SÄHKÖVERKKOJEN ÄLYKKÄÄN KUNNOSSAPIDON TILAUS-TOIMITUS-PROSESSIN KEHITTÄMINEN

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

Tuotantotalouden diplomityö

2024

Taneli Ristola

Tarkastajat: Dos. Petri Niemi

Prof. Janne Huiskonen

TIIVISTELMÄ

Lappeenrannan–Lahden teknillinen yliopisto LUT

LUT Teknis-luonnontieteellinen

Tuotantotalous

Taneli Ristola

Sähköverkkojen älykkään kunnossapidon tilaus-toimitusprosessin kehittäminen

Tuotantotalouden diplomityö

2024

91 sivua, 19 kuvaa, 4 taulukkoa ja 1 liite

Tarkastajat: Dos. Petri Niemi ja Prof. Janne Huiskonen

Avainsanat: kunnossapito, miehittämätön ilmailu, sähköverkko, tilaus-toimitusprosessi, UAS, UAV

Sähköverkkojen toimintavarmuus on kriittistä modernin yhteiskunnan toimivuuden kannalta. Uusien teknologioiden yleistyminen, sähköverkkojen rakenteelliset muutokset ja uudet vaatimukset sähköntoimitusvarmuudessa luovat kasvavaa tarvetta uusien yhä tehokkaampien keinojen löytymiselle sähkönjakeluverkon kunnossapitoon. Uudet teknologiat, kuten UAV-laitteet, mahdollistavat toimintatapojen muutoksen. Jotta uusia toimintatapoja voidaan kestävästi luoda, tulee niiden perustoimintojen, kuten prosessien olla kunnossa. Tehokkaasti toimivat prosessit luovat kestävän pohjan uuden liiketoiminnan rakentamiselle.

Tämän diplomityön tavoitteena on tutkia sähköverkkojen kunnossapitotarkastusten tilaus-toimitusprosessia, sen nykytilaa sekä kehittämiskohteita. Lisäksi työssä paneudutaan tarkemmin prosessin datankeräysvaiheen, eli operatiivisen toiminnan optimointiin. Työn tarkoituksena on selvittää kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessin nykytilan pohjalta prosessin kehittämiskohteita, sekä antaa kehitysehdotuksia prosessin tehokkuuden lisäämiseksi. Lisäksi työn tarkoituksena on selvittää, miten tilaus-toimitusprosessiin kuuluvaa operatiivista maastotoimintaa voidaan kehittää.

Tutkimustuloksista selviää, että yrityksen tilaus-toimitusprosessissa on kehitettävää, eikä sitä tällä hetkellä mitata tehokkaasti. Kohdeyritykselle ei ole määritelty mittareita, joiden avulla se voisi seurata toimintansa onnistumista. Kohdeyrityksen toiminnan luonteen takia erityisesti ei-rahallisten mittareiden määrittely helpottaisi toiminnan tarkkailua. Lisäksi tuloksista voidaan todeta, että toimintamallien muutoksilla sekä kalustohankinnoilla voidaan tehostaa huomattavasti operatiivista maastotoimintaa.

ABSTRACT

Lappeenranta–Lahti University of Technology LUT

School of Engineering Science

Industrial Engineering and Management

Taneli Ristola

Developing the order-delivery process in smart maintenance for powerlines

Master's thesis

2024

91 pages, 19 figures, 4 tables and 1 appendix

Examiners: Dos. Petri Niemi and Prof. Janne Huiskonen

Keywords: maintenance, powerline, order-to-delivery process, UAV, UAS, unmanned aviation

The reliability of electrical networks is critical for the functionality of a modern society. The proliferation of new technologies, structural changes in electrical grids, and new requirements for electricity supply reliability create a growing need for finding increasingly efficient methods for the maintenance of the power distribution network. In order to sustainably develop new practices, the fundamental functions, such as processes, must be in good shape. Efficiently functioning processes provide a solid foundation for building new business.

The objective of this thesis is to examine the order-to-delivery process of the target company, its current state, and areas for improvement. Additionally, the thesis delves into the data collection phase of the process, namely the optimization of operational activities. The purpose of the study is to identify areas for improvement in the order-to-delivery process based on the current state of the target company's process and provide suggestions for enhancing its efficiency. Furthermore, the aim is to explore how operational field activities within the order-to-delivery process can be improved.

The research results indicate that there is room for improvement in the target company's order-to-delivery process as it is currently not effectively measured. The target company lacks defined metrics to monitor the success of its operations. Due to the nature of the company's activities, particularly defining non-monetary metrics would facilitate monitoring. Additionally, the results show that operational field activities can be executed more efficiently, both with the current equipment and by investing in new equipment.

ALKUSANAT

Tämä työ tuo päätökseen reilun viisivuotisen opiskeluni LUT-yliopistossa. Opiskeluvuosien saatossa olen oppinut paljon, saanut ystäviä sekä sisäistänyt teekkarikulttuurin salat. Opintoaikani yliopistossa on ollut elämäni parasta, vaikka opinnot ovat aika ajoin vaatineetkin paljon. Tahdon kiittää kaikkia, jotka ovat olleet tukena opintojeni ajan. Kiitos erityisesti opiskelukavereilleni, joita ilman opiskeluvuodet yliopistossa eivät olisi olleet kaikkea sitä, mitä sain kokea.

Haluan kiittää Petri Niemeä työn tarkastamisesta, tärkeiden neuvojen antamisesta sekä ohjaamisesta kohti valmista työtä. Lisäksi haluan kiittää kohdeyritystä haastavan, mutta antoisan ja opettavaisen työn teettämisestä.

Tärkeimpänä kuitenkin haluan kiittää läheisiäni ja perhettäni, jotka ovat tukeneet minua tämän diplomityön ja koko opintojeni ajan.

Virolahdella 01.02.2024

Taneli Ristola

LYHENNELUETTELO

Lyhenteet

BVLOS	Näköyhteyden ulkopuolella toteutettu lento (Beyond Visual Line of Sight)
CRM	Asiakkuudenhallinta (Customer Relationship Management)
htp	Henkilötyöpäivä
htt	Henkilötyötunti
IoT	Esineiden internet (Internet of Things)
KAH	Keskeytyksestä aiheutunut haitta
KJ	Keskijännite
MTOW	Suurin lentoonlähtöpaino (Maximum Take-Off Weight)
NPS	Suositteluindeksi (Net Promoter Score)
PJ	Pienjännite
SCM	Toimitusketjun hallinta (Supply Chain Management)
SJ	Suurjännite
UAS	Miehittämätön ilma-alus järjestelmä (Unmanned Aerial System)
UAV	Miehittämätön ilma-alus (Unmanned Aerial Vechile)
VLOS	Näköyhteydellä toteutettu lento (Visual Line of Sight)
VTOL	Pystysuuntainen nousu ja lasku (Vertical Take-Off and Landing)

Sisällysluettelo

Tiivistelmä

Abstract

Alkusanat

Lyhenneluettelo

1 Johdanto ... 11
1.1 Tutkimuksen tausta ... 12
1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset ... 12
1.3 Tutkimusmenetelmät ja aiheen rajaus ... 13
1.3.1 Haastattelututkimus ... 14
1.3.2 Tutkimuksen vaikutus toimialaan ... 14
1.4 Tutkimuksen rakenne ... 15
2 Tilaus-toimitusprosessi ja sen analysointi ... 17
2.1 Tilaus-toimitusprosessin määritelmä ... 17
2.2 Suorituskyvyn mittaaminen tilaus- toimitusprosessissa ... 19
2.2.1 Kustannusten mittaaminen ... 21
2.2.2 Ajan mittaaminen ... 22
2.2.3 Laadun mittaaminen ... 22
2.2.4 Joustavuuden mittaaminen ... 24
3 Sähköverkko ... 26
3.1 Sähköverkon rakenne ... 26
3.2 Jakeluverkon lainsäädäntö ja normit ... 28
3.2.1 Sähkömarkkinalaki ... 28
3.2.2 Sähköturvallisuuslaki ... 29
3.3 Viranomaisvalvonta ... 30
3.4 Kunnossapito ... 30
3.4.1 Korjaava kunnossapito ... 31
3.4.2 Ehkäisevä kunnossapito ... 32
4 Miehittämätön ilmailu ... 34
4.1 Miehittämättömät ilma-alukset ja ilma-alus järjestelmät ... 34

4.2 Eri alustyypit ... 35
4.2.1 Kiinteäsiipiset ... 35
4.2.2 Multiroottoriset ... 36
4.2.3 Fixed-Wing Hybrid ... 37
4.2.4 Yksiroottoriset ... 38
4.3 Lainsäädäntö ja asetukset ... 40
4.3.1 EU:n lainsäädäntö ... 40
4.3.2 Ilmailulaki ... 41
4.3.3 Ilmatilan käyttö ... 41
4.3.4 Aluksen ja käyttäjän rekisteröityminen ... 42
4.4 Miehittämätön ilmailu sähköverkkojen kunnossapidossa ... 42
5 Toimintaympäristön esittely ... 44
5.1 Kohdeyrityksen esittely ... 44
5.2 Älykkään kunnossapidon ekosysteemi ... 45
5.3 Yrityksen organisaatiorakenne ... 46
5.4 Toimintaympäristön haasteet ... 48
5.5 Yrityksen tavoite ... 48
6 Tilaus-toimitusprosessin nykytila ja kehitysehdotukset ... 51
6.1 Prosessin rakenne ... 51
6.2 Myyntiprosessi ... 52
6.3 Datan keräys ja analysointi ... 54
6.4 Tuotteen toimitus ... 54
6.5 Tilaus-toimitusprosessin mittareiden toteutuminen ... 55
6.5.1 Kustannukset ... 55
6.5.2 Aika ... 55
6.5.3 Laatu ... 56
6.5.4 Joustavuus ... 57
6.6 Kehitysehdotukset ... 57
6.6.1 Mittariston valinta ... 57
7 Operatiivisen toiminnan nykytila ja toimenpide-ehdotukset ... 59
7.1 Kunnossapidettävät kohteet ... 59
7.2 Nykyiset toimintamallit ja laitteistot ... 60
7.2.1 Reittisuunnittelu ... 60

7.2.2 Kenttätoiminta ... 61
7.3 Havaitut tehostamistarpeet ... 63
7.3.1 Haastattelututkimus ... 63
7.3.2 Reittisuunnittelu ... 65
7.3.3 Lennätystoiminta ... 66
7.3.4 Laitteistohankinnat ... 66
7.4 Toimintaehdotukset nykykalustolla ... 67
7.4.1 Toimintaehdotus 1 ... 68
7.4.2 Toimintaehdotus 2 ... 69
7.4.3 Toimintaehdotus 3 ... 70
7.4.4 Toimintaehdotusten vertailu ... 71
7.5 Toimintaehdotukset uudella kalustolla ... 72
7.5.1 Edestakainen lennätys yhdellä sensorilla ... 73
7.5.2 Edestakainen lennätys kahdella sensorilla ... 75
7.5.3 Yhteen suuntaan eteneminen ... 76
7.6 Toimintamallien vertailu ... 78
8 Tulokset ja jatkotutkimuskohteet ... 80
8.1 Tilaus-toimitusprosessin tulosten arviointi ... 80
8.2 Operatiivisen toiminnan tulosten arviointi ... 81
9 Yhteenveto ... 83
Lähteet ... 84

Liitteet

Liite 1. Haastattelututkimuksen suostumus ja tiedonanto lomake

Kuvaluettelo

Kuva 1: Diplomityön rakenne input-output kaaviona

Kuva 2: Kahden yrityksen välinen tilaus-toimitusprosessi

Kuva 3: Mittareiden jaotteluesimerkki rahallisiin ja ei-rahallisiin sekä sisäisiin ja ulkoisiin mittareihin

Kuva 4: Sähköverkko havainnollistettuna

Kuva 5: Kunnossapitolajit

Kuva 6: Kiinteäsiipinen liidokki

Kuva 7: Multiroottoridrone

Kuva 8: VTOL hybridi kohdeyrityksen testeissä

Kuva 9: Yksiroottorinen drone

Kuva 10: Kohdeyrityksen ekosysteemi pelkistettynä kuvana

Kuva 11: Yrityksen organisaatiokaavio

Kuva 12: Vertailu kilpailevien palveluiden ja kohdeyrityksen välillä

Kuva 13: Kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessi

Kuva 14: Kohdeyrityksen myyntiprosessi

Kuva 15: Perustoimintamalli havainnollistettuna

Kuva 16: Toimintaehdotus 1 havainnollistettuna

Kuva 17: Toimintaehdotus 2 havainnollistettuna

Kuva 18: Toimintaehdotus 3 havainnollistettuna

Kuva 19: Etenevä toimintamalli havainnollistettuna

Taulukkoluettelo

Taulukko 1: Erilaisten UAV- mallien vertailu

Taulukko 2: Toimintaehdotusten yhteenveto

Taulukko 3: Toimintamallien kokonaisvertailu nykyisellä ja uudella kalustolla

Taulukko 4: Toimintamallien tehokkuusvertailu

1 Johdanto

Modernin yhteiskuntamme perusedellytys on sähköverkkojen varma toiminta sekä teknologian jatkuva kehittyminen. Sähköverkot toimivat infrastruktuurina, joka mahdollistaa sähkön siirtymisen kuluttajille, kuten kotitalouksiin, yrityksiin sekä teollisuuteen. Teknologian kehittyminen avaa samalla uusia mahdollisuuksia muokata yhteiskunnan toimivuutta entistä tehokkaammaksi ja luotettavammaksi.

Energia-alan murros, joka johtuu kasvihuonepäästöjen tavoitteellisesta vähentämisestä ja sähkönkulutuksen kasvusta, lisää koko ajan uusiutuvien energiamuotojen osuutta sähköntuotannossa. Tämä puolestaan lisää haasteita erityisesti sähköverkoissa, kun kuormitus sähkönjakeluverkoissa kasvaa. Ennen kuluttajat ovat toimineet pelkästään asiakkaina, mutta nykyään he voivat toimia myös sähköntuottajina muun muassa aurinkopaneelien avulla. Lisäksi suuri osa Suomen sähköverkoista on vanhaa ilmajohtoverkkoa, joka vaatii kunnossapitoa ja säännöllistä kunnonvalvontaa. Siksi näiden sähköverkkojen kunnossapito on kriittisessä osassa yhteiskunnan toimivuuden takaamisessa.

Teknologian kehitys on avannut uusia mahdollisuuksia kunnossapidon toteuttamiselle ja uusia tapoja toteuttaa yhä tehokkaampaa kunnossapitoa kehitetään koko ajan. IoT (Internet of Things) -teknologiat ja älykkäät mittausjärjestelmät mahdollistavat yhä tarkemmat seurannat sähköverkkojen tilasta. Erilaiset etäohjausjärjestelmät auttavat vikojen rajaamisessa, mutta kaikkea ei voida mitata etänä. Sähköverkoissa on paljon vikoja, joiden paikantaminen vaatii yhä liikkumista verkkojen läheisyydessä. Esimerkiksi kasvillisuuden aiheuttamat riskit ja pylväiden lahoamiset ovat vikoja, joita ei voida ennaltaehkäisevästi mitata IoT- teknologialla, ainakaan vielä. Tällaiset riskit ja viat luovat tarpeen tarkastusmetodeille, jotka mahdollistavat sähköverkon tilan seurannan esimerkiksi erilaisilla kuvaussensoreilla kerätystä datasta. Sähköverkkojen tarkastaminen on lakisääteinen tehtävä, joka tulee suorittaa määräajoin. Tämän takia kustannustehokkaampien keinojen kehittäminen kunnossapitotyölle kasvattaa yritysten toiminnan tehokkuutta sekä sähkönjakelun toimitusvarmuutta.

1.1 Tutkimuksen tausta

Tämä diplomityö on tehty energiateollisuudessa toimivalle älykkään kunnossapidon yritykselle. Kohdeyritys on perustettu vuonna 2021 ja se on osa energia-alan emoyhtiön laajempaa konsernia. Kyseessä on konsernin sisäinen spin-off yritys, joka saa emoyhtiöltä sekä konsernilta tukea, kuten rahoitusta toiminnan kehittämiseen sekä liiketoiminnan rakentamiseen. Yrityksen tarkkoja taloustietoja ei ole oleellista käsitellä, sillä yrityksen alkuvaiheen tavoitteena on kasvattaa ekosysteemiään uutena toimijana alan markkinoilla.

Kohdeyrityksen päätoimiala on sähköverkkojen älykäs kunnossapito. Yritys tuottaa kunnossapidon palveluita sähköverkkoyhtiöille sekä aurinkopuistoille. Lisäksi se kartoittaa aktiivisesti mahdollisuuksiaan laajentua muille toimialoille.

Tilaus-toimitusprosessi on tärkeä osa liiketoimintaa, eikä sen kehittämiseen olla kiinnitetty kohdeyrityksen pystytysvaiheessa riittävän systemaattisesti huomiota. Kohdeyritys haluaa analysoida nykyistä tilaus-toimitusprosessiaan myynnistä tuotteen toimitukseen asti ja tunnistaa siinä kehityskohteita. Tällä hetkellä yrityksessä ei olla mallinnettu prosesseja eikä määritelty mittareita toiminnan seuraamiselle. Toiminnan tehostaminen on olennaisessa roolissa, kun yritys tavoittelee tehokkaampaa toimintaa sekä laadun että kustannusten näkökulmasta.

