossa ja infrastruktuurin turvallisuudessa.

Avainsanat	droonit, sähköasemat, tarkastus, turvallisuus, lainsäädäntö
Muita tietoja	Työhön liittyy toimeksiantajalle toimitettu UAS-toiminnan käsikirja

Electrical and Automation Engineering
Bachelor of Engineering

Author	Juho Parkkinen	Year	2024
Supervisor(s)	Antti Niemelä, MEng		
Commissioned by	Omexom		
Title	Using a drone in substation inspections		
Number of pages	29		

This thesis focuses on the utilization of Unmanned Aerial System (UAS) technology in substation inspections. The goal was to find out how drones can improve the efficiency, accuracy and safety of substation inspection processes. In addition, the work aimed to draw up practical guidelines and recommendations for the introduction of drone technology at substations, considering legislation and safety requirements.

The theoretical framework of the thesis was based on the development and applications of UAS technology. In addition, the needs and development of substation services and the importance of legislation and ethical perspectives were examined. Expert articles and relevant legislation were used in the thesis. The work was carried out as a functional thesis, and the output was a UAS operations manual compiled for the client.

The results of the thesis showed that the use of drone technology in substation inspections significantly improves the efficiency and safety of the inspection process. Drones enable the collection of accurate and up-to-date data from large areas, which helps detect problems at an early stage and reduce maintenance costs. In addition, the thesis developed clear guidelines for compliance with legislation and safety requirements, which enables responsible and safe UAS operations in the substation environment.

In conclusion, it can be stated that the utilization of UAS technology offers significant advantages in substation maintenance and inspections. In the future, further research could focus on the long-term effects of drone technology in electricity grid maintenance and infrastructure security.

Keywords drones, substations, inspection, security, legislation

Special remarks The work includes a UAS operations manual delivered to the client

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	5
2	OMEXOM	6
3	UNMANNED AERIAL SYSTEM -TEKNOLOGIA JA LAINSÄÄDÄNTÖ	7
3.1	UAS-teknologian kehitys ja sovellukset	8
3.2	Eettiset ja lainsäädännölliset näkökohdat	10
3.3	Lennonsuunnittelu ja ilmatilan säännökset	11
4	DRONEN KÄYTTÖ SÄHKÖASEMIEN TARKASTUKSISSA	16
4.1	Sähköasemapalvelut ja kunnossapito.....	16
4.2	Luvat ja säädökset.....	18
4.3	Käytännön lentäminen ja turvallisuus	19
4.4	Varusteet ja teknologia	20
4.5	Ennakoiva kunnossapito ja analytiikka sähköasemien tarkastuksissa	21
5	TULOKSET JA SUOSITUKSET	22
5.1	Saavutetut tulokset	22
5.2	Käytännön sovellukset ja suositukset	23
5.3	Jatkotutkimusmahdollisuudet.....	24
6	POHDINTA	26
	LÄHTEET	27

1 JOHDANTO

Sähköasemapalvelujen jatkuva kehittäminen vaatii uusien teknologioiden tehokasta käyttöä, mikä parantaa tarkastustoimintojen tarkkuutta, laajuutta, nopeutta ja turvallisuutta. Yksi uusista toimintaa tehostavista teknologioista ovat dronet eli Unmanned Aerial System (UAS) -teknologia.

Tämä opinnäytetyö tarkastelee UAS-teknologian hyödyntämistä sähköasemien tarkastuksissa, tarjoten käsityksen siitä, miten UAS-teknologia voi muuttaa perinteisiä tarkastusmenetelmiä. Dronejen käyttö mahdollistaa nopean ja tarkan tietojen keräämisen laajoilta alueilta sekä vaikeasti saavutettavien kohteiden arvioimista, mikä parantaa sähköasemien ylläpidon ennakoitavuutta ja tehokkuutta.

Opinnäytetyössä korostuvat tärkeät teemat, kuten lainsäädäntö, turvallisuusvaatimukset ja eettiset näkökulmat, jotka ovat olennaisia UAS-toiminnan toteuttamiselle. Tavoitteena on laatia käytännönläheisiä ohjeita ja suosituksia, jotka tukevat dronen käyttöä sähköasemien tarkastuksissa, sekä varmistaa, että toiminta noudattaa ajankohtaisia sääntöjä ja parhaita käytäntöjä.

Työn käytännön osuudessa tarkastellaan esimerkkejä siitä, kuinka UAS-teknologian käyttöönotolla voidaan saavuttaa merkittäviä hyötyjä organisaatioiden toiminnassa. Tavoitteena on parantaa toimintojen tehokkuutta ja tiedonhallintaa, mikä on keskeistä sähköasemien turvalliselle tarkastamiselle.

Opinnäytetyö vastaa tarpeeseen syventää ymmärrystä UAS-teknologian merkityksestä Omexomin sähköasemapalveluissa, erityisesti sen roolista operatiivisessa toiminnassa. Työssä käsitellään keskeisiä käsitteitä, kuten UAS, tarkastusprosessit, turvallisuusvaatimukset ja dronen käyttöön liittyvät ohjeistukset.

Tämän opinnäytetyön lähdemateriaalin hankinnassa on hyödynnetty ChatGPT -tekoälysovelluksen versiota 4.0. Sovelluksen tuottamaa sisältöä ei ole suoraan käytetty missään opinnäytteen tekstiosiossa.

2 OMEXOM

Omexom on osa VINCI Energies -konsernia, joka on maailmanlaajuinen toimija sähkö- ja energiainfrastruktuurin alalla. Omexomin päätehtävä on tukea energiamurrosta tarjoamalla kestäviä ja innovatiivisia ratkaisuja sähköntuotantoon, -siirtoon ja -jakeluun. Yritys työskentelee läheisessä yhteistyössä niin julkisten kuin yksityisten sähköverkkojen omistajien kanssa, auttaen heitä vastaamaan muuttuvan energiaympäristön tarpeisiin. Omexomin asiantuntemus sähköverkkojen kehittämisessä ja ylläpidossa mahdollistaa sen, että Omexom voi tukea asiakkaitaan varautumaan uusiutuvien energialähteiden vaatimuksiin ja parantamaan sähköverkkojen kestävyyttä pitkällä aikavälillä. (Omexom 2024b.)