1.2 Tutkimuksen tavoite ja tutkimuskysymykset

Tämän työn tarkoituksena on selvittää kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessin nykytilan pohjalta prosessin kehittämiskohteita, sekä esitellä vaihtoehtoisia toimintamalleja ja vertailla niitä. Lisäksi työn tarkoituksena on selvittää, miten tilaus-toimitusprosessiin kuuluvaa operatiivista maastotoimintaa voidaan kehittää. Tutkimuksessa kiinnitetään erityisesti huomiota prosessin maastotoiminnan toteutustapoihin.

Työssä etsitään vastauksia seuraaviin tutkimuskysymyksiin:

1. Millainen kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessi on tällä hetkellä?
2. Mitä selkeitä kehityskohteita tilaus-toimitusprosessissa on?
3. Miten operatiivista kenttätoimintaa voidaan tehostaa?

Tutkimuskysymyksiin etsitään vastauksia järjestyksessä, aloittaen ensimmäisestä kysymyksestä.

1.3 Tutkimusmenetelmät ja aiheen rajaus

Tutkimuksen teorian lähteinä käytetään pääasiassa digitaalisessa muodossa olevaa aineistoa, kuten vertaisarvioituja tieteellisiä tutkimuksia, julkaisuja sekä kirjoja. Kohdeyrityksen prosessien sekä operatiivisen toiminnan nykytilojen analysoimiseksi työssä käytetään yrityksestä kerättyä aineistoa. Tässä laadullisessa tutkimuksessa käytetty aineisto koostuu työn yhteydessä suoritetuista havainnoista toimintamalleissa, haastatteluista, keskusteluista sekä yrityksen sisäisistä dokumenteista. Käytettyjä sisäisiä dokumentteja ovat muun muassa toimintaluvat sekä prosessikuvaukset. Nykytilaa analysoidaan vertaamalla kerättyä aineistoa esiteltyyn aihealueen teoriaan. Lisäksi tutkimuksessa toteutetaan puolistrukturoitu teemahaastattelu. Näiden vertailujen ja kerättyjen havaintojen pohjalta muodostetaan kehitysehdotuksia kohdeyritykselle. Tutkimus toteutetaan työsopimuksen aikana.

Tutkimus on rajattu käsittelemään kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessia vain yhden liiketoiminnon osalta. Valittu liiketoiminto on sähköverkojen kunnossapitotarkastukset, jossa tuotteina ovat kasvillisuusanalyysi sekä vika-analyysi. Valittu liiketoiminto on yrityksen liikevaihdon kannalta tärkein tällä hetkellä. Tilaus-toimitusprosessit ovat muissakin liiketoiminnoissa hyvin samanlaiset, joten saatuja johtopäätöksiä voidaan soveltaa mahdollisesti muihinkin liiketoimintoihin. Liiketoiminnon tilaus-toimitusprosessin haasteena ovat erityisesti puuttuvat mittarit sekä resurssien saatavuus. Lennätystoiminnan käytännön toteutus eroaa hieman kunnossapitotarkastuksissa ja vianpaikannuksessa, joten operatiivisen toiminnan parannusehdotuksia ei voi suoraan soveltaa muihin liiketoimintoihin.

1.3.1 Haastattelututkimus

Toteutettavat haastattelut ovat puolistrukturoituja teemahaastatteluja, joiden aihe on operatiivisen droneilla toteutettavan maastotoiminnan tehokkuus sähköverkkojen kunnossapitotarkastuksissa. Haastattelujen tarkoituksena on kartoittaa käytössä olevien toimintamallien hyötyjä ja heikkouksia, sekä mistä mahdolliset heikkoudet johtuvat.

Haastattelujoukko koostuu organisaation eri yksiköistä valikoiduista yhdestätoista (11) henkilöstä, jotka ovat olleet työroolinsa puolesta mukana joko kehittämässä käytössä olevia toimintamalleja, tai toimintamallien käyttäjinä. Haastatteluissa kerätään sähköverkkojen kunnossapidon ammattilaisten kokemuksia käytössä olevien toimintamallien toimivuudesta.

Haastattelut toteutetaan etähaastatteluina Teams – alustan välityksellä. Kaikki haastateltavat saavat tutkimuksen kokouskutsun lisäksi suostumuslomakkeen sekä tarkemman kuvauksen suoritettavasta tutkimuksesta ennen haastattelujen aloitusta. Haastatteluiden kesto on noin tunnin per henkilö ja haastattelut nauhoitetaan sekä kirjoitetaan auki tekstimuotoon myöhempää analysointia varten. Kun analysointi on suoritettu, kaikki audiohaastattelut poistetaan.

Tutkimuksessa kerättyjä henkilötietoja käsitellään ja säilytetään tietosuojalain, Euroopan parlamentin ja neuvoston asetuksen (EU) 2016/679 (yleinen tietosuoja-asetus) ohjeistusten mukaisesti sekä kohdeyrityksen ISO 27001 tietoturvasertifikaatin viitekehyksen mukaisesti. Kerätyt henkilötiedot eivät ole sensitiivisiä: tutkimuksessa kerätään haastateltavien nimi, sähköposti sekä asema/työtehtävä organisaatiossa. Tutkimusaineistoa pääsee käsittelemään ainoastaan tutkimuksen tekijä.

1.3.2 Tutkimuksen vaikutus toimialaan

Tutkimuksella on merkittävä vaikutus kohdeyrityksen toiminnan kehittämiseen sekä tehostamiseen. Tutkimuksen avulla yritys saa selville toimintansa heikkouksia sekä kohteita, joita sen tulisi kehittää. Käytännössä tutkimus antaa kohdeyritykselle kehitysehdotuksia toimintansa kehittämiseen sekä tehostamiseen, joka voi johtaa resurssien tehokkaampaan käyttöön.

Sähköverkkojen kunnossapidon toimiala on tiukasti säännelty, ja vanhat käytännöt ovat vahvasti juurtuneet osaksi toimintaa. Tutkimus avaa uusia näkökulmia toiminnan tehokkuuteen,

mahdollisuuksiin ja lisäarvoon, joita innovatiiviset toimintamallit voivat tuoda. Näin tutkimus voi tukea uusien toimintatapojen käyttöönottoa toimialalla. Miehittämättömän ilmailun laajempi hyödyntäminen sähköverkkojen kunnossapidossa edesauttaa muutoksessa kohti tehokkaampaa ja ympäristöystävällisempää toimintaa. Lisäksi tutkimus tarjoaa aineistoa Suomen sähköverkkojen kunnossapidolle ja sitä voidaan hyödyntää laajemmassa mittakaavassa esimerkiksi Pohjoismaissa ja EU:ssa toimialan muuttuessa yhä kestävämmäksi.

1.4 Tutkimuksen rakenne

Tutkimus koostuu kahdesta kokonaisuudesta, kirjallisuuteen perustuvasta teoriaosuudesta ja teoriaan tukeutuvasta kohdeyritykseen sovelletusta empiirisestä osasta. Työn rakenne on havainnollistettu input-output kaaviona kuvassa 1. Teoriaosuus käsittelee tilaus-toimitusprosessin teoriaa sekä työn aihealueeseen liittyviä olennaisia teorioita sähköverkoista ja miehittämättömästä ilmailusta. Tilaus-toimitusprosessin teoriassa on pyritty keskittymään prosessin analysoinnin mittareihin.

Työn empiiriseen osioon aineistoa on hankittu kohdeyrityksen avainhenkilöiltä, tarkastelemalla yrityksen sisäisiä tietokantoja sekä raportteja sekä tekemällä testejä kenttätoiminnan kehittämiseksi. Tietojen pohjalta on mallinnettu yrityksen tilaus-toimitusprosessi, löydetty ongelmakohtia sekä analysoitu niitä. Analyysien jälkeen kehittämiskohteille on luotu kehitysehdotuksia työn tavoitteiden mukaisesti.

Input Lähtötiedot diplomityön aiheesta sekä kohdeyrityksestä	**Luku 1: Johdanto** Tutkimuksen taustan ja aiheen esittely	**Output** Tutkimuksen tausta, tavoitteet, menetelmät ja rakenne
Input Tilaus-toimitusprosessin teoria	**Luku 2: Tilaus-toimitusprosessi ja sen analysointi** Aihealueen teorian esittely	**Output** Tilaus-toimitusprosessin piirteet sekä sen toimivuuden mittaus

Input Sähköverkkoliiketoiminnan teoria	**Luku 3: Sähköverkko** Aihealueen teorian esittely	**Output** Liiketoiminnalle keskeisten ominaisuuksien ymmärtäminen
Input Miehittämättömän ilmailun teoria	**Luku 4: Miehittämätön ilmailu** Aihealueen teorian esittely	**Output** Liiketoiminnalle keskeisten ominaisuuksien ymmärtäminen
Input Tutkimuksen toimintaympäristön erikoispiirteet	**Luku 5: Toimintaympäristön esittely** Ekosysteemin ja toiminnan haasteiden esittely	**Output** Toimintaympäristön erikoispiirteiden hahmottaminen
Input Yrityksen toimintamallit ja sisäiset dokumentit	**Luku 6: Tilaus-toimitusprosessin nykytila ja kehitysehdotukset** Verrataan toimintaa teoriaan	**Output** Havainnoidaan yrityksen nykytilaa ja luodaan kehitysehdotuksia
Input Maastotoiminnan toimintatavat, haastattelut ja testit	**Luku 7: Operatiivisen toiminnan nykytila ja toimenpide-ehdotukset** Arvioidaan toiminnan tehokkuutta	**Output** Toimenpide-ehdotuksia maastotoiminnan tehokkuuden lisäämiseen
Input Tutkimuksessa hankittu ymmärrys mittareista sekä maastotoiminnasta	**Luku 8: Tulokset ja jatkotutkimuskohteet** Käsitellään tuloksia ja etsitään jatkotutkimuskohteita	**Output** Vastaukset tutkimuskysymyksiin, tutkimuksen rajallisuus sekä jatkotutkimuskohteet
Input Työn tausta, tavoitteet, menetelmät, työn tulokset sekä johtopäätökset	**Luku 9: Yhteenveto** Tehdään yhteenveto tehdystä tutkimuksesta	**Output** Kokonaisvaltainen kuvaus tehdystä tutkimuksesta

Kuva 1. Diplomityön rakenne input-output kaaviona.

2 Tilaus-toimitusprosessi ja sen analysointi

Tilaus-toimitusprosessi on tärkeä osa yrityksen toimintaa, ja prosessin toimivuus sekä tehokkuus on keskeisessä osassa tarkasteltaessa yrityksen menestymistä. Prosessi on avainasemassa, kun tavoitellaan korkeaa asiakastyytyväisyyttä sekä arvoa omistajille. Hyvin hallittu tilaus-toimitusprosessi alentaa kustannuksia sekä parantaa yrityksen kilpailukykyä, kun se kykenee tarjoamaan asiakkailleen tuotteita sekä palveluita edullisemmin ja nopeammin kuin kilpailijat.

2.1 Tilaus-toimitusprosessin määritelmä

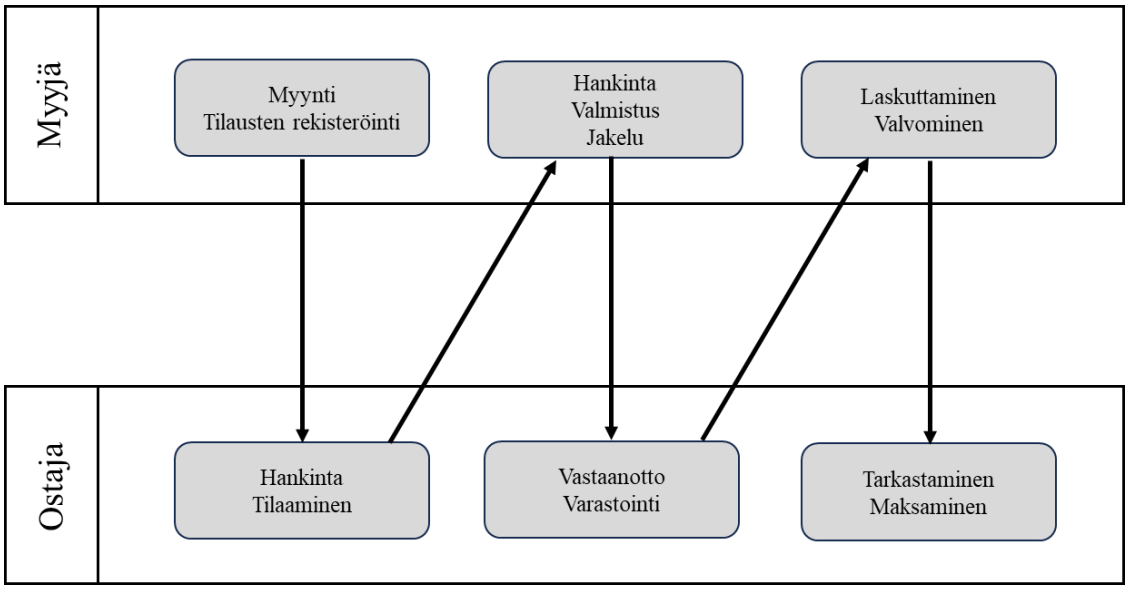
Tilaus-toimitusprosessilla tarkoitetaan prosessia, joka alkaa, kun asiakas tilaa tuotteen tai palvelun ja joka päättyy, kun asiakas vastaanottaa tilauksensa. Tilaus-toimitusprosessi on siis koko ketjun materiaali- ja tietovirtojen hallintaa. Tämä ketju pitää sisällään loppuasiakkaan, jälleenmyyjät, tuotteen valmistuksen ja varastoinnin, jakelun sekä alihankkijat. Tällainen prosessi on hyvin tyypillinen valmistavalle yritykselle, esimerkiksi teollisuuden alalla. Yleisesti voidaan olettaa, että tilaus-toimitusprosessi pitää sisällään kaikki vaiheet tilauksen ja laskutuksen välillä. (Sakki 2009)

Vaikka tilaus-toimitusprosessien rakenne on yrityskohtainen, voidaan jokaisesta prosesseista tunnistaa tiettyjä toistuvia piirteitä ja työvaiheita. Sakki (1999) määrittelee perinteisen tilaus-toimitusprosessin vaiheet seuraavasti:

- Kysely/tarjous: Tilausimpulssi, joka tulee joko suoraan asiakkaalta tai valmistavalta yritykseltä myynnin muodossa
- Tilaaminen: Perinteisesti ostajan toimesta, mutta tietyissä tapauksissa myös myyjä voi oma-aloitteisesti seurata käyttöpaikkojen tarvetta
- Tilauksen vastaanotto: Myyvä yritys vastaanottaa tilauksen ja siirtää sen asiakkuudenhallintajärjestelmään (CRM, Customer Relationship Management)
- Lähettäminen: Tuote pakataan ja se siirretään kuljetukseen

- Vastaanottaminen: Ostava yritys vastaanottaa ja tarkastaa tavaran
- Laskuttaminen: Lasku lähetetään ostajalle
- Laskujen käsittely: Ostava yritys vertaa laskua tilaukseen ja rekisteröi laskun
- Maksaminen: Lasku maksetaan

Kuvassa 2 on havainnollistettu kahden yrityksen välisen tilaus-toimitusprosessin tehtävät ostajalle ja myyjälle. Tilaus-toimitusprosessi voidaan nähdä näin yrityksien välisenä vuorotteluna eri toimintojen välillä. Tässä työssä kuitenkin keskitytään siihen, miten myyvä yritys voi kehittää tilaus-toimitusprosessiaan tehokkaammaksi.



Kuva 2. Kahden yrityksen välinen tilaus-toimitusprosessi (mukaillen Sakki 1999).