Omexom tarjoaa kattavia sähköasemien kunnossapito- ja käyttöönottopalveluja eri jännitetasoilla maanlaajuisesti. Yrityksen palveluvalikoimaan kuuluvat muun muassa toisiojärjestelmien ylläpito ja uudistaminen sekä sähköasemien modernisointiprojektit. Omexom on aktiivinen toimija Suomen sähköverkkomarkkinoilla, ja yritys tekee tiivistä yhteistyötä asiakkaidensa, kuten Fingridin ja Helen Sähköverkon kanssa, varmistaakseen sähköasemien toimintavarmuuden ja turvallisuuden. Yrityksen sähköasemapalvelut tukevat energiayhtiöitä optimoimaan infrastruktuuriaan ja vähentämään seisokkeja, mikä auttaa parantamaan koko verkon tehokkuutta ja luotettavuutta. (Omexom 2024a.)

3 UNMANNED AERIAL SYSTEM -TEKNOLOGIA JA LAINSÄÄDÄNTÖ

Dronet, eli Unmanned Aerial System (UAS), ovat miehittämättömiä ilma-aluksia, joita ohjataan kauko-ohjaimella tai autonomisesti ennalta ohjelmoitujen reittien mukaisesti. Viimeisten vuosien aikana UAS-teknologia on kehittynyt merkittävästi, erityisesti teollisuuden tarkastusprosessien osalta. (Lapiana, A 2024.)

Dronet voivat olla joko kiinteäsiipisiä tai moniroottoria. Kiinteäsiipiset dronet soveltuvat laajojen alueiden tarkastuksiin, kun taas moniroottoriset dronet, kuten nelikopterit, ovat erityisen hyödyllisiä tarkkaan paikalliseen valvontaan ja haastaviin maastoihin, kuten sähköasemaympäristöihin, joissa tarvitaan tarkkaa ja joustavaa liikkumista. (Wylie, A 2024.)

Alun perin dronejen käyttö rajoittui visuaalisiin tarkastuksiin, mutta teknologian kehityksen myötä dronet on varustettu monipuolisilla sensoreilla, kuten lämpökameroilla ja LiDAR-järjestelmillä, jotka mahdollistavat yksityiskohtaisen analyysin tarkastuskohteista ilman fyysistä pääsyä kohteeseen. Nämä järjestelmät tekevät mahdolliseksi kerätä reaaliaikaista dataa, joka auttaa ennakoivassa kunnossapidossa sekä mahdollisten ongelmien havaitsemisessa jo varhaisessa vaiheessa. (Energy Robotics 2023.)

UAS-teknologian hyödyntämisessä lainsäädännön ja eettisten käytäntöjen merkitys on korostunut. Lennättäjien on hallittava ajankohtaiset vaatimukset ja turvallisuusmääräykset, jotka varmistavat toiminnan luotettavuuden ja vastuullisuuden. Tämä kehitys ei vain paranna sähköasemien tarkastusten turvallisuutta, vaan myös vahvistaa koko toimialan luottamusta sidosryhmien keskuudessa, erityisesti vanhenevan infrastruktuurin hallinnan näkökulmasta. (The Utility Expo 2022.)



Kuvio 1. DJI Mavic 3 Enterprise -miehittämätön ilma-alus (DJI Enterprise 2024a).

3.1 UAS-teknologian kehitys ja sovellukset

UAS-teknologian nopea kehitys on mahdollistanut innovatiivisten sovellusten käyttöönoton eri toimialoilla, kuten sähköasemapalveluissa. Droneihin integroitavat sovellukset, kuten GPS, RTK, LiDAR, lämpökamera ja ultraääni, ovat keskeisessä roolissa dronejen käytön turvallisuuden ja tarkkuuden varmistamisessa. Paikannusjärjestelmien tarkkuus ja luotettavuus on erityisen tärkeää sähköasemien tarkastuksissa. Global Positioning System (GPS) on satelliittipohjainen paikannusjärjestelmä, joka mahdollistaa dronen tarkan paikantamisen reaaliajassa, mahdollistaen lennättäjien pysymisen suunnitellulla reitillä ilman merkittävää poikkeamaa. (Ahmad 2023.)

Droneen kiinnitettävä Real Time Kinematic (RTK) -moduuli taas parantaa GPS-signaalin tarjoaman paikannustiedon muutamasta metristä, jopa senttimetritasolle reaaliajassa. RTK-moduuli mahdollistaa dronejen käytön toistuvissa ja kriittisissä tehtävissä, ja avustaa sähköasemien komponenteista saatavan datan keräämisessä tarkasti ja tehokkaasti ilman, että jokaiselle mittauskohdalle tarvitsisi

asettaa maamerkkejä. Tämä vähentää manuaalisen työn tarvetta ja nopeuttaa tarkastusprosesseja. (McNabb 2024.)



Kuvio 2. DJI dronen lisäosana myytävä RTK-moduuli (DJI Enterprise 2024c).

Light Detection and Ranging (LiDAR) on teknologia, joka käyttää laserpulsseja mittaamaan etäisyyksiä kohteisiin ja luo niiden perusteella yksityiskohtaisia 3D-malleja ympäristöstä. Ultraäänisensorit, jotka toimivat lähettämällä korkeataajuisia ääniaaltoja ja mittaamalla niiden heijastukset kohteista, auttavat dronea pitämään turvallisen etäisyyden maasta ja muista esteistä, mikä on erityisen tärkeää monimutkaisissa ja ahtaissa ympäristöissä. (Ahmad 2023; Balestrieri ym. 2021.)

Dronet voi varustaa myös lämpökameralla, joka on erityisen hyödyllinen sähköasemien tarkastamisessa (DJI Enterprise 2024c). Lämpökamera mahdollistaa eri lämpötilojen havaitsemisen ja analysoimisen, mikä auttaa tunnistamaan mahdolliset ongelmat, kuten ylikuumenemisen tai viallisen komponentin (kuvio 3).



Kuvio 3. Esimerkki DJI Mavic 3T ohjaajan videokuvassa on lämpökameran ja normaalin teleskooppikameran kuvat näkyvillä (DJI 2024).

Lisäksi yksi merkittävistä edistysaskelista UAS-teknologiassa on autonomisten dronejen kehitys. Nämä dronet pystyvät lentämään ennalta määritettyjen reittien mukaan ja suorittamaan tarkastuksia ilman jatkuvaa ihmisen valvontaa, mikä tehostaa tarkastusprosessia ja vähentää ihmistyövoiman tarvetta. Lisäksi dronet voivat käyttää reaaliaikaista videontoistoa, mikä mahdollistaa tarkastusten seurannan etänä ja nopeiden päätösten tekemisen kriittisissä tilanteissa. (Maurice 2024.)