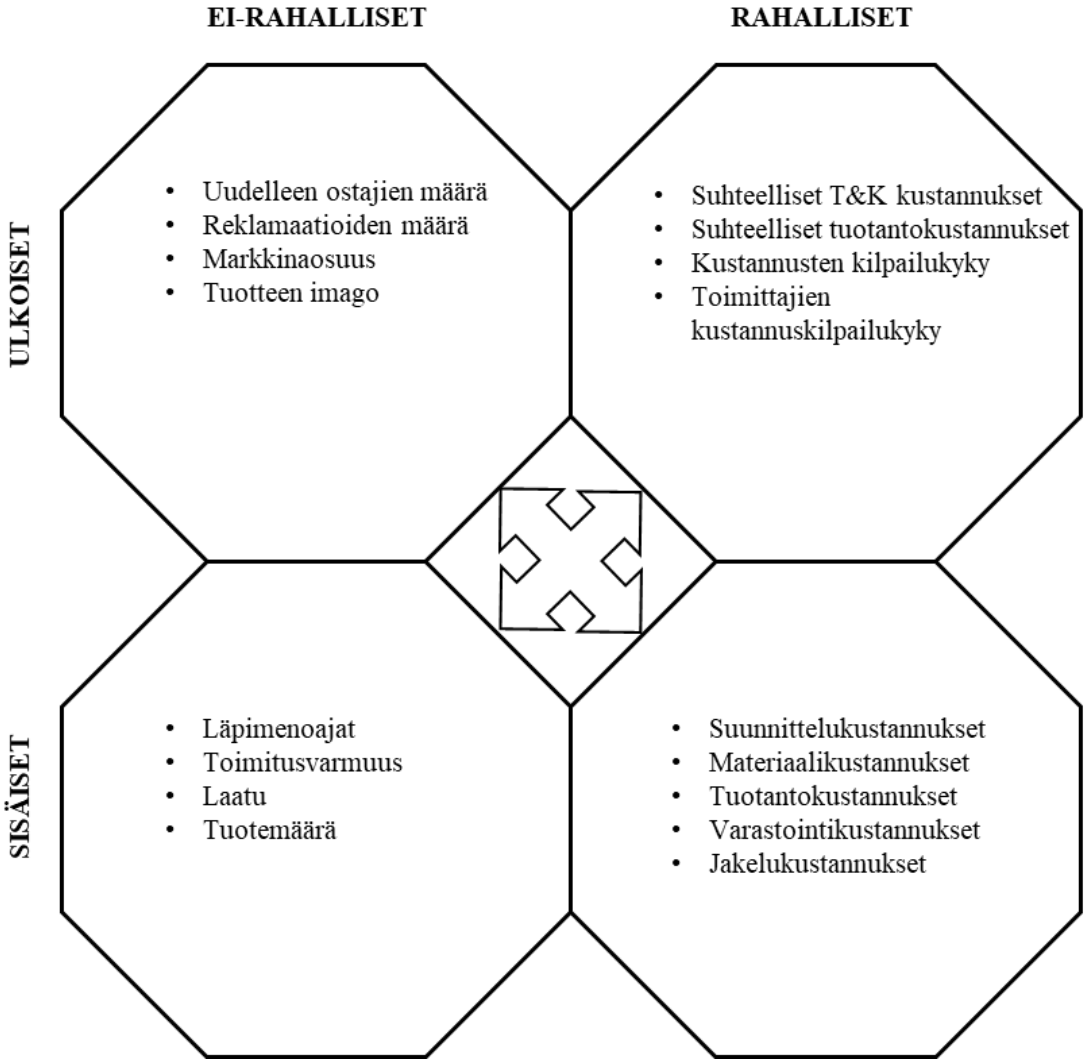
Tilaus-toimitusprosessi sekoitetaan usein toimitusketjuun, vaikka ne eivät tarkoita samaa asiaa. Toimitusketjulle on useita eri määritelmiä, eikä sille ole vakiintunut käsitteenä vain yhtä tiettyä määritelmää. Yksinkertaistettuna sillä tarkoitetaan joukkoa prosesseja ja toimintoja sekä yrityksiä, jotka vaaditaan tuotteen tai palvelun toimittamiseksi asiakkaalle. Yksi näistä prosesseista on tilaus- toimitusprosessi. Toimitusketjuista voidaan kuulla käytettävän lyhennettä SCM (Supply Chain Management). Suora käännös tarkoittaa toimitusketjujen

hallintaa. Termi on esitelty konsulttien toimesta 1980- luvun alkupuolella. (Lambert 2008) Handfield & Nichols (2002) määrittelevät termin seuraavasti: ” Toimitusketju kattaa kaikki organisaatiot ja toiminnot, jotka liittyvät tuotteiden liikkumiseen ja muuttumiseen raaka-aineista loppukäyttäjän käyttöön sekä pitää sisällään myös kaiken tarvittavan tiedon liikkumisen prosessin toimimiseksi. Materiaalit sekä tieto virtaavat molempiin suuntiin toimitusketjussa. SCM on toimitusketjuun osallistuvien organisaatioiden ja toimintojen hallintaa sekä integrointia organisaatiosuhteiden, tehokkaiden liiketoimintaprosessien sekä informaatiojaon kautta muodostettavia arvojärjestelmiä, jotka luovat jäsenorganisaatioille kestävää kilpailukykyistä etua.” Puolestaan Christopher (2005) määrittelee termin seuraavasti: ” Alku- ja loppupään suhteiden hallinta toimittajien ja asiakkaiden kanssa tuottaakseen ylivoimaista arvoa asiakkaille pienemmillä kuluilla koko toimitusketjussa.” Nämä määrittelyt toimitusketjun hallinnalle keskittyvät suhteiden hallinnan avulla saavutettaviin etuihin kaikille toimitusketjun jäsenille.

2.2 Suorituskyvyn mittaaminen tilaus- toimitusprosessissa

Suorituskyvyllä tarkoitetaan jonkin tarkasteltava asian, kuten yrityksen, tai koko ekosysteemin kykyä tuottaa tulosta tietyillä panostuksilla ottaen huomioon tavoitteet, jotka on asetettu (Laitinen 1998). Kuten monilla käsitteillä, on suorituskyvyllekin olemassa erilaisia määritelmiä, riippuen käytetystä kirjallisuudesta sekä näkökulmasta. Tässä tutkimuksessa suorituskyvyn käsite myötäilee Lönnqvist, Kujansivu & Antikainen (2006) määrittelyä, jonka mukaan tarkasteltaville kohteille valitaan mittari tai mittarit, joiden kykyä saavuttaa asetetut tavoitteet tarkastellaan ja seurataan. Suorituskyvyn mittaamiseen voidaan käyttää useita eri mittareita riippuen kriteereistä mitattavaan kohteeseen.

Mittari on tunnusluku, jolla pyritään selvittämään jonkin liiketoiminnallisen tekijän toiminnallisuus. Tunnusluku voi olla absoluuttinen, kuten liikevaihto euroina tai suhteellinen, kuten toimitusvarmuus prosentteina. (Saari 2004, s.83.) Mittarit voidaan jakaa rahallisiin ja eirahallisiin mittareihin, sekä ulkoisiin ja sisäisiin mittareihin (Kuva 3) (Keegan, Eiler & Joines 1989). Tässä työssä keskitytään tilaus-toimitusprosessin sisäisiin mittareihin.



Kuva 3. Mittareiden jaotteluesimerkki rahallisiin ja ei-rahallisiin sekä sisäisiin ja ulkoisiin mittareihin (mukaillen Keegan et al. 1989).

Tilaus- toimitusprosessin suorituskyvyn mittaamisen perustana voidaan usein pitää kahta tunnuslukua, toimitusvarmuutta sekä läpimenoaikaa. Läpimenoaika on se aika, joka kuluu tilauksen vastaanottamisesta tuotteen luovuttamiseen asiakkaalle. Toimitusvarmuus taas kuvaa, kuinka suuri prosenttiosuus tuotteista on toimitettu luvatussa toimitusajassa. (Forslund, Jonsson & Mattsson 2009). Elrod, Murray & Bande (2013) puolestaan määrittelevät suorituskyvyn mittarit seuraavasti: kustannukset, aika, laatu sekä joustavuus. Jälkimmäisessä määrittelyssä aika on hyvin laaja käsite, joka pitää sisällään Forslundin et al. (2009) määrittämät tunnusluvut.

Mittaaminen on turhaa, mikäli valitut mittarit eivät palvele yrityksen toivottua tulevaisuudentilaa. Mittariston tarkoituksena on tuottaa hyödyllistä informaatiota halutuista kohteista, jota voidaan käyttää päätöksenteon tukena. (Rantanen & Holtari 1999) Mittareiden tulee olla selkeitä ja selittää tarkasti ja yksinkertaisesti mitä mitataan ja mittauksella halutaan selvittää. Mittareiden tulee myös olla vertailukelpoisia, jolloin lähtö – ja tavoitetasoja voidaan verrata keskenään. (Anand & Grover 2015)

2.2.1 Kustannusten mittaaminen

Tilaus-toimitusprosessin kustannukset korreloivat suoraan tuotteiden ja palveluiden katteisiin vaikuttaen samalla yrityksen tulokseen (Elrod et al. 2013, s.39–50). Tämän takia kustannusten mittaaminen on usein ensimmäinen mitattava mittari. Kustannuksia muodostuu koko prosessin ajalta aina myynnistä tiedonhallintaan.

Normaalisti kustannuslaskennassa kustannukset jaetaan välittömiin sekä välillisiin kustannuksiin, mutta tämä jaottelu jättää usein huomioimatta tilaus-toimitusprosessin kustannukset. (Goldbach 2002) Perinteisesti siinä kustannuksia muodostuu pääosin seuraavissa prosessin osissa:

- Tuotanto
- Kuljetus
- Varastointi
- Tiedonhallinta

(Elrod et al. 2013, s.39–50)

2.2.2 Ajan mittaaminen

Kustannusten jälkeen yleisin mitattava tekijä on aika. Aikaa käytetään usein yhtenä kilpailutekijänä, joten yritykset panostavat siihen. Kaikki tilaus-toimitusprosessin vaiheet kuluttavat aikaa. Aikaa voidaan myös helposti mitata ja sille voidaan antaa selkeitä raja-arvoja. Kaikkea ei kuitenkaan kannata mitata, joten keskitytään seuraaviin ajan mittareihin:

- Prosessin läpimenoaika
- Toimitusvarmuus
- Tuotannon läpimenoaika

(Elrod et al. 2013, s.39–50)

Prosessin läpimenoaika tarkoittaa aikaa, joka kuluu tilauksesta toimitukseen. Toimitusvarmuus kertoo, kuinka suuri osuus kaikista tilauksista on toimitettu luvatussa toimitusajassa. Tuotannon läpimenoaika mittaa aikaa, joka kuluu tuotteen valmistamiseen. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

2.2.3 Laadun mittaaminen

Prosessin laadun mittaaminen on tärkeää huoltovarmuusalalla toimittaessa. Sähkön saatavuudessa tapahtuvan häiriön vaikutus on selkeästi suurin verrattuna muihin toisistaan riippumattomien toimintojen häiriöriskeihin huoltovarmuudesta puhuttaessa. Tämä johtuu siitä, että lähes kaikki muut huoltovarmuuden kannalta kriittiset toiminnot ovat riippuvaisia sähköstä. (Huoltovarmuuskeskus 2024)

Laadulla tarkoitetaan tuotteiden ja palveluiden vastaamista asiakkaan odotuksiin. Laatu on merkittävä kilpailutekijä vaikuttaen muun muassa asiakastyytyväisyyteen. Laatua voidaan mitata muun muassa seuraavilla mittareilla:

- Tuotteen koettu arvo
- Ostaja - toimittaja suhde
- Tarkkuus
- NPS (Net Promoter Score)

(Elrod et al. 2013, s.39–50; Baehre, O´Dwyer, O´Malley & Lee 2022)

On tärkeä saada tietää, miten ostajan hankkima tuote tai palvelu täyttää hänen odotuksensa. Näin voidaan mitata sitä, kuinka hyvin tuote tai palvelu vastaa markkinoiden vaatimuksiin ja mahdollisesti jatkokehittää tuotetta tai palvelua palautteen perusteella. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

Ostaja-toimittaja suhteella tarkoitetaan yhteistyötä toimitusketjun eri toimijoiden väillä. Se on kriittinen osa tilaus-toimitusprosessia tehokkuutta. Tällä mittarilla voidaan arvioida toimittajien toimintaa ja tulosten pohjalta voidaan parantaa koordinointia eri toimijoiden välillä. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

Tarkkuudella tarkoitetaan oikein valmistettujen tuotteiden suhdetta väärin valmistettuihin. Virheelliset tuotteet aiheuttavat ylimääräisiä kuluja sekä voivat aiheuttaa yritykselle mainehaittaa ja menetyksiä asiakkuuksissa, jos asiakkaalle välittyy virheellisiä tuotteita. Tarkkuutta voidaan parantaa panostamalla laadunvarmistukseen, jolloin voidaan minimoida virheelliset tuotteet. (Chan 2003, s. 534-548.)

NPS on mittari, jolla mitataan asiakaskokemusta sekä asiakasuskollisuutta. Mittaaminen NPS:ssä perustuu mahdollisuuteen hyödyntää asiakkaiden suositteluja kohdeyrityksen liiketoiminnan kasvattamisen tukena. NPS mittarilla asiakasta pyydetään kyselyn avulla arvioimaan kohdeyrityksen suoriutumista asteikolla 1–10 sen perusteella, kuinka todennäköisesti se suosittelisi yritystä. Pelkkä NPS numero ei kuitenkaan kerro paljoakaan siitä, mitä toiminnassa tulee kehittää, mikäli kehitettävää on. Numeron lisäksi on tärkeää pyytää myös perusteluja numerolle, sekä mahdollisia kehitys ja parannusehdotuksia. (Baehre et al. 2021)

2.2.4 Joustavuuden mittaaminen

Joustavuudella viitataan yrityksen muutoskyvykkyyteen. Nopea muutoskyky auttaa yritystä mukautumaan markkinoiden ja asiakkaiden tarpeisiin, jolloin voidaan hyödyntää paremmin uusia mahdollisuuksia ja kasvattaa asiakaskuntaa. (Chan 2003, s. 534-548.) Joustavuutta voidaan mitata esimerkiksi seuraavien mittareiden avulla:

- Tuote- ja palveluportfolio
- Tuotantomäärän joustavuus
- Henkilöstön joustavuus
- Laajenemismahdollisuudet

(Elrod et al. 2013, s.39–50)

Laaja tuote- ja palveluportfolio voi vaikuttaa hidastavasti tilaus-toimitusprosessin joustavuuteen. Tällaisilla yrityksillä on usein jo hyvin vakiintuneet prosessit, joka vaikeuttaa muutosten tekemistä prosessien toimintoihin. Puolestaan yritykset, joilla on suppeampi valikoima, ovat joustavampia muuntumaan uusiin tarpeisiin nopeammin. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

Tuotantomäärän joustavuus mittaa kyvykkyyttä muuttaa tuotantomäärää vastaamaan markkinatarpeeseen. Tällä yritys voi parantaa markkinointistrategiaansa, kun voidaan markkinoida tuotteita laajemmin. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

Henkilöstön joustavuus mittaa sitä, kuinka monia tehtäviä työntekijä kykenee tekemään. Kun työntekijä pystyy tekemään useita tehtäviä työpaikallaan, vähenee henkilöstöriskit sekä sairauspoissaolojen merkitys tilaus-toimitusprosessin suorituskyvylle. Myös uusien henkilöiden rekrytoinnit helpottuvat, kun osaamisvaatimusten ei tarvitse olla täysin tarkkoja. Henkilöstön joustavuutta voidaan mitata esimerkiksi sillä, kuinka helposti vakituisen työntekijän tilalle saadaan korvaava henkilö. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

Tilaus-toimitusprosessin tulisi myös kyetä joustavasti laajenemaan tarpeen tullen, lisäämällä esimerkiksi laitteistoa tai työvoimaa. Tällöin puhutaan laajenemismahdollisuuksista, joita kysynnän kasvu voi vaatia. (Elrod et al. 2013, s.39–50)

3 Sähköverkko

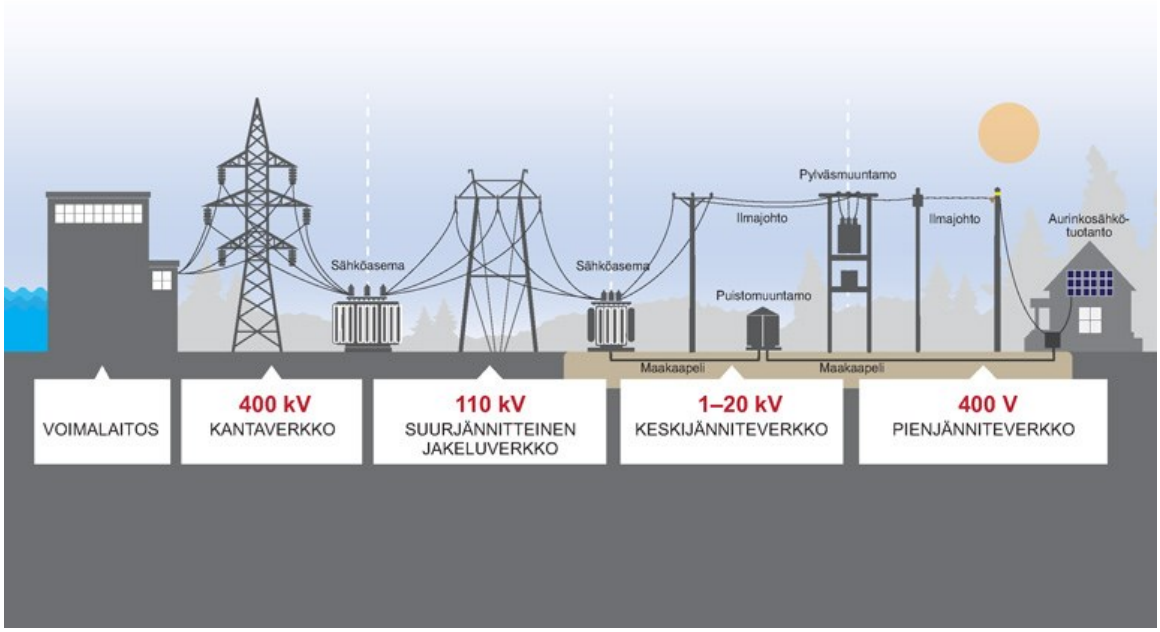
Sähkö on peruspalvelu kaikille Suomessa asuville ihmisille. Sähköverkon päätehtävä on tuotetun sähkön siirtäminen käyttäjille. 1980-luvulla koko Suomi oli sähköistetty, ja olemme saaneet nauttia suomessa sähkön mahdollistamista palveluista jo yli 50 vuotta. Nykyään sähköntoimitus on Suomessa varmaa ja suurin osa suomalaisista luottaa Suomen sähköverkon toimintaan. (Energiamaailma 2023)

3.1 Sähköverkon rakenne

Suomen sähköverkko koostuu kantaverkosta, jakeluverkoista, suurjännitteisistä jakeluverkoista, voimalaitoksista sekä sähkön kuluttajista, jotka nykyään toimivat enenevissä määrin sähkön pientuottajina. Sähköverkon rakenne havainnollistettu kuvassa 4. Sähkönsiirtoverkkojen jännitteet Suomessa ovat 400 kV, 220 kV ja 110 kV. Nämä verkot muodostavat Suomen kantaverkon. Kantaverkko on sähkönsiirron runkoverkko, jonka toimivuudesta Suomessa vastaa Fingrid Oyj, Ahvenanmaata lukuun ottamatta. Ahvenanmaalla kantaverkon sähkönsiirrosta vastaa Kraftnät Åland (Cygnel 2023). Kantaverkko yhdistää Suomen sähköjärjestelmän osaksi yhteispohjoismaista järjestelmää. Fingridin pääomistaja on Suomen valtio. Yrityksen vastuualueeseen kuuluu Suomen sähköjärjestelmän teknisen toimivuuden ja käyttövarmuuden valvonnan lisäksi muun muassa tasepalvelut. Fingridin kantaverkko koostuu voimajohdosta sekä sähköasemista seuraavasti:

- 5400 km 400 kV voimajohtoa
- 1000 km 220 kV voimajohtoa
- 7600 km 110 kV voimajohtoa
- >120 sähköasemaa

(Fingrid 2023)



Kuva 4. Sähköverkko havainnollistettuna (KSOY 2021).

Kantaverkoista sähkö siirretään suurjännitteisiin jakeluverkkoihin (alueverkot), joiden yleinen jännite on 110 kV. Näistä sähkö siirretään edelleen sähköasemien kautta keskijännite-verkkoon, jonka nimellisjännite on 1–20 kV. Jakeluverkoista vastaa Suomessa jakeluverkkoyhtiöt, joita on 77. Tämän lisäksi Suomessa on yhdeksän suurjännitteisen verkon haltijaa, joilla on vain 110 kV nimellisjännitteellä toimivia verkkoja. Alueverkot ja jakeluverkot eroavat verkossa käytetyssä jännitteessä sekä maantieteellisissä vastuualueissa. (Energiavirasto 2023a)

Sähköverkot voidaan jakaa nimellisjännitteiden mukaan kolmeen osaan: suurjännitteinen (SJ), keskijännitteinen (KJ) ja pienjännitteinen (PJ). SFS- EN 50160 standardi määrittelee verkot seuraavasti:

- SJ:n nimellisjännite on suurempi kuin 36 kV, enintään 150 kV
- KJ:n nimellisjännite on suurempi kuin 1 kV, enintään 36 kV
- PJ:n nimellisjännite enintään 1 kV

(Elovaara & Haarla 2011; Energiavirasto 2023a; SFS-EN 50160)

Kuitenkin standardista poiketen suurjännitteiseksi sähköverkoksi sähkönsiirtoverkoissa määritellään verkko, jonka nimellisjännite on 100 kV – 400 kV. (Elovaara & Haarla 2011; Energiavirasto 2023a; SFS-EN 50160)

3.2 Jakeluverkon lainsäädäntö ja normit

Sähkönjakeluverkot, kuten muutkin sähköverkot, ovat luonnollisia monopoleja (PKSS 2023). Sähköverkoista perustettiin luonnollisia monopoleja, koska yhdelle alueelle ei ole taloudellisesti kannattavaa rakentaa useita sähkönsiirto- tai jakeluverkkoja. Tämän takia sähköverkonhaltijalla (elinkeinonharjoittaja, joka harjoittaa luvanvaraista sähköverkkotoimintaa sähköverkossa, jota hän hallitsee), on yksinoikeus rakentaa vastuualueelleen sähköverkkoa. Jakeluverkkoliiketoiminta on Suomessa hyvin säänneltyä, jolla pyritään takaamaan kaikille tasa-arvoinen kohtelu sekä toiminnan kehitys. (Energiavirasto 2023a)

3.2.1 Sähkömarkkinalaki

Sähkömarkkinalain tarkoituksena on varmistaa, että alueelliset ja kansalliset sähkömarkkinat sekä Euroopan unionin sähkön sisämarkkinat toimivat tehokkaasti, varmasti sekä ympäristön kannalta kestävästi. Laki pyrkii siihen, että loppukäyttäjille voidaan turvata hyvä sähkön toimitusvarmuus, kohtuulliset palveluperiaatteet ja kilpailukykyinen sähkön hinta. Lakia sovelletaan sähkömarkkinoihin, sähkön tuontiin ja vientiin, tuotantoon ja toimitukseen sekä sähkönsiirtoon ja -jakeluun. (Sähkömarkkinalaki 2013/588)

Laki määrittelee, että sähköverkonhaltijan tulee tarjota tasapuolisesti ja syrjimättömästi palveluitaan kaikille sähkömarkkinoiden osapuolille. Laki määrittää lisäksi sähköverkkojen kehittämisvelvollisuudet, joiden mukaan verkonhaltijan tulee ylläpitää sekä kehittää sähköverkkoja taatakseen kuluttajille riittävän hyvälaatuista sähköä. Sähköverkon ja sähköverkkopalveluiden tulee myös toimia mahdollisimman luotettavasti normaaliolojen häiriötilanteissa ja valmiuslaissa (2011/1552) tarkoitetuissa poikkeusoloissa. (Sähkömarkkinalaki 2013/588)

Sähkömarkkinalain (2013/588) mukaan jakeluverkko ei saa myrskyn tai lumikuorman takia vioittuessaan aiheuttaa yli kuutta tuntia kestävää sähkönjakelun keskeytystä asemakaava-

alueilla eikä yli 36 tuntia kestävää keskeytystä muilla alueilla. Nämä vaatimukset tulee täyttyä kaikkialla jakeluverkkojen alueilla ennen vuotta 2029. (Sähkömarkkinalaki 2013/588)

3.2.2 Sähköturvallisuuslaki

Sähköturvallisuuslain tarkoituksena on varmistaa sähkölaitteiston turvallisuus sekä estää sähkön käytöstä aiheutuvat haitalliset sähkömagneettisten häiriöiden vaikutukset. Lisäksi lain tavoitteena on turvata vahingosta kärsineiden oikeudet ja varmistaa sähkölaitteiden vapaa liikkuvuus sekä vaatimustenmukaisuus. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135)

Laki määrää, että sähkölaitteet tulee suunnitella, rakentaa, valmistaa, korjata, huoltaa ja käyttää käyttötarkoitusten mukaisesti eikä laitteista saa aiheutua hengenvaaraa, vaaraa terveydelle eikä omaisuudelle. Lakia sovelletaan sähkölaitteisiin ja -laitteistoihin, joita käytetään sähkön siirrossa, jakelussa, tuotannossa sekä käytössä. Lakia sovelletaan myös, mikäli laitteista tai laitteistoista voi aiheutua häiriöitä tai vaaraa. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135)

Laki jakaa sähkölaitteiston kolmeen luokkaan. Sähkölaitteistoluokitus jakaa laitteet varmennus- ja määräaikaistarkastusten vaatimusten sekä kunnossapito-ohjelman vaatimusten mukaan. Luokkaan 1 kuuluu yli kahden asuinhuoneiston asuinrakennusten laitteisto sekä laitteisto, jonka suojalaitteen ylivirtasuojan nimellisvirta ylittää 35 ampeeria. Luokkaan 2 kuuluu sähkölaitteisto, jossa on yli 1000 V nimellisjännitteellisiä osia sekä laitteisto, jonka liittymisteho ylittää 1600 kVA. Luokkaan 3 kuuluu sähkölaitteisto, joka kuuluu verkkoyhtiöiden sähkönjakelu sekä -siirtoverkkoon. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135)

Luokkien 2 ja 3 sähkölaitteistoille tulee laatia ylläpitävä kunnossapito-ohjelma sähkölaitteiston haltijan toimesta. Tämän lisäksi sähkölaitteiston haltijan tulee valvoa, että ohjelmaa noudatetaan. Sähkömarkkinalain mukaan luokan 3 laitteistolle tulee tehdä määräaikaistarkastus viiden vuoden välein. Tämän toteuttamisesta vastaa sähkölaitteiston haltija, eli verkonhaltija. (Sähköturvallisuuslaki 2016/1135)

3.3 Viranomaisvalvonta

Sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvontalaki (2013/590) määrittelee seuraavasti: ” Energiaviraston tehtävä on valvoa sähkömarkkinalain asettamien määräysten ja säännösten noudattamista ja toteutumista.” Energiavirasto valvoo verkkoyhtiöiden hinnoittelua neljän vuoden jaksoissa, ja valvonta perustuu sähkö – ja maakaasumarkkinalainsäädäntöön. (Energiavirasto 2023)

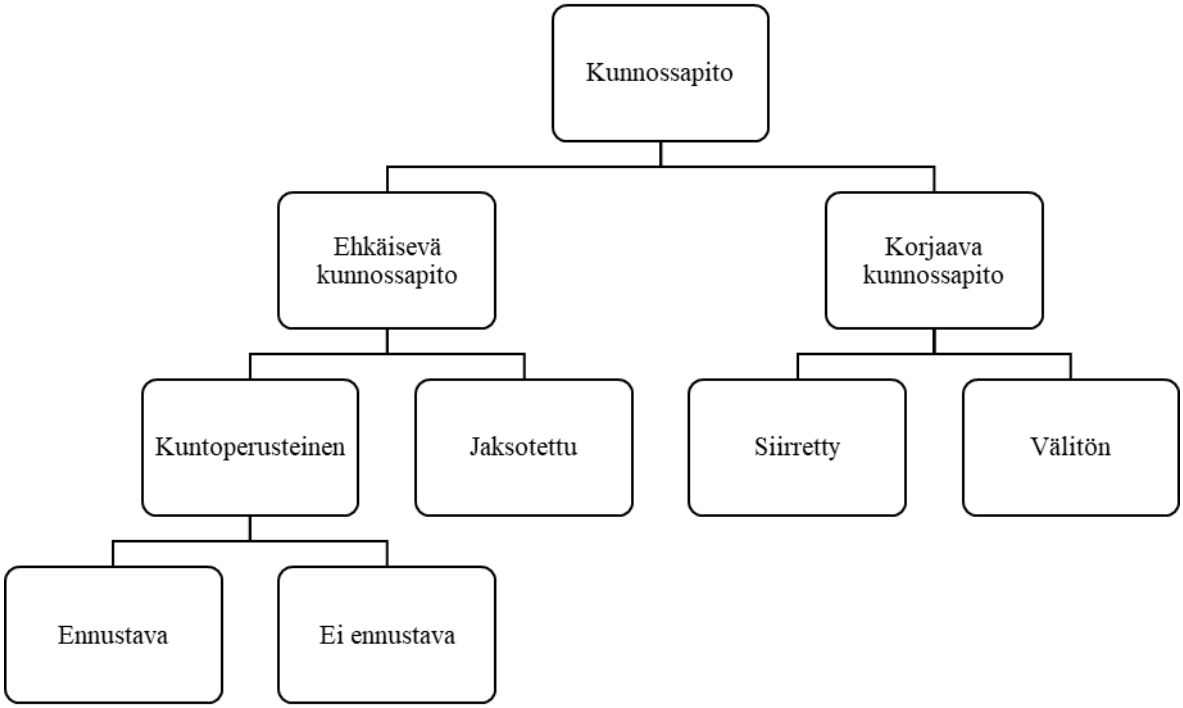
Energiavirastolla on lisäksi erilaisia valvontamenetelmiä sähkönjakelulle, joiden tavoitteena on lisätä sähköverkkojen toiminnan tasapuolisuuden, luotettavuuden, tehokkuuden sekä kehittämisen toteutumista. Tällainen valvontamenetelmä on esimerkiksi kohtuullinen tuottoaste. (Energiavirasto 2021)

3.4 Kunnossapito

Sähköverkkojen kunnossapito on oleellisessa osassa sähkönjakelun varmistamisessa. SFS-13306 standardi määrittelee kunnossapidon toiminnaksi, jonka tarkoitus on ylläpitää tai palauttaa kohteen toimintakyky sellaiseksi, että kohde kykenee suorittamaan sille vaaditun toiminnan. (SFS-EN 13306) Puolestaan PSK6201 standardi määrittelee kunnossapidon toiminnaksi, jonka tarkoitus on ”säilyttää kohde tilassa tai palauttaa se tilaan, jossa se pystyy suorittamaan vaaditun toiminnon sen koko elinjakson aikana.”

Sähköverkoille laaditun kunnossapito-ohjelman päämääränä on sähkömarkkina- ja sähköturvallisuuslaissa määriteltyjen vaatimusten toteutuminen sähkölaitteiden sekä -järjestelmien turvallisuudesta ja toiminnasta sekä sähkönsiirron toimitusvarmuudesta. (SFS-EN 13306)

Kunnossapito voidaan jakaa kahteen yläkategoriaan SFS-EN 13306 standardin mukaan: korjaavaan kunnossapitoon ja ehkäisevään kunnossapitoon. Korjaava kunnossapito on kunnossapitoa, joka suoritetaan, kun vika on jo syntynyt. Ehkäisevällä kunnossapidolla puolestaan tarkoitetaan niitä toimenpiteitä, joilla ennaltaehkäistään laitteiston vikaantumista. Korjaava kunnossapito voidaan jakaa välittömään korjaukseen ja siirrettyyn korjaukseen. Ehkäisevä kunnossapito voidaan puolestaan jakaa kuntoperusteiseen kunnossapitoon ja jaksotettuun kunnossapitoon. Kuvassa 5 kunnossapitolajit kuvattu SFS-EN 13306 standardin mukaan.



Kuva 5. Kunnossapitolajit (mukaillen SFS-EN 13306).

Näiden kunnossapitolajien lisäksi voidaan puhua älykkäästä kunnossapidosta. Termille ei ole yhtä standardoitua määrittelyä kuin muille kunnossapitolajeille, mutta se voidaan nähdä osana ehkäisevää kunnossapitoa. (Muller, Marquez & Benoit 2008)

3.4.1 Korjaava kunnossapito

Korjaava kunnossapito on kunnossapitoa, jonka tarkoituksena on palauttaa vioittunut laite toimintakuntoon heti vian havaitsemisen jälkeen. Korjaava kunnossapito voi olla joko välitöntä tai siirrettyä. Ollessaan välitöntä, on kunnossapito myös suunnittelematonta, jolloin kyse on viankorjauksesta. Välitön viankorjaus on toimenpide, joka suoritetaan heti vian tai poikkeaman havaitsemisen jälkeen. Välittömän viankorjauksen tavoitteena on palauttaa kohde toimintakuntoon sekä rajoittaa vian aiheuttamia vahinkoja. Siirretty viankorjaus on puolestaan toimenpide, joka suoritetaan, kun kohteen tila sen sallii. Se voidaan ajoittaa esimerkiksi muiden kunnossapitotoimien kanssa yhtä aikaa suoritettavaksi. Korjaava kunnossapito pitää sisällään seuraavat työvaiheet:

- vian tunnistaminen (fault recognition)
- vian määritys (fault diagnosis)
- vian paikannus (fault localization)
- vian korjaus (repair)
- palautus toimintakuntoon (restoration)

(Järviö & Lehtiö 2012)

3.4.2 Ehkäisevä kunnossapito

Ehkäisevän kunnossapidon tavoite on ylläpitää kunnossapidettävän kohteen käyttöominaisuuksia, palauttaa heikentynyt toimintakyky ennen kuin vika on syntynyt sekä estää vaurioiden syntyminen. Ehkäisevä kunnossapito on säännöllistä, jolloin se on jatkuvaa tai aikataulutettua. Tässä kunnossapitolajissa hankitaan tietoa kohteen tilasta, ja näiden tietojen avulla luodaan kunnossapitosuunnitelmat ja -aikataulut. (Järviö 2007) Tällä kunnossapitomallilla pystytään vähentämään vikatilanteiden muodostumisen todennäköisyyttä sekä kohteen toimintakyvyn heikentymistä. Ehkäisevä kunnossapito sisältää:

- kuntoperusteinen kunnossapito (condition based maintenance)
- tarkistaminen (inspection)
- testaaminen (visual and functional testing)
- vikaantumistietojen analysointi (trend analysis)
- kunnonvalvonta (monitoring)

(Järviö & Lehtiö 2012)

Osana ehkäisevää kunnossapitoa on jaksotettu kunnossapito. Tämä tarkoittaa toimintaa, joka tehdään ennalta määrättyjen aikataulujen tai käyttömäärän, kuten käyttötuntien, mukaan. Kunnossapidettävälle kohteelle ei tällöin suoriteta etukäteen toimintakunnon tutkimuksia. Kunnossapitomalli olettaa vikaantumistiedon olevan ennustettavaa kohteen elinkaaritietojen perusteella. Kuitenkaan malli ei ota huomioon kaikkia ulkoisi tekijöitä, kuten sää- ja käyttöolosuhteiden vaikutusta. Nämä seikat vaikuttavat kuitenkin todellisuudessa kunnossapitotoimien jaksottamiseen. (Ahmad & Kamaruddin 2012; PSK 6201)

Kuntoon perustuva kunnossapito on osa ehkäisevää kunnossapitoa, ja se perustuu kohteen kunnon jatkuvaan tai määräajoin suoritettavaan tarkkailuun. Kuntoperusteisen kunnossapidon perustana on se, että vikaantumistapauksissa 99 %:ssa kohteista on ollut havaittavissa joitakin merkkejä vikaantumisesta jo ennen vian syntymistä. (Ahmad & Kamaruddin 2012) Vikaantumistilanteita voidaankin huomattavasti ehkäistä tarkkailemalla kohteen kuntoa säännöllisesti.