UAS-teknologian hyödyntäminen sähköasemien tarkastuksissa on lisääntynyt, koska dronet voivat nopeasti ja turvallisesti tarkastaa suuria alueita. Dronet voivat käyttää sovelluksia, kuten tarkkuuskameroita ja lämpöensoreita, mikä parantaa tarkastusten tehokkuutta ja parantaa turvallisuutta vähentämällä henkilöstön tarvetta työskennellä vaarallisilla alueilla (Knight 2023). Tarkastusten tehokkuuden lisäksi UAS-teknologia auttaa edistämään infrastruktuurin turvallisuutta tarjoamalla perinteisiä menetelmiä ajankohtaisempaa ja tarkempaa dataa tarkistettavilta sähköasemilta (DJI Enterprise 2024b).

3.2 Eettiset ja lainsäädännölliset näkökohdat

UAS-toiminnan kehitys tuo mukanaan myös lainsäädännöllisiä haasteita ja eettisiä kysymyksiä, jotka on otettava huomioon dronejen käytössä sähköasemien

tarkastuksissa. Lainsäädäntö vaihtelee eri maissa, mutta yleisesti ottaen se keskittyy lentoturvallisuuteen, yksityisyyden suojaan ja ympäristön suojelemiseen. Esimerkiksi Euroopan unionin ilmailusäädöksissä vaaditaan, että dronejen käyttö tapahtuu turvallisesti ja vastuullisesti, ottaen huomioon sekä lennättäjän että kolmansien osapuolten turvallisuuden. (European Commission 2021.)

Eettiset näkökulmat ovat yhtä tärkeitä kuin lainsäädäntö. Dronen käytössä on varmistettava, että yksityisyyttä kunnioitetaan ja että kerättyä dataa käsitellään asianmukaisesti. Tämä tarkoittaa, että lennättäjien on oltava tietoisia siitä, miten ja mihin tarkoitukseen data kerätään. Lisäksi dronen käyttö ei saa tehdä ympäristölle haittaa, joten on tärkeää noudattaa paikallisia ympäristösääntöjä ja -määräyksiä. (Traficom 2024a.)

3.3 Lennonsuunnittelu ja ilmatilan säännökset

Lennonsuunnittelu ja ilmatilan säännökset ovat kriittisiä tekijöitä dronejen turvalisessa käytössä sähköasemien tarkastuksissa. Drone-lennättäjät voivat hyödyntää lennonsuunnittelussa karttapalveluita, kuten Flyk-alustaa.

Flyk on sekä miehitetyn että miehittämättömän ilmailun tarpeisiin suunniteltu karttapalvelu, joka tukee lennon suunnittelua reaaliaikaisesti. (Flyk 2024.) Flyk näyttää ilmatilan rajoitukset, mukaan lukien kriittiset alueet, kuten lentokenttien, ydinvoimaloiden ja sotilasalueiden läheisyyden. Tämä on tärkeää turvallisuuden varmistamiseksi, erityisesti sähköasemien läheisyydessä, joissa lennätys voi olla vaarallista ilman oikeaa tietoa rajoituksista. Alusta näyttää myös sääennusteet ja reaaliaikaisen ilmatiedon, mikä mahdollistaa tarkemman riskienarvioinnin ennen lennättämistä (Traficom 2024b).

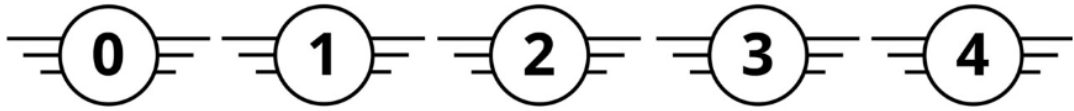
Sähköasemilla toteutettavat tarkastukset kuuluvat pääosin matalariskiseen avoimeen kategoriaan. Avoin kategoria on jaettu kolmeen alakategoriaan: A1, A2 ja A3. Kategorioissa A1 ja A2 voidaan lentää lähellä ihmisiä, mutta niiden rajoitukset eroavat merkittävästi painon ja etäisyyden suhteen. A1-luokassa voidaan lentää enintään 900 gramman painoisilla droneilla satunnaisten ihmisten läheisyydessä, kun taas A2-luokassa lennot vaativat vähintään 50 metrin etäisyyden ihmisiin ja enintään 2 kilogramman painoisen dronen käyttöä. A3-luokassa voidaan operoida enintään 25 kilogramman painoisilla droneilla, mutta tämä vaatii lennätyksen harvaan asutuilla alueilla ja vähintään 150 metrin etäisyyden rakennuksiin ja ihmisiin. (European Union Aviation Safety Agency 2024; Traficom 2024b.)

Jos sähköaseman tarkastuksen lento-operaatio ylittää avoimen kategorian rajoitukset, siirrytään erityiskategoriaan. Erityiskategoria sisältää muun muassa lennot tiheästi asutuilla alueilla tai lentäminen suuremmalla korkeudella kuin 120 metriä. Tämä kategoria vaatii lisäluvan ja riskienarvioinnin, kuten Specific Operations Risk Assessment (SORA). Lennättäjien on täytettävä lisäpätevyysvaatimuksia ja oltava tietoisia rajoituksista, kuten ilmatilarajoituksista ja vaarallisten alueiden sijainneista. (Traficom 2024b.)

Taulukko 1. Käytettävän dronekaluston ja ylilennettävän alueen maariskin SORA lukuarvot taulukko (Traficom 2024b).

UAS kokoluokka, ääriarvot	1 metri	3 metriä	8 metriä	yli 8 metriä
Tyypillinen kineettinen energia	< 700 J	< 34 kJ	< 1084 kJ	> 1084 kJ
Operatiivinen skenaario				
VLOS / BVLOS valvotun maa-alueen yläpuolella	1	2	3	4
VLOS harvaan asutulla alueella	2	3	4	5
BVLOS harvaan asutulla alueella	3	4	5	6
VLOS tiheästi asutulla alueella	4	5	6	8
BVLOS tiheästi asutulla alueella	5	6	8	10
VLOS väkijoukon yläpuolella	7			
BVLOS väkijoukon yläpuolella	8			

Lisäksi vuoden 2024 alusta lähtien voimaan tulleet uusien dronejen C-luokitukset (C0-C6), määrittävät dronen käyttökohteita ja turvallisuusominaisuuksia, jotka on otettava huomioon osana muita ilmatilan säädöksiä. Esimerkiksi C1-luokan dronella (alle 900 grammaa) voidaan lentää A1-luokassa satunnaisten ihmisten läheisyydessä, mutta C2-luokan dronea käytettäessä (alle 2 kilogrammaa) A2-luokassa vaaditaan valvotun lisäteoriakokeen suorittaminen ja turvallinen etäisyys ihmisiin. C3-C6 -luokitukset kattavat suurempien ja monimutkaisempien dronejen käytön, jotka kuuluvat yleensä A3- tai erityiskategoriaan. (Traficom 2024c.)