Ennustava kunnossapito on osa kuntoperusteista kunnossapitoa. Tässä mallissa käytetään analyyseihin ja historiadataan perustuvia ennusteita, kun luodaan kunnossapitosuunnitelmaa. Ennustavassa kunnossapidossa kohteen kuntoa seurataan ja malli luo kunnossapitotoimenpiteet tarpeiden mukaan. (Muller et al. 2008)

Älykäs kunnossapito on termi, jolla viitataan usein kunnossapitotoimiin sekä kunnossapitostrategiaan, jossa kunnossapidon tukena käytetään dataa kunnossapidettävästä kohteesta. Dataa kerätään muun muassa Industy 4.0:n mukaisten digitaalisten ratkaisujen, kuten sensorien pohjalta. (Muller et al. 2008; Bokranz, Skoogh, Berlin, Wuest & Stahre 2020) Lisäksi erityisesti IoT, automaatio ja data-analyysi ovat keskeisessä osassa älykkään kunnossapidon toteuttamisessa. Nykyään uudet teknologiat, kuten erilaiset anturit ja sensorit ovat lisänneet älykkään kunnossapidon käytettävyyttä eri liiketoiminnoissa ja teollisuudenaloilla. (Seneviratne, Ciani, Catelani & Galar 2018) Älykkään kunnossapidon tavoitteena on vähentää laitteiden sekä järjestelmien rikkoutumisriskiä tunnistamalla mahdolliset alkavat viat jo ennen rikkoutumista, tarkan monitoroinnin avulla. (Muller et al. 2008)

4 Miehittämätön ilmailu

Uusien teknologioiden, kuten miehittämättömien ilma-alusten käyttö osana sähköverkkojen kunnossapitotoimia on lisääntynyt viime vuosina merkittävästi. (Rymer & Moore 2019) Ilmailu voidaan jakaa miehitettyyn ja miehittämättömään ilmailuun. Miehittämätön ilmailu poikkeaa miehitetystä niin, että ilma-aluksen kyydissä ei ole ihmistä ohjaamassa alusta. (Ilmailulaki 2014/864) Miehittämätön ilmailu on lisääntynyt teknologian kehittyessä viimeisten vuosien aikana paljon ja Suomessa esimerkiksi poliisilla lennättäjien määrä kaksinkertaistui vuosien 2018 ja 2019 välillä (Lentoposti 2019). Miehittämättömien ilma-alusten markkinoiden on myös globaalisti ennustettu kasvavan vuosien 2020 ja 2030 välillä 65 % (Omkar & Sonia 2021).

4.1 Miehittämättömät ilma-alukset ja ilma-alus järjestelmät

Ilma-aluksen ilmailulain 2§ määrittelee seuraavasti: ”laite, jota kannattavat ilmakehässä muut ilman reaktiot kuin ilman reaktiot maan tai veden pintaa vastaan”. Sama lakipykälä määrittelee miehittämättömän ilma-aluksen seuraavasti:” ilma-alus, joka toimii tai jonka on tarkoitus toimia itsenäisesti tai jota voidaan kauko-ohjata ilman ilma-aluksessa olevaa ohjaajaa”. (Ilmailulaki 2014/864) Euroopan unionin siviili-ilmailun turvallisuutta koskeva asetus (EU) 2018/1139 määrittelee miehittämättömän ilma-aluksen seuraavasti: ”miehittämätön ilma-alus on ilma-alus, jota ei ole suunniteltu tai varustettu ihmisten kuljettamiseen, ja jota ohjataan miehittämättömästä lähteestä”.

Miehittämättömät ilma-alukset (Unmanned Aerial Vechile, UAV), ovat ilma-aluksia, joita ohjataan etänä erityyppisten ohjausjärjestelmien, yleisimmin kauko-ohjaimen tai tietokoneen avulla. Ohjaus tapahtuu ohjaimella näköyhteydellä (Visual Line of Sight, VLOS) tai ilman näköyhteyttä (Beyond Visual Line of Sight, BVLOS). Ohjauksen tukena voidaan molemmissa tapauksissa käyttää erilaisia sensoreita, kuten kameraa. (UAV Coach 2020) Miehittämättömät ilma-alukset voivat toimia myös täysin autonomisesti, noudattaen ennalta ladattua reittiä (Peng, Coi, Chen, Dong, Lum & Lee 2009) Tällöin reitti suunnitellaan ennakkoon joko tietokoneella tai suoraan kauko-ohjaimella. Suunnittelun jälkeen reitti ladataan

ilma-alukseen sekä ohjaimeen, jos reitti on suunniteltu tietokoneella, eikä suoraan ohjaimella.

Miehittämättömät ilma-alus järjestelmät (Unmanned Aerial System, UAS), ovat järjestelmiä, jotka koostuvat ilma-aluksesta ja siihen liitetyistä laitteista, kuten ohjaus-, komento- ja viestintäjärjestelmät sekä erilaiset sensorit, kuten kamerat. (Gupta, Ghonge & Jawandhiya 2013) Ilmailulain 2§ mukaan UAS on miehittämätön ilma-alus ja sen kauko-ohjaukseen tarvittava laitteisto. (Ilmailulaki 2014/864). Usein puhekielessä sekoitetaan UAV ja UAS keskenään, vaikka UAV on todellisuudessa vain itse ilma-alus, ja UAS on se kokonaisuus, jossa ilma-alukseen on liitetty esimerkiksi RGB-kamera. (Gundlach 2012)

Laitteista, joita ilma-aluksiin liitetään, käytetään yleisesti nimeä hyötykuorma. Hyötykuormat ovat usein jopa kalliimpia, kuin itse alus. Erilaisiin käyttötarkoituksiin on saatavilla erilaisia hyötykuormia, kuten laserkeilain, lämpökamera, videokamera tai esimerkiksi SAR-tutka. Myös erilaisia asejärjestelmiä voidaan liittää osaksi järjestelmää, kuten esimerkiksi räjähteitä. (Gruber, Kwon, York & Pack 2018) Kyseisiä järjestelmiä on nähty käytettävän lähiaikoina erityisesti Ukrainassa käydyssä sodassa. (Pulliainen 2023)

4.2 Eri alustyypit

Miehittämättömiä ilma-aluksia on olemassa monia rakenteeltaan, toimintatavoiltaan ja käyttökohteiltaan erilaisia. Tässä työssä keskitytään neljään alakategoriaan: kiinteäsiipiset, multiroottoriset, VTOL (Vertical Take-Off and Landing) hybridi mallin alukset sekä yksiroottoriset. Jokaisella alustyypillä on hyötyjä ja heikkouksia sekä jokaisella mallilla on omat vahvuutensa tiettyihin toimenpiteisiin. Taulukossa 1 on kuvattu eri alustyyppien erot.

4.2.1 Kiinteäsiipiset

Kiinteäsiipiset alukset, käytetään tästedes nimeä liidokki, ovat ulkomuodoltaan eniten lentokonetta muistuttavia aluksia. Liidokki esitetty kuvassa 6. Ne vaativat nousuun ja laskeutumiseen laukaisimen tai/ja kiitoradan. Liidokit liikkuvat koko ajan eteenpäin, eikä niillä voi pysähtyä kesken lennon. Liidokkien lentoaika on usein paljon suurempi kuin muilla miehittämättömillä ilma-aluksilla, sekä niillä voi kuljettaa massallisesti suurinta kuormaa. Moshan, Othman, Li, Alsharif & Khan 2022; Crosby 2022)

Ominaisuuksiensa takia liidokit soveltuvat parhaiten tehtäviin, joissa niillä voi lentää korkealla, tasaisella nopeudella pitkiä aikoja sekä matkoja. Liidokit soveltuvat lisäksi tehtäviin, joissa niillä ei tarvitse tehdä suuria suunnan- tai nopeudenmuutoksia. (Bonn, Drijfhout & Tesfamichael 2017) Esimerkiksi suurjänniteverkkojen tarkastukset ja laajan alueen maastokuvaukset voidaan mahdollisesti toteuttaa liidokeilla.

Usein kiinteäsiipisiä liidokkeja ei näe siviilikäytössä, vaan niitä käyttävät lähinnä ammattilaiset ja erityisesti sotilaskäytössä liidokkeja on käytetty jo pitkään. Jo toisessa maailmansodassa oli käytössä jonkinlaisia liidokkeja maalikoneina sekä tiedustelun tukena. (Keane & Carr 2013)

Kuva 6. Kiinteäsiipinen liidokki (UAV Model 2023).

4.2.2 Multiroottoriset

Multiroottoriset miehittämättömät ilma-alukset, käytetään tästedes nimitystä drone, sillä useimmiten kyseinen nimitys yhdistetään puhekielessä juuri tällaisiin ilma-aluksiin. Drone esitetty kuvassa 7. Dronet omaavat hyötyjä verratessa niitä liidokkeihin. Ne voidaan nostaa ilmaan ja niillä voidaan laskeutua täysin vertikaalisesti lähes missä ja mistä tahansa. Niillä voidaan lentää matalammalla sekä niillä on mahdollista tehdä nopeita jyrkkiä suunnanmuutoksia. Niitä voidaan leijuttaa ilmassa paikallaan ja niillä voi kääntyä 360 astetta horisontaalisesti. Droneilla on kuitenkin pienempi lentoaika, matalampi lentokorkeus sekä ne

aiheuttavat suurempaa meluhaittaa kuin liidokit. (Austin 2010; Propeller Aero 2023; Rennie 2016)

Droneja on paljon käytössä niin siviili- kuin ammattipuolellakin. Niiden helppokäyttöisyys sekä monet käyttökohteet ovat lisänneet niiden suosiota erityisesti kuluttajien keskuudessa. Massatuotantona valmistetut dronet ovat hyvin helppokäyttöisiä ja lähes kuka vain osaa lennättää niitä lyhyen harjoittelun jälkeen. Tämä kuitenkin lisää toimialan riskejä, sillä laitteiden helppokäyttöisyys madaltaa niiden hankintakynnystä. (Maharana 2017)

Kuva 7. Multiroottoridrone (DJI 2023).

4.2.3 Fixed-Wing Hybrid

Fixed-Wing Hybrid eli paremmin tunnettu VTOL-malliset miehittämättömät ilma-alukset ovat nimensä mukaisesti hybridejä kiinteäsiipisistä ja multiroottoreista. VTOL esitetty kuvassa 8. Ne omaavat hyötyjä molemmista malleista: ne voivat nousta ja laskeutua vertikaalisesti, kuten dronet, mutta niillä voi lentää kuten liidokeilla. (Rennie 2016; Austin 2010; JOUAV 2023)

Kuitenkaan VTOL:it eivät korvaa täysin droneja eikä liidokkeja, sillä hybridinä ne eivät ole yhtä ketteriä kuin dronet eikä niillä voi lentää yhtä kauan kuin liidokeilla. Kuitenkin VTOL:ien hyödyt tulevat esiin, kun tarvitaan liidokkimaisia ominaisuuksia, kuten yli tunnin lentoaikaa, mutta ei ole mahdollista käyttää katapulttia tai kiitorataa aluksen ilmaan nostamiseen. (Rennie 2016; Austin 2010; JOUAV 2023)

Kuva 8. VTOL hybridi kohdeyrityksen testeissä.

4.2.4 Yksiroottoriset

Yksiroottoriset dronet muistuttavat ulkonäöltään ja rakenteeltaan hyvin paljon helikoptereita. Yksiroottorinen drone esitetty kuvassa 9. Erityisinä hyötyinä yksiroottorisille on niiden pitkä lentoaika sekä suuri lentonopeus. Niillä voi myös leijua paikallaan ja ne voivat suuren kokonsa puolesta kantaa suurta hyötykuormaa. yksiroottoriset ovat myös rakenteeltaan kestäviä. (Austin 2010; Rennie 2016)

Hankalakäyttöisyys, suuri käyttökoulutuksen määrä, huoltokustannukset sekä suuret hankintakustannukset tekevät yksiroottorisista kuitenkin niistä soveltuvia vain vaativaan ammattikäyttöön, eikä niitä ole käytössä niin paljoa kuin esimerkiksi multiroottorisia. Maataloudessa ja rakennusteollisuudessa yksiroottorisia käytetään muun muassa suurten kuormien, kuten elementtien tai lannoitusten siirtoon. (Rennie 2016)

Kuva 9. Yksiroottorinen drone (Prodrone 2017).

Taulukko 1. Erilaisten UAV- mallien vertailu (Austin 2010; Propeller Aero 2023; Rennie 2016; JOUAV 2023).

	Hyödyt	**Heikkoudet**	**Käyttö**	**Hinta (€)***
Drone	• Käytettävyys • Helppokäyttöisyys • Pieni tilantarve • Leijunta • Nopeat käännökset • Kuvakulmat • Säänkestävyys	• Lyhyt lentoaika • Nostokapasiteetti (MTOW = Maximum Take-Off Weight) • Monimutkainen rakenne	• Ilmakuvat ja videot • Rakennustarkastukset • Tarkat tarkastustehtävät	• 3000 – 40 000
Liidokki	• Lentomatka ja -aika • Nostokapasiteetti • Tarkastusalueen laajuus	• Ei voi leijua • Nousu ja lasku vaativat paljon tilaa • Ei leijumiskykyä • Suuri hinta • Hallittavuus • Vaikeampi käyttää	• Kartoitustehtävät • Voimajohtojen tarkastukset • Suurien alueiden kuvantamiset	• 15 000 – 70 000
VTOL	• Vertikaaliset nousut ja laskut • Nopeus • Lentomatka ja -aika	• Ei optimaalinen leijumisessa eikä liidossa • Suuri hinta	• Suurien alueiden kartoitus • Kuljetukset • Tarkastukset	• 2000 – 180 000
Yksiroottorinen	• Suuret hyötykuormat • Lentonopeus • Lentoaika	• Vaikea operointi • Suuri hinta	• Kartoitustehtävät • Maatalous • Rakennusteollisuus	• 15 000 – 180 000

*Hinta on suuntaa antava ammattikäyttöön suunnitelluille miehittämättömille ilma-aluksille.

4.3 Lainsäädäntö ja asetukset

Miehittämättömän ilmailun toimintaa rajataan eri laeilla ja asetuksilla. Suomessa vaikuttavia tekijöitä ovat ilmailulaki ja Euroopan parlamentin ja neuvoston asetukset. Näillä laeilla ja asetuksilla määritetään pelisäännöt sille, mitä, missä, milloin ja kuka saa lennättää.

Miehittämättömien ilma-alusten yrityskäyttöä on hidastanut alan tarkka regulaatio, joka noudattaa paljon kansainvälisiä lakeja, sääntöjä sekä normeja. UAV tekniikkaa koskeva lainsäädäntö on kehittynyt ja tiukentunut Suomessa, kun on huomattu tarvetta uusille laeille vaaratilanteiden ja muiden häiriötilanteiden takia. Suomessa ilmailuviranomainen on Traficom sekä lisäksi noudatetaan Euroopan lentoturvallisuusvirasto EASA:n määräyksiä, joka toimii Euroopan unionin ilmailuviranomaisena. (Traficom 2021; EU 2023)

4.3.1 EU:n lainsäädäntö

Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto EASA (European Union Aviation Safety Agency) vastaa Euroopan Unionin jäsenmaiden lentoturvallisuudesta ja asettaa säännöksiä ja lakeja ilmailulle. EASA määrää miehittämättömälle ilmailulle rajoituksia ja vaatimuksia esimerkiksi vaarallisten tavaroiden kuljettamiseen, riskien arviointiin, raportointiin, dokumentaatioon sekä se määrää eri luokat lentotoiminnalle. (EASA 2022) Suomessa EU:n lainsäädäntöä sovelletaan sellaisenaan.

Vuoden 2023 alusta lähtien miehittämättömien ilma-alusten päätoiminen lakisäätely siirtyi EU:n alaisuuteen. Tämä tarkoittaa sitä, että kaikkien jäsenmaiden dronetoimijoiden on täytettävä EU:n droneasetuksen (EU 2019/947) vaatimukset. Tämä asetus yhdessä komission delegoidun asetuksen (EU) 2019/945 kanssa muodostavat suurimmat säännöt miehittämättömälle ilmailulle EU:n jäsenmaissa.