Kuvio 5. Dronen C-merkintä (Traficom 2024c).

4 DRONEN KÄYTTÖ SÄHKÖASEMIEN TARKASTUKSISSA

4.1 Sähköasemapalvelut ja kunnossapito

Sähköasemapalvelut ovat keskeinen osa modernia sähköverkkoinfrastruktuuria, ja niiden kehittäminen on jatkuva prosessi, joka tähtää tehokkuuden, turvallisuuden ja luotettavuuden parantamiseen. Sähköasemapalvelut sisältävät erilaisia toimintoja, kuten tarkastuksia, huoltoa ja vianetsintää, joiden avulla varmistetaan sähköverkon häiriötön toiminta. (European Commission 2021.)

Sähköasemapalvelujen kehittäminen edellyttää tiivistä yhteistyötä eri sidosryhmien, kuten energiayhtiöiden, viranomaisten ja teknologiatoimittajien välillä. Tällainen yhteistyö auttaa varmistamaan, että toimintatavat ja teknologiat otetaan käyttöön tehokkaasti ja että ne täyttävät alan vaatimukset ja standardit. (Traficom 2020.)

Dronet ovat tulleet tehokkaaksi työkaluksi sähköasemien tarkastuksissa, sillä ne mahdollistavat nopean, turvallisen ja yksityiskohtaisen tarkastuksen vaikeapääsyisissä kohteissa, kuten korkeajännitteisten osien ja muuntajien läheisyydessä. Sähköasemien ylläpidossa dronet voivat kerätä tietoa kriittisistä komponenteista, kuten eristimistä, kaapeliliitoksista ja voimajohtimista, ilman että henkilöstön tarvitsee mennä vaara-alueille. Erityisesti dronet, joissa on lämpökuvauksen mahdollisuus pystyvät havaitsemaan ylikuumentuneet osat, jotka saattavat ennakoida vakavia laitteistovikoja. Tämä mahdollistaa sähköasemien tarkastuksen suorittamisen ilman laitteistojen sammutusta, mikä vähentää käyttökatkoja ja parantaa sähköverkon toimintavarmuutta. (SINTEF 2024.)



Kuvio 6. Dronen lämpökameralta ja normaalikameralta saadut kuvat voimalinjasta (UAV for Drone 2019).

Perinteiset tarkastusmenetelmät, kuten kiipeämiset pylväisiin tai nostokorien käyttäminen, voivat olla vaarallista sekä aikaa vieviä. Dronen käyttäminen vähentää henkilöstön alistumista riskeille, kuten korkeajännitteisille osille tai vaikeasti saavutettaville kohteille. Lisäksi dronet pystyvät suorittamaan tarkastuksia nopeammin ja tehokkaammin, mikä säästää aikaa ja resursseja. Tarkastuksia voidaan myös suorittaa useammin, sillä dronet tuovat mahdollisuuden nopeaan reaaliaikaiseen tiedonkeruuseen, jolloin mahdolliset viat havaitaan ajoissa ennen kuin ne aiheuttavat vakavampia ongelmia. Tämä auttaa vähentämään kunnossapidon kustannuksia ja parantaa sähköverkon yleistä turvallisuutta ja luotettavuutta (Shaikh 2022.)



Kuvio 7. Sähköaseman yläpuolelta otettu lämpökamerakuva dronen avulla, jossa pystytään saamaan kokonaisvaltainen kuva muuntajien ja reaktoreiden lämpötiloista (UAV Miami 2024).

4.2 Luvat ja säädökset

Dronen käyttö sähköasemien tarkastuksissa edellyttää Suomessa erityisten lupien ja sääntöjen noudattamista, jotka perustuvat sekä Euroopan Unionin droneasetuksiin että kansallisiin säädöksiin. Kaikkien dronen käyttäjien, riippumatta siitä, ovatko he ammattilaisia vai harrastajia, on rekisteröidyttävä Traficomien drone-operaattorirekisteriin. Tämä koskee erityisesti kamerallisia droneja, mutta alle 250 gramman kamerattomat laitteet ovat vapautettuja rekisteröintivelvollisuudesta. Rekisteröitymisen jälkeen operaattori saa rekisteritunnuksen, joka on merkittävä droneen. Lisäksi lennättäjän on suoritettava A1/A3-kauko-ohjaajan verkoteoriakoe, joka varmistaa käyttäjän perusosaamisen dronejen turvallisessa lennättämisessä. Tämä koe kattaa muun muassa lennätyskorkeudet, joita avoimessa luokassa on rajoitettu 120 metriin, sekä turvallisuusohjeet, kuten näköyhteyden ylläpidon. (Droneinfo 2024.)

Erityisen tärkeää on myös tuntea UAS-ilmatilavyöhykkeet, joissa dronen lennättäminen on rajoitettua. Näitä ovat esimerkiksi lentoasemien, ydinvoimaloiden ja muiden kriittisten infrastruktuurikohteiden ympärillä olevat alueet. Lennätykselle voi näillä alueilla tarvita erityisiä lupia. Toinen tärkeä säädös liittyy toiminnan kategorioihin. Suurin osa käyttäjistä kuuluu avoimeen luokkaan, mutta erityisiä sertifioituja luokkia koskevat tiukemmat vaatimukset, kuten riskien arviointi ja lupien hakeminen erityistä toimintaa varten. (Traficom 2019.)

Tärkeä osa lennonsuunnittelua on myös Notice to Airmen (NOTAM) -tiedotteiden tarkistaminen, jotka ovat ilmailutiedotuksia lennon turvallisuuteen vaikuttavista asioista. Drone-lennättäjien tulee aina tarkistaa mahdolliset NOTAM-tiedotteet, jotta lennätystä ei suoritettaisi vaarallisilla alueilla tai tilapäisesti rajoitetuilla alueilla. Tämä tieto löytyy Fintrafficin ja Traficomien ylläpitämästä järjestelmästä, joka näyttää aktiiviset ilmatilarajoitukset ja muut kriittiset tiedot, jotka vaikuttavat lennon turvallisuuteen. NOTAM-tiedotteiden seuraaminen on pakollista erityisesti silloin, kun toimitaan kriittisen infrastruktuurin läheisyydessä, kuten sähköasemilla. (Fintraffic 2024b.)