4.3.2 Ilmailulaki

Suomen alueella ilmailussa noudatetaan ilmailulakia (2014/864), jollei muuta johdu Euroopan unionin asetuksesta tai Suomea sitovasta kansainvälisestä velvoitteesta. Lisäksi ilmailulakia noudatetaan suomalaisilla ilma-aluksilla Suomen rajojen ulkopuolella sekä Suomessa myönnetyn lentotoimintaluvan nojalla. Ilmailulaki koskee miehitetyn ilmailun lisäksi miehittämätöntä ilmailua. (Ilmailulaki 2014/864)

Ilmailulaki (2014/864) on hyvin laaja sisältäen monia pykäliä, jotka asettavat vaatimuksia miehittämättömälle ilmailulle. Seuraavat ilmailulain pykälät voidaan nähdä merkittävimpinä miehittämättömän ilmailun kannalta:

- 3 § määrittelee miehittämättömän ilmailun valvontaviranomaisen
- 10 § säätelee miehittämättömän ilmailun rekisteröintiä
- 11 § määrää ilmatilan käytön rajoituksista sekä kielloista

(Ilmailulaki 2014/864)

4.3.3 Ilmatilan käyttö

Valtioneuvoston asetuksen mukaan ilmailua voidaan kieltää tai rajoittaa valtion johtamisen, rajavalvonnan, maanpuolustuksen, pelastustehtävän tai muun tärkeän varautumisen takia. Ilmailu on rajoitettua esimerkiksi Suomen ja Venäjän välisen rajan läheisyydessä. (Vna 2014/930, 1 §) Lisäksi aluevalvontalain (2000/755) 14§ nojalla maanpuolustuksen kannalta merkittäviä kohteita ei saa tarkastella ilma-aluksilla. Lain mukaan on kuitenkin mahdollista ilmakuvata alueilla erillisellä luvalla, mikäli toiminta ei häiritse tai vaaranna Suomen aluevalvontaa. (Aluevalvontalaki 2000/755)

Miehittämätön ilmailu on rajoitettu maksimilentokorkeuteen, joka on 120 metriä suurimmassa osassa Suomea. Mikäli toimitaan vähintään viiden kilometrin läheisyydessä lentokentän kiitoradasta, on suurin sallittu lennätyskorkeus tällöin 50 metriä. Lennätys on kuitenkin mahdollista lentokentän läheisyydessä erikoisluvalla, mikäli asiasta on sovittu erikseen ilmaliikennepalveluntarjoajan kanssa. Sama sääntö pätee toimittaessa yli 120 metrissä. Nämä

säädökset on luotu, koska miehitetty ilmailu pääsääntöisesti tapahtuu yli 150 metrissä. Näin yhteentörmäysten riski pienenee. (Ilmailulaki 2014/864; EASA 2023b)

UAV laitteiston kanssa toimittaessa voidaan alusta lennättää joko sensorin kanssa tai ilman. Kun alukseen on kiinnitetty kamera, tulee toiminnassa huomioida ilmailulain lisänä henkilötietolaki. Henkilötietolain (1999/523) nojalla kotirauhan suojaamilla alueilla ei saa kuvata, äänittää tai kerätä tietoa. Usein tällaisia alueita suojaa pihojen rakennukset ja aidat, mutta ilma-alukset mahdollistavat uuden kuvakulman. Usein myös sähkölinjat kulkevat pihojen poikki, jolloin sähkölinjaa tarkastavan lennättäjän on poistettava aineisto, joka rikkoo kotirauhaa.

Ilmatilaa käytettäessä miehittämättömään ilmailuun tulee tiedostaa, että miehittämättömän ilma-aluksen lennättäjä on aina velvoitettu väistämään miehitettyä ilmailua sekä tarkkailemaan ilmatilaa. (Fintraffic 2023) Tämän mukaan UAV tulisi aina olla ohjattavissa niin, että sillä voidaan väistää muuta liikennettä.

4.3.4 Aluksen ja käyttäjän rekisteröityminen

Vuonna 2021 voimaan astuneen asetuksen mukaan koko EU:n alueella kaikkien droneoperaattoreiden on rekisteröidyttävä dronetoimijarekisteriin. Operaattorilla tarkoitetaan henkilöä tai organisaatiota, joka omistaa tai vuokraa miehittämättömiä ilma-aluksia. Dronen lennättäjä on puolestaan henkilö, joka fyysisesti lennättää dronea. (EASA 2023a) Yhden operaattoritunnuksen alla voi olla tällöin monta lennättäjää.

Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että yritys voi toimia toimialalla, jossa käytetään miehittämättömiä ilma-aluksia, ja kouluttaa omaa henkilöstöään lennättäjiksi. Tällöin yrityksen toimiluvan alla olevat lennättäjät eivät tarvitse henkilökohtaista operaattoritunnusta vaan kaikki lentotoiminta tapahtuu työnantajayrityksen operaattoriluvan alla.

4.4 Miehittämätön ilmailu sähköverkkojen kunnossapidossa

Miehittämättömien ilma-alusten hyödyntämistä on tutkittu sähköverkkojen tarkastamisessa paljon, sillä niiden avulla on mahdollista nopeuttaa tarkastuksia sekä saada tarkastettavista kohteista tarkempaa dataa. Esimerkiksi erilaisten kameroiden avulla voidaan sähkölinjoista

havaita jopa pieniä vikoja, joiden aikainen korjaaminen voi ennaltaehkäistä sähkönjakelun häiriöitä. Lisäksi vaikeakulkuisten linjaosuuksien, kuten rämeikköjen ja saarikohteiden tarkastus onnistuu nopeammin miehittämättömillä ilma-aluksilla, kuin jalkaisin. Lisäksi helikopterit voivat olla kustannuksiltaan paljon suurempia. Miehittämättömät ilma-alukset lisäävät myös turvallisuutta tarkastuksiin, kun ihmistä ei tarvitse lähettää vaaralliseen maastoon eikä helikopterin kyytiin. (Takaya, Ohta, Kroumov, Shibayama & Nakamura 2019; Rymer & Moore 2019)

Erityisesti suurjännitteisten sähkölinjojen tarkastuksien toteuttamista miehittämättömillä ilma-aluksilla tehdään ympäri maailmaa. Kuitenkin tarkastukset ovat usein laajuudeltaan lyhyitä ja niillä muodostetaan muun muassa 3D-malleja pylväistä, jotta verkon komponenttien kunto voidaan tarkastaa. (Allred 2023; Rymer & Moore 2019) Suomessa sähköverkkojen tarkastuksissa halutaan kuitenkin pääasiassa tietää verkon yleiskunto, jolloin suppeampi tieto komponenteista riittää. Yksi tarkka kuva sähköverkon pylväästä voi riittää, mikäli siitä nähdään komponenttien yleiskunto.

5 Toimintaympäristön esittely

Tämä diplomityö on tehty energiateollisuudessa sähköalalla toimivalle älykkään kunnossapidon yritykselle. Kohdeyritys on perustettu vuonna 2021 ja se toimii osana laajempaa energiakonsernia. Kyseessä on konsernin sisäinen spin-off, joka saa tukea emoyhtiöltään ja konsernilta toiminnan käynnistämiseen sekä liiketoiminnan kehittämiseen, mukaan lukien rahoitusta. Yksityiskohtaisia taloustietoja ei käsitellä, sillä yrityksen alkuvaiheen painopiste on kasvattaa ekosysteemiään uutena toimijana alalla.

5.1 Kohdeyrityksen esittely

Kohdeyritys tarjoaa dataan ja analytiikkaan pohjautuvia kunnossapidon palveluita sähköverkkoyhtiöille. Datan keräykseen sekä analysointiin yritys käyttää UAV- sekä tekoälyteknologioita. Yrityksen liiketoiminta koostuu kolmesta palvelusta: älykkäästä kunnossapidosta, häiriöiden hallinnasta sekä kuvauspalveluista. Älykäs kunnossapito pitää sisällään dataan ja analytiikkaan pohjautuvia sähköverkkojen kunnossapidon palveluita, jotka pohjautuvat drone- ja tekoälyteknologioihin. Näitä ovat muun muassa kunnossapitotarkastukset sekä jo valmiin datan analyysipalvelut, esimerkiksi vaarapuuanalyysit, sähköverkkojen komponenttien kunnontarkastukset sekä raivaus- ja oksimistarpeiden kartoitukset. (Evision 2023a)

Häiriöiden hallinnalla tarkoitetaan häiriöiden, kuten myrskyjen aiheuttamien vikatilanteiden paikannusta. Multiroottorisilla droneilla lennetään heti myrskyn laannuttua, jo pimeällä, kartoittamaan vikapaikkoja, jolloin paikannetaan nopeammin vikapaikat. Tämä johtaa pienempiin vakiokorvauksiin, kun sähkötön aika kuluttajilla pienenee. Lisäksi nopeammalla viankorjauksella pienennetään keskeytyksestä aiheutuvien haittojen (KAH) määrää ja vähennetään tulonmenetyksiä, jotka johtuvat toimittamatta jääneestä sähköstä. Tähän palvelukategoriaan kuuluu myös lumikuormien paikannus, jolloin sähköverkkojen lumikuormatilanne kartoitetaan ja pienennetään riskiä niistä johtuviin vikatilanteisiin. (Evision 2023b)

Kartoitus- ja mallinnuspalvelut pitävät sisällään rakennelmien mallintamista sekä erilaisten rakennustöiden suunnittelun tukikuvauksia. Toisena tuotteena palvelun alla on aurinkovoi-

maloiden älykäs kunnossapito, jolla kartoitetaan paneelien ja paneelikentän kuntoa lämpökuvauksen sekä still- eli valokuvien avulla. (Evision 2023b)

Kohdeyrityksen visiona on tuottaa parhaita datalähtöisiä älykkään kunnossapidon palveluita. Tarkoituksena on pyrkiä minimoimaan asiakkaiden keskeytysajat ja paikantamaan mahdollisten tulevien keskeytysten aiheuttajat. Missio on kehittää ja tarjota ympäristöystävällistä sekä datapohjaista palvelukonsepti-innovaatiota, jonka avulla yritys tarjoaa kustannustehokkuutta kunnossapitoon.

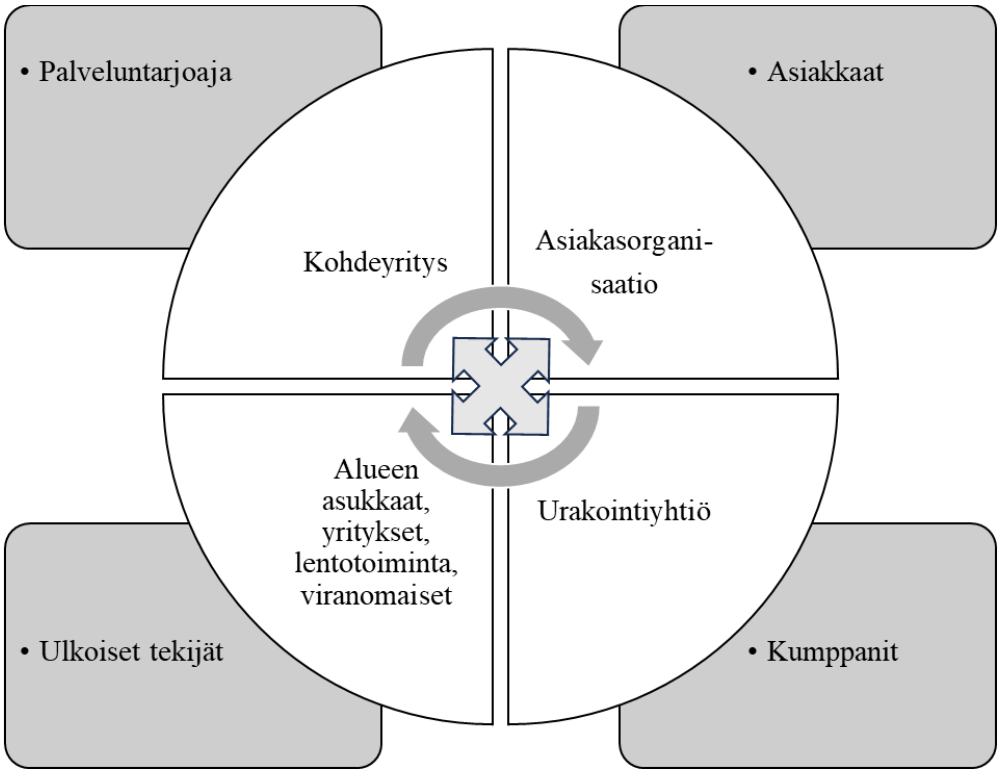
5.2 Älykkään kunnossapidon ekosysteemi

Kohdeyrityksen toiminnan onnistumisen peruspilari on ekosysteemi, jossa se toimii. Vahva emokonserni sekä sen tytäryhtiöt ja yhteistyöyritykset mahdollistavat kohdeyrityksen liiketoiminnan kehittämisen ja käynnistämisen. Emokonserni on rahoittanut kohdeyrityksen toimintaa varmistaen samalla liiketoiminnan jatkuvuuden sekä investoinnit.

Konsernin toinen tytäryhtiö, jakeluverkkoyhtiö, on suurehko jakeluveronhaltija, jonka verkkoalueella kohdeyritys on voinut kehittää toimintaansa sähköverkkojen tarpeisiin. Verkkoalueelta on kerätty dataa analysoinnin kehittämiseksi sekä verkkoaluetta on hyödynnetty liiketoiminnan operatiivisen toiminnan parantamiseksi.

Ekosysteemiin kuuluu tärkeänä osana urakointiyhtiö, joka tekee verkkoalueella sähköverkon rakentamiseen ja kunnossapitoon liittyviä töitä. Urakointiyhtiö hoitaa myös tuotannollisen mittakaavan datankeruun, eli lennätystoiminnan asiakkaiden verkkoalueilla, urakointiyhtiönroolissa kohdeyritykselle. Kuvassa 10 esitetty pelkistetty kuvaus ekosysteemistä, johon merkattu tutkimuksen kannalta oleellisimmat verkoston osat.

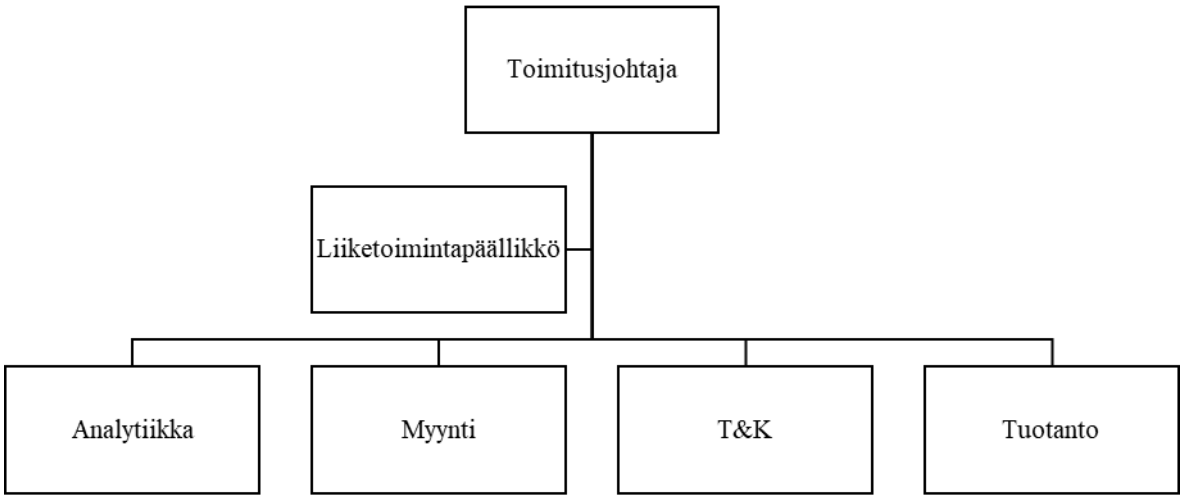
Ekosysteemiin kuuluu tärkeänä osana myös ulkoiset tekijät. Ulkoisiä tekijöitä, joita toiminnassa tulee huomioida, ovat muun muassa alueen asukkaat, yritykset, alueella liikkujat sekä lentotoiminta. Lisäksi toimintaan vaikuttavat vahvasti viranomaiset sekä lainsäädäntö. Nämä kaikki tulee huomioida aina reitinsuunnittelusta kenttätoimintaan, ettei toiminnasta aiheudu häiriötä tai vaaraa ulkoisille tekijöille. Riskien minimoimiseksi on yrityksessä laadittu toimintatavat, kuten lennätystoiminnasta ilmoittaminen ennen kenttätoiminnan aloittamista.



Kuva 10. Kohdeyrityksen ekosysteemi pelkistettynä kuvana.

5.3 Yrityksen organisaatiorakenne

Yritys on hyvin matalarakenteinen organisaatio. Kuvassa 11 on esitetty yrityksen organisaatiorakenne. Yrityksen toimitusjohtajana toimii emokonsernin digitalisaatiojohtaja oman toimensa ohella. Vain hänellä on esimiesvastuu ja kaikki raportoivat toiminnastaan hänelle. Yrityksen toimintaa koordinoi käytännön asioissa liiketoimintapäällikkö. Taloustoiminnot on ulkoistettu tilitoimistolle.



Kuva 11. Yrityksen organisaatiokaavio.

Analytiikkaosaston toiminnasta vastaa pääasiassa kehitysanalyytikko, joka koordinoi työtehtäviä kahdelle osaston muulle työntekijälle. Myynnistä päävastuussa ovat toimitusjohtaja ja liiketoimintapäällikkö, joskin operatiivista myyntityötä sekä asiakkuuksien hallintaa hoitaa myynnin työntekijä.

Tuotekehitystä ja tuotantoa hoitavat pääasiassa liiketoimintapäällikkö sekä kaksi työntekijää. Tuotannossa tehdään lähinnä reittejä automaattilennoille sekä kerätään asiakkaiden kohteista dataa analysoitavaksi. Lisäksi asiakasprojekteissa analytiikka on osa tuotantoa, kun kerättyä dataa analysoidaan asiakkaan tarpeiden mukaisesti. Tuotekehityksen tehtävänä on kehittää yrityksen prosesseja tehokkaammiksi, esimerkiksi optimoimalla datan laatua sekä kenttätoiminnan tehokkuutta.