Kaiken toiminnan on myös oltava turvallista ja noudatettava yksityisyyttä koskevia lakeja, kuten kotirauhaa ja henkilötietojen suojaa, joihin liittyy muun muassa rikoslain salakatselusäännöksiä. Erillisverkkojen mukaan tämä on erityisen tärkeää sähköasemien ympäristöissä, joissa lennättämiseen liittyvät riskit on arvioitava tarkasti. (Erillisverkot 2021.)

4.3 Käytännön lentäminen ja turvallisuus

Turvallinen dronen lennättäminen on elintärkeää erityisesti sähköasemien ja muiden kriittisten infrastruktuurien läheisyydessä. Ennen lennättämistä tulee tehdä perusteellinen riskien arviointi, jossa otetaan huomioon sääolosuhteet, maaston esteet, jännitteiset osat ja mahdolliset riskit läheisyydessä työskenteleville henkilöille. Dronen lennättäjän tulee noudattaa Visual Line Of Sight (VLOS)-periaatetta, mikä tarkoittaa, että drone on aina kauko-ohjaajan näkyvässä ilman apuvälineitä. (Traficom 2024a.)

Lentokorkeus ja ilmatilanrajoitukset ovat erityisen tärkeitä turvallisuuden kannalta. Dronen lennättäminen on sallittua enintään 120 metrin korkeudella ilman

erillistä lupaa. Jos lennetään erityisesti rajoitetuilla alueilla, joten sähköasemien, voimajohtojen tai muiden kriittisten rakenteiden läheisyydessä, voi olla tarpeen hakea Traficomilta lupaa. Rajoitetut alueet, kuten R- ja P- alueet (restricted ja prohibited areas), suojelevat kriittisiä infrastruktuureja, kuten ydinvoimaloita ja sotilaskohteita, joissa lennätys voi olla täysin kielletty. (Droneinfo 2024; Fintraffic 2024a.)

Riskienhallinta ja tekninen turvallisuus ovat keskeisiä tekijöitä dronen käytössä sähköasemilla. Ennen lentotoiminnan aloittamista lennättäjän on varmistettava, että dronessa on riittävät turvaominaisuudet, kuten automaattinen paluu lähtöpisteeseen, jos yhteys droneen katkeaa. Lentäjän on myös huolehdittava siitä, että droneen on merkitty operaattorin rekisterinumero, ja että lennättäjä on suorittanut vaadittavat koulutukset ja kokeet. (Erillisverkot 2021.)

Poliisi ja Traficom valvovat dronelennätyksiä, ja laiminlyönneistä voi seurata sakkorangaistuksia tai vakavampia seuraamuksia. Siksi lennättäjän on aina tunnettava alueen säännöt ja varmistettava, että kaikki lennätukseen liittyvät toimenpiteet ovat lain ja säädösten mukaisia. (Droneinfo 2024; Fintraffic 2024a.)

4.4 Varusteet ja teknologia

Sähköasemien tarkastuksissa käytettävän dronen on oltava varustettu tarvittavilla sensoreilla ja teknologialla. Yleisimmin käytetään kameroita ja lämpökameroita, joiden avulla voidaan suorittaa tarkkoja ja monipuolisia tarkastuksia. Dronen ominaisuuksien tunteminen on tärkeää, jotta sen käyttö on tehokasta ja turvallista. (Fintraffic 2024a; Traficom 2024a.)

Lennättäjän on myös varmistettava, että kaikki laitteet, kuten akku ja muut varusteet, ovat kunnossa ennen lennättämistä. Harjoittelu turvallisilla alueilla on suositeltavaa, jotta lennättäjä voi kehittää taitojaan ennen siirtymistä sähköasemaympäristöön. (Traficom 2024a.)

Sähköasemien tarkastuksissa on myös huomioitava dronen kestävyys. Koska sähköasemilla esiintyy voimakkaita sähkömagneettisia kenttiä, dronessa tulee olla suojausominaisuudet, jotka estävät signaalin häiriöt ja turvaavat lennätysten vakauden. Sähkömagneettinen suojaus on erityisen tärkeää suurjännitealueella

ja sen läheisyydessä toimiessa, sillä se vähentää sekä laitteiden vaurioitumisen riskiä että mahdollisia turvallisuusriskejä lennättäjän tai lähellä työskentelevän henkilöstön kannalta. (Wylie 2024.)

4.5 Ennakoiva kunnossapito ja analytiikka sähköasemien tarkastuksissa

Ennakoiva kunnossapito sähköasemilla hyödyntää dronen ja analytiikkatyökalujen laajamittaista tiedonkeruuta. Dronet voivat kerätä tarkkaa ja reaaliaikaista tietoa lämpötiloista ja rakenteiden kunnosta kriittisistä komponenteista, kuten eristimistä ja kaapeliliitoksista. Tämä data käsitellään tekoälyyn pohjautuvilla ohjelmistoilla, jotka tunnistavat poikkeamat ja mahdolliset viat jo varhaisessa vaiheessa. Tämä auttaa sähköaseman kunnossapitoa reagoimaan ennen kuin pienet viat kehittyvät suuremmiksi ongelmiksi, mikä vähentää keskeytyksiä ja ylläpitokustannuksia. (Utility Analytics Institute 2023.)

Kehittyneiden analytiikkaratkaisujen, kuten koneoppimisen avulla voidaan analysoida suuria määriä kuvia ja muuta dataa tehokkaasti. Dronen keräämä data tallennetaan ja luokitellaan, minkä jälkeen tekoälyalgoritmit tunnistavat potentiaaliset vikakohteet automaattisesti. Tämä analyysiprosessi parantaa huomattavasti tarkastusten tarkkuutta ja nopeutta, sillä sähköasemien kunnossapito voi keskittyä merkittäviin poikkeamiin sen sijaan, että kävisivät läpi valtavaa tietomäärää manuaalisesti. (The Utility Expo 2023.)

Ennakoivan kunnossapidon tueksi kehitetyt analytiikkajärjestelmät vähentävät inhimillisiä virheitä ja helpottavat kunnossapidon työtä. Tekoälyalgoritmit voivat oppia tunnistamaan tyypillisiä ongelmakohtia ja suorittavat analyysin automaattisesti, mikä vähentää työntekijöiden kuormitusta. Prosessi tarjoaa tarkan ja jatkuvan kuvan laitteiden tilasta ja mahdollistaa nopean reagoinnin ennen kuin ongelmat aiheuttavat laajempia häiriöitä. (Capgemini 2021.)

Datanhallinnan keskittäminen ja yhdenmukaistaminen ovat ratkaisevan tärkeitä dronen keräämän tiedon hyödyntämiseksi tehokkaasti. Yhdenmukainen tietojärjestelmä mahdollistaa analyysien keskittämisen, mikä tukee myös pitkän aikavälin kunnossapitosuunnittelua ja resurssien optimointia. Tämä auttaa organisaatioita priorisoimaan kunnossapidon toimenpiteitä ja vähentämään ylläpitokustannuksia tarkastusten ajoituksen ja kohdentamisen optimoinnilla. (Spire 2021.)

5 TULOKSET JA SUOSITUKSET

Tässä luvussa esitellään opinnäytetyön keskeiset tulokset ja niiden perusteella laaditut suositukset UAS-teknologian hyödyntämisestä sähköasemien tarkastuksissa. Tietopohjan avulla pystyttiin laatimaan toimeksiantajalle UAS-käsikirja, jonka avulla droneja lennättävät asentajat pystyvät ymmärtämään oleelliset asiat UAS-toiminnasta.

5.1 Saavutetut tulokset

Drone teknologian käytön tuomat hyödyt sähköasemien tarkastuksissa ovat moninaiset ja korostuvat erityisesti ajansäästössä, turvallisuudessa ja tarkkuudessa verrattuna perinteisiin menetelmiin.

Ajansäästö on yksi merkittävimmistä eduista droneteknologian käytössä. Perinteiset visuaaliset tarkastukset edellyttävät usein henkilöstön läsnäoloa paikan päällä, mikä voi viedä huomattavasti aikaa varsinkin laajoilla alueilla, kuten sähköasemilla. Dronet mahdollistavat laajojen alueiden tarkastamisen nopeasti ja tehokkaasti. Esimerkiksi yhden tarkastuksen, joka manuaalisesti saattaisi kestää tunteja, voi drone suorittaa muutamassa kymmenessä minuutissa. Tämä nopeuttaa tarkastusprosessia merkittävästi, ja näin ollen sähköasemien kunnossapitoon kuluva aika lyhenee. Lisäksi dronet voivat lentää myös vaikeapääsyisiin kohteisiin, joita ihmisten olisi muuten hankala tarkastaa ilman lisäkalustoa, kuten nostureita tai telineitä.

Turvallisuus paranee huomattavasti dronen käytön ansiosta. Perinteiset tarkastukset voivat edellyttää henkilöstön läheisyyttä jännitteisiin osiin, mikä lisää riskiä onnettomuuksille. Drone voi lentää suoraan tarkastettaviin kohteisiin ilman, että henkilöstön tarvitsee astua vaarallisille alueille. Esimerkiksi korkeajännitteisten voimajohtojen ja sähköaseman laitteistojen läheisyydessä työskentely voi aiheuttaa vakavan sähköiskuvaaran, mikä voidaan minimoida dronejen avulla. Näin dronen käytöllä voidaan paitsi nopeuttaa tarkastuksia myös parantaa merkittävästi työntekijöiden turvallisuutta.

Dronet tarjoavat merkittäviä etuja tarkkuuden suhteen. Perinteiset visuaaliset tarkastukset voivat jäädä puutteellisiksi, jos ongelmia ei pystytä havaitsemaan paljaalla silmällä. Dronet ovat varustettu huipputeknologialla, kuten korkearesoluuti-
oisilla kameroilla ja lämpökameroilla, jotka mahdollistavat tarkempien ja yksityis-
kohtaisempien havaintojen tekemisen. Näiden avulla voidaan havaita esimerkiksi
ylikuumenemista, joka ei ole paljaalla silmällä näkyvässä, mutta jonka drone pys-
tyy havaitsemaan lämpökameran avulla. Tämä ennaltaehkäisevä tarkastustapa
auttaa tunnistamaan mahdolliset ongelmat jo varhaisessa vaiheessa, mikä puo-
lestaan mahdollistaa korjaavien toimenpiteiden tekemisen ennen kuin laitteet vi-
kaantuvat tai aiheuttavat häiriöitä sähköverkon toiminnassa.

Näiden lisäksi dronen käyttö tuo mukanaan myös kustannussäästöjä. Koska tar-
kastukset ovat nopeampia ja turvallisempia, voidaan välttää kalliita seisokkeja ja
ylläpitokustannuksia, joita perinteisillä tarkastusmenetelmillä usein syntyy. Pit-
källä aikavälillä tämä voi merkitä huomattavia säästöjä energiayhtiöille ja sähkö-
verkkojen ylläpitäjille.

5.2 Käytännön sovellukset ja suositukset

Droneteknologian hyödyntäminen sähköasemien tarkastuksissa tuo merkittäviä
etuja erityisesti tarkastuksiin ja kunnossapitoon. Droneteknologian avulla voidaan
tehostaa tarkastusprosessia ja vähentää siihen liittyviä riskejä, mikä parantaa
sähköverkon ylläpidon tehokkuutta ja turvallisuutta.

Keskeisimpänä osa-alueena on ennakoiva kunnossapito. Droneteknologia voi
kerätä jatkuvasti dataa sähköasemien eri komponenteista ja niiden kunnosta,
mikä mahdollistaa tarkempien analyysien tekemisen ja auttaa havaitsemaan on-
gelmat ennen niiden kehittymistä kriittiseksi. Dronejen avulla voidaan tehdä sään-
nöllisiä tarkastuksia ilman sähköverkon käyttökatoja. Dronen keräämän datan
avulla on mahdollista hyödyntää analytiikkatyökaluja, joiden avulla voidaan en-
nakoida tulevia huoltotarpeita ja suunnata resursseja ja investointeja tarkemmin.

Dronet tarjoavat reaaliaikaista dataa, mikä nopeuttaa päätöksentekoa erityisesti
häiriötilanteissa, joissa nopeat ja oikein kohdistetut korjaustoimenpiteet voivat eh-

käistä laajempaa sähkökatkoa. Dronet mahdollistavat myös tarkastuksia haastavimmissakin olosuhteissa, kuten huonoissa sääolosuhteissa tai vaikeapääsuisillä alueilla.

Droneteknologian integroiminen ennakoivaan kunnossapidon strategiaan maksimoi hyödyt. Investointi droneteknologiaan sekä data-analytiikkaohjelmistoihin voi tehostaa päätöksentekoa ja kunnossapidon suunnittelua huomattavasti. Turvallisuuden takaamiseksi on tärkeää, että lennättäjille tarjotaan kattavat ohjeistukset ja koulutus, jotta toiminta pysyy sääntöjen mukaisena, turvallisena ja jotta teknologiasta saadaan kaikki mahdollinen hyöty irti.