Organisaatiossa päätöksenteko ja vastuu ovat keskittyneet pääasiassa toimitusjohtajalle johtuen matalahierarkisesta organisaatiorakenteesta. Vaikka matalarakenteinen organisaatio voi olla hyvinkin tehokas, voisi sitä tehostaa entisestään päätöksentekovastuun jalkauttaminen myös alemmille tasoille (Kubheka, Kholopane & Mbohwa, 2013)

5.4 Toimintaympäristön haasteet

Sähköverkkoliiketoiminnan ympäristö on murroksessa. Vuonna 2013 voimaan tullut Sähkömarkkinalaki 2013/588 painottaa sähkön toimitusvarmuuden kehittämistä muun muassa kasvattamalla vakiokorvausten määrää sähkönjakelun häiriötilanteissa. Lisäksi sähkönjakeluverkkoihin kohdistuu entistä suurempi kuormitus, kun niiden käyttöaste kasvaa. Sähköajoneuvojen, lämpöpumppujen ja piensähkövoimaloiden, kuten kotitalouksissa olevien aurinkopaneelien, määrät ovat kasvaneet ja jatkavat kasvuaan nopeasti. (Lassila, Haakana & Partanen, 2009; LUT 2021) Nämä lisäävät verkon rasitusta ja aiheuttavat yhä suurempaa painetta sähköverkkojen kunnossapidolle.

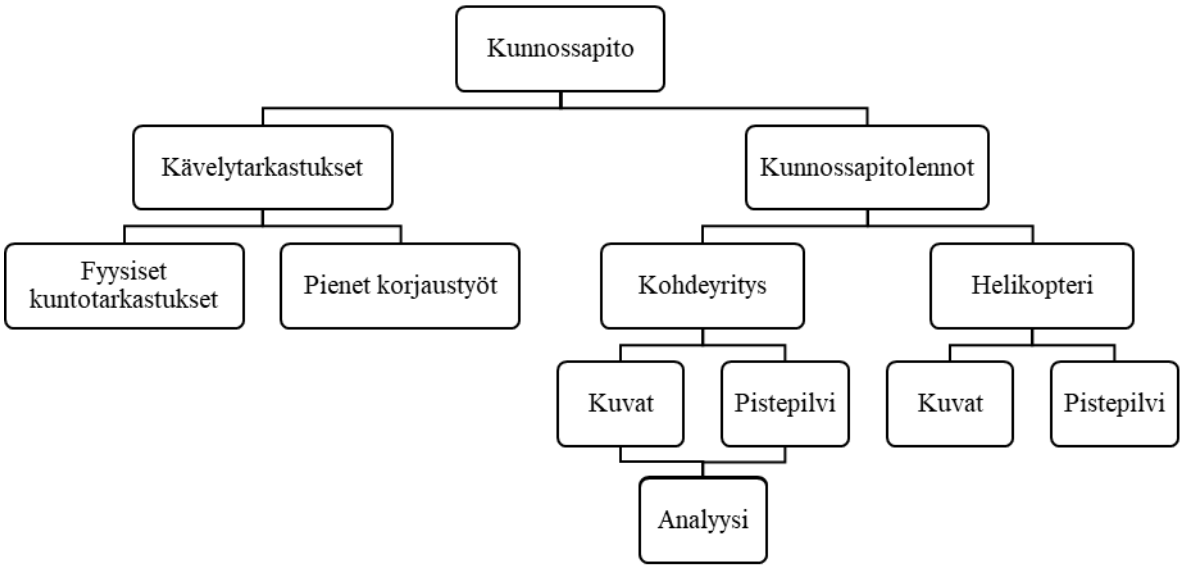
Sähkönjakeluverkkojen kunnossapidossa toimitaan tarkasti säännellyllä alalla regulaatioiden alla. Sähkönjakeluverkossa toimiminen on luvanvaraista toimintaa, jota säätelee monet lait, kuten sähkömarkkinalaki sekä sähköturvallisuuslaki. Sähkönjakelu on lisäksi luonnollinen monopoli. (Sallinen 2022) Kohdeyrityksen potentiaalisten asiakkaiden, eli sähkönjakeluyhtiöiden määrä on pysynyt lähes vakiona viimeisten vuosien aikana. Vuonna 2020 jakeluverkkoyhtiöitä oli 77. (Energiavirasto 2020)

Miehittämättömät ilma-alukset ovat teknologiana vielä varsin uusi. Erityisesti Suomessa tiukka lainsäädäntö on hidastanut niiden valjastamista yritysten käyttöön teollisessa mittakaavassa. (Ilmailulaki 2014/864) Tähän asti yrityksen selvitysten mukaan sähköverkkojen kunnossapito on toteutettu helikopterikuvauksin, sekä maastossa kävellen ja erilaisilla ajoneuvoilla liikkuen. Tämä voi aiheuttaa haasteita muuttaa asiakasyritysten nykyisiä toimintamalleja, joilla voi olla pitkiäkin yhteistyöhistorioita helikopterikuvausyhtiöiden kanssa. Verkkoyhtiöt ovat kuitenkin velvoitettuja kilpailuttamaan kunnossapitotarkastukset, mikäli kaupan arvo on yli 414 000 euroa. (Erityisalojen hankintalaki 2016/1398)

5.5 Yrityksen tavoite

Kohdeyrityksen tavoitteena on tuottaa asiakkailleen laadukasta kunnossapitodataa sähköverkoista. Yrityksen suurimpana kilpailijana nähdään tällä hetkellä helikopteriyritykset, jotka tarjoavat kunnossapitolentoja jakeluverkkoyhtiöille. Kuvassa 12 esitellään vertailua kohdeyrityksen ja helikopteritarkastusten tuottamien palveluiden välillä.

Yritys pyrkii kilpailemaan tuotteidensa kustannuksissa sekä laadussa. Kustannuksissa mitattuna yrityksen toiminta on lähes saman hintaista helikopteritarkastusten kanssa. Kuitenkin lyhyille tarkastuksille, kun puhutaan alle 400 kilometrin tarkastuksista, voi helikopterien kustannukset nousta jo huomattavasti suuremmiksi. Laadullisesti yritys tarjoaa asiakkailleen paljon enemmän kuin kilpailijat. Kun helikopterikuvaukset tarjoavat vain kuvat sekä pistepilven tarkastettavasta alueesta, tarjoaa kohdeyritys laajaa data-analyysiä sekä jälkitutkimusta kerätylle datalle.



Kuva 12. Vertailu kilpailevien palveluiden ja kohdeyrityksen välillä.

Helikopteritarkastusten lisäksi kilpailevana palveluna voidaan nähdä sähkölinjoille suoritettavat kävelytarkastukset. Kävelytarkastukset ovat kuitenkin luonteeltaan hyvin erilaisia ilmatarkastuksiin, sillä niistä ei kerätä dataa muuten kuin tarkastajan tekemin muistiinpanoin. Kävelytarkastuksissa sähkölinjoista tarkastetaan silmämääräisesti kaikki se, jonka maasta käsin voi nähdä, kuten esimerkiksi pylväsrakenteiden kunto ja kiinnitykset ja varoitusmerkintöjen ajantasaisuus. Lisäksi tarkastetaan pylväsrakenteisiin kuuluvien kaappien, kuten haaroitus- ja jakokaappien sisäkunto. Kävelytarkastuksissa tarkastetaan myös raivaustarpeet johtoaukosta sekä muuntamoiden läheisyydestä. Lisäksi tarkastaja tekee pieniä korjaustöitä, kuten vaarakylttien asentamista, tarkastuskierroksella.

Kohdeyrityksen kunnossapitotarkastukset eivät luultavasti tule poistamaan kävelytarkastusten tarvetta kokonaan, sillä fyysistä paikan päällä tehtyä kunnontarkastusta ei voida miehittämättömillä ilma-aluksilla tehdä. Yrityksen tavoitteena onkin tehostaa ja tukea nykyisiä toimintatapoja tuottamalla lisätietoa ja analyysia tarkastettavista kohteista. Esimerkiksi vaikeasti kävellen tavoitettavat kohteet ja pitkät tarkastusalueet helpottuvat uusien menetelmien avulla ja analyysien avulla sähköverkosta saadaan kerättyä vertailukelpoista dataa tulevia tarkastuksia varten.

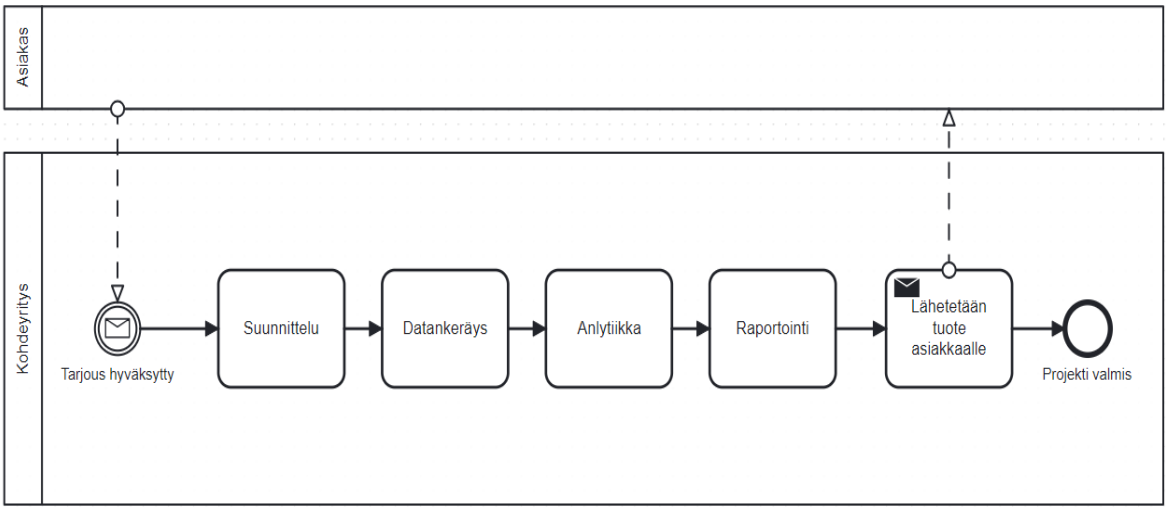
6 Tilaus-toimitusprosessin nykytila ja kehitysehdotukset

Tilaus-toimitusprosessin nykytilan arvioimiseksi toteutettiin nykytila-analyysi. Prosessin rakenteen kuvauksen jälkeen sen nykytilaa arvioitiin kustannus-, aika-, laatu- ja vastuullisuusnäkökulmasta verraten aihealueen teoriaan. Nykytila-analyysi toteutettiin tarkastelemalla kohdeyrityksen vuoden 2023 aikana tehtyjä tilauksia sekä niiden etenemistä toimitukseen saakka. Prosessien kuvaamiseksi tutustuttiin yrityksen sisäisiin aineistoihin, kuten tarjouslaskelmiin, sekä haastateltiin prosessien eri vaiheiden vastaavia henkilöitä, kuten myyntivastaavaa, liiketoimintapäällikköä sekä analyytikkoa. Prosessien mallintamisessa käytettiin BPMN 2.0 tekniikkaa, koska tätä prosessikuvaustekniikkaa käytetään yrityksessä sekä sen emokonsernissa prosessien mallintamiseen. BPMN 2.0 tekniikkaa voidaan pitää soveltuvana prosessien mallintamisessa, sillä se tarjoaa selkeän ja yhtenäisen tavan kuvata liiketoimintaprosesseja. Tämä prosessikuvaustekniikka helpottaa prosessien ymmärtämistä, joka puolestaan edesauttaa kommunikoinnissa organisaation sisällä. (Cortes-Cornax, Dupuy-Chessa, Rieu & Mandran 2014)

6.1 Prosessin rakenne

Kohdeyrityksentilaus-toimitusprosessi koostuu seuraavista prosesseista: myynti, suunnittelu, datan keruu, analytiikka ja raportointi. Prosessi alkaa, kun potentiaaliseen asiakkaaseen otetaan yhteyttä tai mahdollisesti asiakas ottaa kohdeyritykseen yhteyttä. Kun myyntiprosessi on saatu päätökseen ja sopimus allekirjoitettu työstä, alkaa datan keruun valmistelu. Tämän jälkeen data kerätään sekä analysoidaan ja lähetetään asiakkaalle.

Kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessi havainnollistettu kuvassa 13. Prosessi on kuvattu sopimuksen muodostuksesta eteenpäin. Ennen sopimuksen muodostumista olevat vaiheet esitellään tarkemmin osiossa 6.2 Myyntiprosessi.



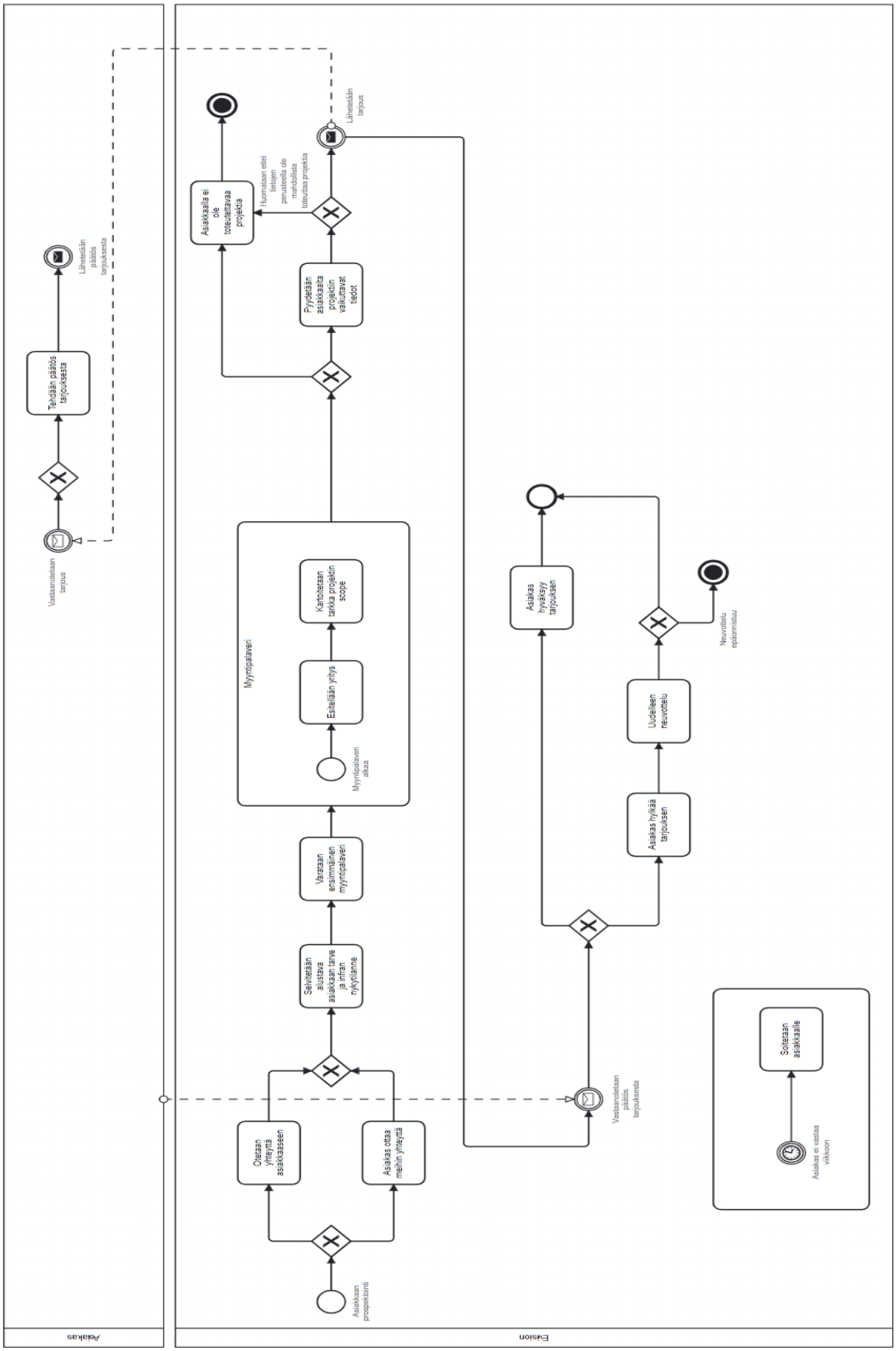
Kuva 13. Kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessi.

6.2 Myyntiprosessi

Yrityksessä ei ole selkeää henkilöä määrätty hoitamaan myyntiä, jolloin myynti on jakautunut toimitusjohtajalle sekä liiketoimintapäällikölle, jotka hoitavat myynnin muiden tehtäviensä ohella. Osaltaan tämä johtuu henkilöstöresurssien niukkuudesta sekä nopeasta tarpeesta alkaa kasvattamaan yrityksen tulosta. Yrityksen tavoitteena on ollut saada operatiivinen kyvykkyys sellaiseksi, että asiakkaille olisi myytävä tuoteportfolio.

Yritys toimii tarkasti säännellyllä toimialalla B2B markkinalla, jolloin potentiaalisia asiakkaita on rajallinen määrä. Suomessa toimii tällä hetkellä 77 jakeluverkonhaltijaa sekä 9 suurjännitteisen jakeluverkonhaltijaa (Energiavirasto 2023a). Uusia jakeluverkkoyhtiöitä ei myöskään usein synny, vaan jonkin olemassa olevan lopettaessa toimintansa, ostaa sen usein toinen jo toiminnassa oleva jakeluverkkoyhtiö.

Asiakashankintaan yritys käyttää pääasiassa yhteistyökumppaneiden verkostoja, mediaa, julkisia kilpailutuksia sekä messuja. Potentiaalisia asiakkaita kontaktoidaan puhelimitse sekä sähköpostilla, jonka jälkeen mahdollinen jatkopalaveri sovitaan. Kuvassa 14 esitetty kohdeyrityksen myyntiprosessi.



Kuva 14. Kohdeyrityksen myyntiprosessi.