5.3 Jatkotutkimusmahdollisuudet

Droneteknologian hyödyntäminen sähköasemien tarkastuksissa on suhteellisen uusi ilmiö, ja sen potentiaalia ei ole vielä täysin hyödynnetty. Tulevaisuuden jatkotutkimus voisi keskittyä syvällisemmin droneteknologian pitkä aikavälin vaikutuksiin sähköverkon ylläpidossa sekä sen mahdollisiin laajennettuihin sovelluksiin.

Yksi kiinnostava jatkotutkimusaihe olisi autonomisten dronejen käyttö sähköasemien tarkastuksissa. Tällä hetkellä useimmat dronet vaativat manuaalista ohjausta, mutta tulevaisuudessa autonomiset dronet voisivat suorittaa itsenäisesti toistuvia tarkastuksia ennalta määritellyillä reiteillä. Tämä voisi vähentää operatiivisia kustannuksia entisestään ja lisätä tarkastusten säännöllisyyttä. Autonomisten dronejen käyttö edellyttää kuitenkin kehittyneitä navigointiteknologioita, kuten tekoälyyn perustuvia esteentunnistusjärjestelmiä ja reaaliaikaisia riskianalyseja. Tutkimusta voisi kohdistaa myös siihen, miten autonomisia droneja voidaan integroida osaksi olemassa olevia kunnossapitojärjestelmiä.

Dronet keräävät suuria määriä dataa, kuten kuvia, videoita ja lämpökuvaa, mutta datan tehokas analysointi ja hyödyntäminen ovat vielä kehitysvaiheessa. Jatkotutkimuksena voisi keskittyä siihen, miten tekoäly ja koneoppiminen voivat tehostaa datan analysointia ja tunnistaa tarkastusprosessin aikana havaitut poikkeamat, kuten ylikuumentuneet osat tai vaurioituneet komponentit. Erityisesti algoritmien kehittäminen, jotka voivat automaattisesti analysoida ja luokitella dronen keräämän datan, voisi mullistaa kunnossapitotyön.

Lisäksi voitaisiin selvittää, miten dronet voivat toimia osana laajempaa sähköverkon kunnossapitojärjestelmää. Tämä voisi sisältää järjestelmällisen analyysin siitä, miten dronet ja muut etävalvontateknologiat voidaan yhdistää reaali maailman huoltosuunnitelmiin, jotta kunnossapitoa voidaan tehostaa. Tutkimus voisi myös keskittyä siihen, miten dronejen ja maalla toimivien anturijärjestelmien välinen tiedonsiirto voi parantaa sähköverkkojen operatiivista tehokkuutta.

Vaikka dronet voivat parantaa tehokkuutta ja vähentää tarkastuksiin kuluva aikaa, niiden vaikutukset ympäristöön ja kestävä kehitykseen ovat toistaiseksi jääneet vähemmälle huomiolle. Tuleva tutkimus voisi selvittää dronejen käytön ympäristövaikutuksia, kuten niiden energiankulutusta ja hiilijalanjälkeä verrattuna perinteisiin tarkastusmenetelmiin. Lisäksi tutkimus voisi kohdistua siihen, miten dronet voivat tukea vihreää siirtymää sähköverkkoinfrastruktuurissa, esimerkiksi parantamalla uusiutuvien energialähteiden integraatiota verkkoon.

Dronen käyttö sähköasemien tarkastuksissa herättää myös eettisiä ja juridisia kysymyksiä, erityisesti yksityisyyden ja tietosuojan osalta. Yksi hedelmällinen tutkimusaihe olisikin droneteknologian lainsäädännön mukainen hyödyntäminen erityisesti tiheästi asutuilla alueilla. Lisäksi tutkimusta voisi kohdistaa siihen, miten lakisääteiset puitteet kehittyvät dronejen käytön lisääntyessä ja mitä uusia sääntöjä tai ohjeistuksia tulisi kehittää dronetoiminnan tueksi.

6 POHDINTA

Opinnäytetyön tavoitteena oli luoda toimeksiantajalle UAS-toiminnan käsikirja. Käsikirjan avulla dronelennättäjät voivat tarkistaa yrityksen ohjeistukset dronen lennättämiseen. Käsikirjassa tuodaan esille dronen lennättämiseen vaadittavat luvat, turvallisuustekijät ja työn tekninen toteutus.

Työssä syvennyttiin dronen lennättämiseen vaadittuihin lupakirjoihin ja sääntöihin. Dronen lennätys sähköasemaympäristössä vaatii tarkkaa suunnittelua, joten lennättämisen säännöt ja luvat olivat tärkeä osa-alue työssä. Oikein suunniteltu työ ja sääntöjen noudattaminen parantavat turvallisuutta ja antavat kunnossapitoon monipuolista tietoa.

Droneteknologia on verrattain uutta ja nopeasti kehittyvää, mikä vaikeutti osaltaan opinnäytetyön tiedonhakua. Suomenkielistä tutkimustietoa, artikkeleita ja käytännön kokemusta teknologian hyödyntämisestä on haastavaa löytää. Lisäksi voimassa olevat lait ja asetukset ottavat yleisesti kantaa dronejen lennättämiseen, eivätkä niinkään sillä toteutettaviin sähköalan tehtäviin, kuten kuvauksiin sähköasemaympäristössä.

Kaiken kaikkiaan dronet tarjoavat sähköasemien tarkastuksissa monipuolisia etuja, ja niiden käytön laajentaminen ennakoivassa kunnossapidossa voi parantaa sähköasemien toimivuutta, vähentää käyttökatkoja ja optimoida resursseja pitkällä aikavälillä. Tulevaisuudessa teknologian kehitys, erityisesti autonomisten dronejen käyttö ja tekoälyn käyttöönotto, avaa uusia mahdollisuuksia sähköasemien kunnossapitoon.

Käsikirjan luominen edisti myös omaa ammattitaitoani ja tietämystä laajasti dronejen käytöstä ja niiden hyödyistä. Uskonkin, että teknologian kehittyessä hurjalla vauhdilla käsikirjaa tullaankin päivittämään jatkuvasti. Lisäksi dronejen käyttöönoton myötä saadaan kentältä enemmän käyttäjäkokemuksia, joiden avulla käsikirjaa voidaan päivittää entistäkin käytännönläheisemmäksi.

LÄHTEET

Ahmad, I. 2023. Drone Sensors: Types and Uses. Mach34 Aerospace 2023. Viitattu 23.10.2024, <https://mach34aerospace.com/blogs/drone-sensors-types-and-uses>.

Balestrieri, E., Daponte, P., De Vito, L. & Lamonaca, F. 2021. Sensors and measurements for Unmanned Systems: An Overview. MDPI 2021. Viitattu 23.10.2024, <https://www.mdpi.com/1424-8220/21/4/1518>.

Capgemini 2021. Drones – the key to the future of predictive maintenance of powerline assets. Viitattu 26.10.2024, <https://www.capgemini.com/insights/expert-perspectives/drones-the-key-to-the-future-of-predictive-maintenance-of-powerline-assets/>.

DJI Enterprise 2024a. DJI Mavic 3 Enterprise. Viitattu 1.10.2024 <https://enterprise.dji.com/mavic-3-enterprise>.

DJI Enterprise 2024b. Drones for Energy Inspections. Viitattu 1.10.2024 <https://enterprise.dji.com/news/drones-for-energy-inspections>.

DJI Enterprise 2024c. Matrice 300 RTK - Industrial grade mapping inspection drones. Viitattu 1.10.2024 <https://enterprise.dji.com/matrice300rtk>.

Droneinfo 2024. Lennättäminen avoimessa kategoriassa. Viitattu 23.10.2024, <https://droneinfo.fi/fi/lennattaminen-avoimessa-kategoriassa>.

Energy Robotics 2023. Industrial Drone Inspection Transforms Industrial Operations. Viitattu 26.10.2024, <https://www.energy-robotics.com/post/how-industrial-drone-inspection-will-transform-the-future-of-efficient-operations>.

Erillisverkot 2021. Drone-laki parantaa ilmailuturvallisuutta. Viitattu 6.10.2024 <https://www.erillisverkot.fi/drone-laki>.

European Commission 2021. Report on the development of electricity grid services. Viitattu 20.09.2024, <https://ec.europa.eu/energy/sites/default/files/documents/2021-report-on-the-development-of-electricity-grid-services.pdf>.

European Union Aviation Safety Agency 2024. Operating a Drone. Viitattu 26.10.2024, <https://www.easa.europa.eu/en/domains/drones-air-mobility/operating-drone>.

Fintraffic 2024a. Fintraffic ohjeistaa: Näin lennätät dronea turvallisesti. Viitattu 6.10.2024, <https://www.fintraffic.fi/fi/ohjeet/drone>.

Fintraffic 2024b. Ilmatilarajoitukset ja ilmailutiedotteet (NOTAM). Viitattu 23.10.2024, <https://eservices.traficom.fi/ilmatilasovellus/>.

Flyk 2024. Flyk Dronekartta. Viitattu 1.10.2024, <https://flyk.com/map?drone&lang=fi>.

Knight, R. 2023. Trends: Drones Improving Inspections. Inside Unmanned Systems 2023. Viitattu 12.10.2024, <https://insideunmannedsystems.com/trends-drones-improving-inspections/>.

Lapiana, A. 2024. Drone technology in critical infrastructure inspections. Unmanned Systems Technology 2024. Viitattu 23.10.2024, <https://www.unmannedsystemstechnology.com/feature/using-drones-for-critical-infrastructure-inspection/>.

Maurice, M. 2023. Autonomous Inspection: Unmanned Aircraft Technology. Maintenance World 2024. Viitattu 12.10.2024, <https://maintenanceworld.com/2023/10/24/trade-offs-in-drone-technology-high-performance-vs-data-security/>.

McNabb, M. 2024. 5 Reasons Your Drone Needs RTK. Dronelife 2024. Viitattu 26.10.2024, <https://dronelife.com/2024/02/14/5-reasons-your-drone-needs-rtk-dronelife-exclusive-from-point-one/>.

Omexom 2024a. Sähköasemapalvelut. Viitattu 25.9.2024, <https://www.omexom.fi/yhtiomme/sahkoasemapalvelut/>.

Omexom 2024b. Yhtiömme – kestävät ratkaisut energiamurrokseen. Viitattu 25.9.2024, <https://www.omexom.fi/yhtiomme/>.

Shaikh, H. 2022. Drones in Power Utilities: Use Cases of Drone in Electric Transmission and Distribution. DroneServ 2022. Viitattu 23.10.2024, <https://drones-serv.com/2022/06/11/drones-in-power-utilities-use-cases-of-drones-in-electric-transmission-and-distribution/>.

Spires, J. 2021. Maximising Substation Resiliency Through Predictive Maintenance. Sphere Drones 2021. Viitattu 26.10.2024, <https://spheredrones.com.au/blogs/news/maximising-substation-resiliency-through-predictive-maintenance>.

The Utility Expo 2022. Drone Powerline inspection: What to consider and How to Choose the Best Drone. Viitattu 3.10.2024 <https://www.theutilityexpo.com/news/drone-powerline-inspection-what-to-consider-and-ho>.

Traficom 2019. EU Dronelaki. Viitattu 23.10.2024, https://www.traficom.fi/sites/default/files/media/file/Dronet_saadosinfo_Hohtari.pdf.

Traficom 2020. Uusi dronelaki voimaan vuodenvaihteessa. Viitattu 20.09.2024, <https://droneinfo.fi/fi/ajankohtaista/muutoksia-dronen-lennattamiseen-112024-alkaan>.

Traficom 2024a. Dronet ja niiden käyttö. Viitattu 20.09.2024, <https://www.traficom.fi/fi/ilmailu/dronet>.

Traficom 2024b. Ilmatilanrajoitukset ja dronelait. Viitattu 1.10.2024, <https://www.traficom.fi/fi/ilmatilarajoitukset-dronet>.

Traficom 2024c. Lennätäkö dronea? Huomioi vuodenvaihteen muutokset. Viitattu 23.10.2024, <https://traficom.fi/fi/ajankohtaista/lennatatko-dronea-huomioi-vuodenvaihteen-muutokset>.

UAV for Drone 2029. Powerline inspection by Drone UAV Thermal imaging Camera. Viitattu 26.10.2024, <https://www.uavfordrone.com/powerline-inspection-by-drone-uav-thermal-imaging-camera/>.

UAV Miami 2024. Drone Thermal Imaging and Thermographic scanning in Miami. Viitattu 26.10.2024, <https://www.uavmiami.com/drone-thermal-and-thermographic-scanning>.

Utility Analytics Institute 2023. Digitally Transform Grid Analytics with Drone Inspection and AI. Viitattu 26.10.2024, <https://utilityanalytics.com/2023/04/digitally-transform-grid-analytics-with-drone-inspection-and-ai/>.

Wylie, A. 2024. Partnership for remotely monitoring & automating substation inspections. Unmanned Systems Technology 2024. Viitattu 8.10.2024, <https://www.unmannedsystemstechnology.com/2024/03/partnership-for-remotely-monitoring-automating-substation-inspections/>.