Myyntiprosessiin on lisätty ajallinen mittari, jolloin asiakkaaseen ollaan yhteydessä kahden viikon kuluessa, mikäli jokin prosessin osa ei etene määräajassa. Toisaalta yritys ei ole määrittänyt itselleen noudatettavia aikamääreitä, joka voi johtaa projektien venymiseen. Aikamittari on asetettu prosessiin, sillä yrityksessä tiedostetaan tarve kyseiselle aikamääreelle.

6.3 Datan keräys ja analysointi

Datan keräys aloitetaan automaattilentojen reittien suunnittelemisella. Kunnossapitolennoissa reittejä aletaan suunnittelemaan, kun kaupasta on sovittu ja asiakas on toimittanut tarvittavat tiedot projektille, kuten alueen verkkotietoaineiston, josta nähdään kuvattavan sähköverkon rakenne. Projektin laajuuden mukaan reittien suunnittelussa menee muutamasta päivästä muutamaan viikkoon. Keskimääräinen reititystahti yhdellä henkilöllä on noin 25–30 km/päivä. Henkilöresurssien saatavuudesta ja projektin kiireellisyydestä riippuen reititystä hoitavat 1–4 henkilöä.

Datan keräykseen yritys käyttää automaattilennoilla lennätettäviä multiroottorisia droneja, sillä niiden säänkestävyys ja helppokäyttöisyys ovat avainasemassa tehokkaassa maastotoiminnassa. Datan keräys suoritetaan ennalta sovittuna ajankohtana sen jälkeen, kun riittävä määrä automaattilennoille tarvittavia reittejä on suunniteltu valmiiksi.

Tuotannossa droneja lennättää pääasiassa urakointiyrityksen henkilöstö, mutta välillä mukana on myös kohdeyrityksen henkilöstöä. Erityisesti, mikäli tarpeena on kouluttaa samalla urakointiyritykseen uusia lennättäjiä tai urakointiyrityksen henkilöstöresurssit ovat vähissä.

6.4 Tuotteen toimitus

Datan keräyksen ja analysoinnin jälkeen muodostetaan asiakkaan tarpeen mukaan kasvillisuusanalyysin sekä sähkölinjojen kunto- ja vika-analyysin tulokset. Tulokset lisätään kohdeyrityksen julkaisualustalle, johon asiakkaalle lisätään oikeudet ja annetaan koulutus julkaisualustan käyttöön.

Tämän jälkeen asiakas pääsee tarkastelemaan analyysityökalun avulla sähkölinjojensa kuntoa. Asiakkaan kanssa voidaan pitää seurantapalavereita havaintojen oikeellisuudesta sekä jatkotoimenpiteistä ja mahdollisista lisäprojekteista.

6.5 Tilaus-toimitusprosessin mittareiden toteutuminen

Kohdeyrityksessä tilaus-toimitusprosessin tehokkuuteen ei olla selkeästi kiinnitetty huomiota eikä panostettu. Tämän takia kustannuksiin, aikaan, laatuun eikä joustavuuteen ole laadittu seurattavia mittareita, joiden avulla prosessin tehokkuutta voitaisiin mitata. Tässä osiossa analysoidaan sitä, miten kustannukset, aika, laatu ja joustavuus on huomioitu yrityksen tilaus-toimitusprosessissa ja millaisia pullonkauloja tässä prosesseissa ja sen osaprosesseissa on huomattu liittyen kyseisiin mittareihin.

6.5.1 Kustannukset

Kustannuksia syntyy kohdeyrityksen tarkasteltavan tilaus-toimitusprosessin jokaisessa vaiheessa. Eniten kustannuksia muodostavat henkilöstö, laitteet sekä ohjelmistot ja niiden ylläpito. Henkilöstön kustannuksia syntyy niin omasta henkilöstöstä kuin urakointiyrityksen henkilöstön käytöstä. Omien laitteiden lisäksi yritys vuokraa aika-ajoin laitteistoa suurempien toimeksiantojen toteutusta varten.

Kohdeyrityksessä kustannuksia tarkkaillaan eniten mitattavista kohteista. Tuotannon toimintamalleja pyritään tehostamaan koko ajan, jotta henkilötyötunneille kohdistettu datankeruumäärä olisi kaikkein tehokkain. Kuitenkin erityisesti ajan mittareiden puuttuminen voi lisätä kustannuksia, kun toimita ei ole jouhevaa ja projekteja jää roikkumaan keskeneräisinä yritykselle pidemmiksi ajoiksi, jolloin myyntisaamisia voi olla ajoittain paljonkin.

6.5.2 Aika

Kohdeyrityksessä ei ole määritelty eri prosesseille aikamittareita, joten mitään vertailukohtaa sille, toteutuuko haluttu aikamääre, ei ole. Käytetty aika tilaus-toimitusprosessiin on projektiluontoinen ja siihen vaikuttaa projektin laajuus sekä käytettävien resurssien määrä. Kuitenkin toimitusajan, toimitusvarmuuden ja tuotannon läpimenoajan mittaaminen toisi prosessiin tehokkuutta.

Suurimmat pullonkaulat ajallisesti ovat tarjousten käsittely sekä laskenta sekä projektin toteutus. Tarjousten laskennan osalta aikaan vaikuttaa se, kuinka nopeasti avainhenkilöitä on

käytettävissä tarjouksen laatimiseen. Tämä puolestaan johtuu henkilöstöresurssien vajeesta, kun tarjousten määrittelyn hoitavat toimitusjohtaja ja liiketoimintapäällikkö muiden tehtäviensä ohella.

Tarjouksen lähettämisen jälkeen pullonkauloja muodostuu myös tarjoukseen vastaamisessa. Tarjouksiin ei ole määritelty kuinka kauan ne ovat voimassa, eikä sitä, kuinka nopeasti niihin pyydetään vastausta. Tämä johtaa siihen, että asiakkaat vastaavat vaihtelevilla aikaväleillä, tai jättävät vastaamatta tarjoukseen. Tarjouksen vastaamisen jälkeen alkaa projektin suunnittelu, joka sitoo resursseja niin asiakkaalta, urakoitsijalta kuin kohdeyritykseltäkin.

Projektin toteutuksen aikaan vaikuttavat resurssien sitominen projektiin. Dronelennättäjien ja laitteiston saaminen paikalle muodostaa resurssien tämänhetkisestä vähyydestä johtuvan pullonkaulan. Yrityksellä on käytössään alle 5 dronea, jotka voivat olla sidottuna muihin projekteihin. Tämä resurssien saatavuus sääntelee pitkälti sen, milloin itse datankeruu voidaan toteuttaa.

Selkeät aikamääreet prosessein eri vaiheille, kuten kuinka nopeasti tarjouslaskenta tulee suorittaa, kuinka kauan menee tietyn kilometrimäärän analysointiin tai datan keruuseen tulisi määrittää. Tämä voisi johtaa ammattimaisemman mielikuvan muodostumiseen sekä kustannussäästöihin.

6.5.3 Laatu

Kohdeyritys pyytää asiakkailtaan palautetta tuotteidensa vastaavuudesta odotuksiin sekä pyytää palautetta ja kehitysehdotuksia. Jokaisen asiakkaan kanssa käydään palautekeskusteluja tuotteen toimituksen jälkeen ja kuunnellaan asiakkaan toiveita jatkokehityksestä.

Virheellisillä tuotteilla tarkoitetaan kohdeyrityksen tuotteen tapauksessa virheellisiä vikahavainto tai kasvillisuuspisteitä. Myös niistä yritys käy satunnaisesti asiakkaan kanssa tarkistuskäyntejä maastossa tuotteen toimituksen jälkeen, jotta voidaan iteroida havaintojen paikkansapitävyyttä.

Laadunvarmistamiseksi olisi hyvä kehittää yrityksessä mittareita, joiden avulla voidaan seurata tuotteen kehittymistä. Esimerkiksi virheellisten havaintopisteiden prosentuaalista määrää seuraamalla saadaan tietty varmuus havaintojen paikkansapitävyydelle.

6.5.4 Joustavuus

Kohdeyritys on hyvinkin joustava. Koska yritys on start-up, ei sille ole vielä kovinkaan vakiintuneita käytäntöjä ehtinyt muodostua. Yritys on siis hyvin joustava kokeilemaan uusia toimintamalleja ja mukautumaan markkinoiden muutoksiin.

Yritys pystyy mukauttamaan toimintaansa suuriin sekä pieniin toimeksiantoihin suhteellisen hyvin. Kuitenkin henkilöstöriskit pienessä yrityksessä näyttelevät suurta roolia. Suurimmat henkilöriskit painottuvat yrityksen johtoon, jotka myös vastaavat päätöksistä. Lisäksi osalla henkilöstöstä on laajempaa osaamista tietyiltä päävastuuosa-alueiltaan, joka kasvattaa henkilöstöriskien suuruutta.

Joustavuus voidaan nähdä myös negatiivisena asiana. Liiallinen joustavuus ja tuotteiden räätälöiminen haittaavat tehokkuutta, kun eri asiakkaille tehdään erilaisia ratkaisuja. Tämä sitoo enemmän resursseja kuin valmiiden pakettiratkaisujen tuottaminen. Tiettyyn rajaan asti joutavuus siis toimii kilpailutekijänä, mutta liiallisena se voi aiheuttaa kustannustappioita.

6.6 Kehitysehdotukset

Nykytila-analyysin pohjalta esitellään kehitysehdotuksia, joiden avulla kohdeyritys voi tehostaa toimintaansa. Erityisesti mittareiden käyttöönotto ajan, laadun ja kustannusten tarkkailussa voisi tehostaa tilaus-toimitusprosessin toimivuutta sekä helpottaa prosessin seuraamista.

6.6.1 Mittariston valinta

Ajan mittaaminen nähdään yrityksessä selkeäksi kehityskohteeksi, johon tulee panostaa. Siksi prosessin läpimenoajan, toimitusvarmuuden sekä tuotannon läpimenoajan mittaaminen toisivat tilaus toimitusprosessiin tehokkuutta.

Prosessin läpimenoajan mittaaminen voidaan toteuttaa projektiluontoisessa liiketoiminnassa niin, että läpimenoaika skaalataan projektin suuruuden mukaan. Toisaalta läpimenoaikojen mittaaminen tilaus-toimitusprosessin eri osille, suunnittelulle, datan keruulle, analytiikalle ja raportoinnille voitaisiin toteuttaa erikseen, jolloin paremmin huomataan, missä

mahdolliset pullonkaulakohdat sijaitsevat. Lisäksi näin niiden mahdolliset syyt kyetään selvittämään tehokkaammin. Läpimenoajan mittarina tulisi olla päivät, esimerkiksi tarjouksen muodostaminen: 5 päivää, tai datan keruu: 14 päivää sopimuksen syntymisestä. Toki tulee ottaa huomioon, milloin projekti sovitaan aloitettavaksi. Jos esimerkiksi talvella myydään kesäkuulle kunnossapitotarkastus, tulee mittaamisessa tämä huomioida esimerkiksi niin, että datan keruulle määrätään vain kestoaika, enintään 14 päivää.

Toinen kriittinen ajan mittari läpimenoaikojen lisäksi on toimitusvarmuus, jota tulisi mitata. Toimitusvarmuus kohdeyrityksessä tulisi olla lähes 100 %. Tämä perustuu siihen, että uutena toimina toimialalle tultaessa on asiakkaiden sitouttaminen tärkeää. Kohdeyrityksen tulee kyetä lunastamaan toimituslupaukset, mikäli se aikoo kasvattaa asiakaskuntaansa. Toimitusvarmuutta voidaan mitata seuraavalla kaavalla:

$$Toimitusvarmuus - \% = \frac{Ajoissa\ toimitetut\ tilaukset}{\text{Kaikki tilaukset}} (\%)$$

(Sakki 2009, s.79-81)

Yrityksen olisi hyvä mitata myös palvelunsa laatua. Laadun mittaamisen yritys voisi käyttää aluksi pelkästään NPS-mittaria, joka antaisi peruskäsityksen siitä, miten asiakastyytyväisyys toteutuu. NPS- mittarin käyttöönotto on myös suhteellisen helppoa, jolloin kysely voidaan liittää esimerkiksi aineistojen kanssa samalla lähetettäväksi.

NPS- mittariin voidaan sisällyttää myöhemmin muita mittareita, kuten tuotteen koettua arvoa, jolloin mittariin voidaan lisätä näille omat kohdat. Esimerkiksi koettua arvoa voidaan mitata kysymällä, täyttääkö tuote asiakkaan vaatimukset. NPS-mittari voidaan nähdä hyvin yrityksen kasvua tukevana mittarina, jolloin sen olisi helpompi kerätä referenssejä asiakasyrityksiltä. Tämä voidaan nähdä tärkeäksi kyseisessä toimintaympäristössä, kun monet asiakkaat tuntevat toisensa ja asiakaskokemus merkitsee paljon päätöksenteossa.

Vaikka ei-rahallisten mittareiden käyttö voidaan nähdä keskeisessä asemassa toiminnan kehittämisessä, olisi myös hyvä tarkastella joitakin rahallisia mittareita, joista nähdään helposti, miten tilaus-toimitusprosessin kustannukset muodostuvat. Erityisesti kustannuksia olisi hyvä mitata datan keräämisestä, esimerkiksi mittarilla €/lennetty km. Näin voidaan seurata uusien toimintamallien kustannusvaikutusta toimintaan. Myöhemmin voidaan ottaa käyttöön samanlaiset mittarit prosessin muille osille, kuten datan analysoinnille.

7 Operatiivisen toiminnan nykytila ja toimenpide-ehdotukset

Operatiivisella toiminnalla tässä luvussa tarkoitetaan lennätystehtävien reittien suunnittelua sekä maastossa tapahtuvaa datan keräystä ja käsittelyä. Toiminta rajataan käsittelemään kenttätoimintaa ja sen valmistelevia toimenpiteitä. Operatiivinen työskentely nähdään yrityksessä kehitystä vaativana kohteena ja tärkeänä osana tilaus-toimitusprosessia. Tässä luvussa esitellään ensin sähköverkot kunnossapidettävinä kohteina, jonka jälkeen esitellään nykyiset toimintamallit sekä tehostamistarpeet. Nykytila on selvitetty tarkastelemalla yrityksen sisäisiä prosesseja sekä haastattelemalla toiminnan kannalta oleellista henkilöstöä, kuten reittisuunnittelijoita, kenttätyöskentelijöitä, analyytikoita sekä yrityksen johtoa. Nykytilan mallintamisen apuna on myös käytetty tutkijan omaa havainnointia yrityksessä työskennellessä.

7.1 Kunnossapidettävät kohteet

Kunnossapidettävät kohteet koostuvat sähköverkon osista, pääasiassa KJ- verkosta, mutta myös SJ -ja PJ-verkoista. Kunnossapidon kohteena on koko sähköverkko, joka koostuu useista eri komponenteista, joita ovat eristimet, johtimet, pylväät ja muuntajat. Kaikkien näiden komponenttien kunto tulee selvittää kunnossapitotarkastusten yhteydessä. Kuntatarkastusten ulkopuolelle on rajattu pylväiden lahotarkastukset, joiden suorittaminen vaatii pylvään fyysistä tarkastelua paikan päällä.

Kunnossapitotarkastukset pitävät sisällään komponenttien fyysisen kunnon tarkastukset ovatko komponentit ehjiä. Tarkastuksissa varmistetaan lisäksi sähköverkon yleiskunto ja se, ettei sähkölinjalla tai johtoaukossa ole kaatuneita puita tai muuta sinne kuulumatonta. Tarkastetaan siis, ettei sähkölinjan kunnossa ole poikkeamia normaalista. Lisäksi tarkastetaan johtoaukon ja sen ympäristön kasvillisuus. Johtoaukon ympärillä ei tule olla vaaraa tai häiriöitä aiheuttavaa kasvillisuutta, kuten linjan päällä roikkuvia oksia. Sähkölinjan alla ei myöskään saa olla liian korkeaksi kasvanutta kasvillisuutta, sillä jo ohuet puiden rungot ja oksat voivat aiheuttaa häiriötilanteen osuessaan johtimiin.

Suuri osa tarkastettavasta linjasta kulkee haja-asutusalueilla, metsässä tai teiden varsilla. Tiet tarjoavat riittävän hyvän kulkumahdollisuuden linjojen läheisyyteen, mutta suoraan teiden yläpuolella lennättämistä vältetään turvallisuussyistä. Laitteistohäiriön tai yllättävän vikatilanteen seurauksena on mahdollista, että drone putoaa ilmasta hallitsemattomasti, jolloin on tärkeää, että lennätysreitti ei ole suunniteltu vaarantamaan muita ihmisiä tai omaisuutta.

7.2 Nykyiset toimintamallit ja laitteistot

Tällä hetkellä kohdeyritys käyttää toiminnassaan sähkökäyttöisiä droneja, joilla kerätään pistepilveä lidar sensorilla sekä still-kuvia kameralla. Lisäksi maastoryhmällä on mukanaan kannettavat tietokoneet, RTK- tukiasema, akkusalkku sekä ajoneuvo, jossa on vaihtosuuntaaja eli invertteri tai aggregaatti akkujen latausta varten.

Toiminta koostuu pääsääntöisesti kahdesta elementistä: reittien suunnittelusta sekä kenttätoiminnasta. Reittisuunnittelu toteutetaan ennen kentällä operointia ja toiminnan jouhevuuden kannalta on tarpeen, että reittisuunnittelu on hoidettu hyvin, jotta kenttätoiminta on tehokasta.

Droneilla lennetään tällä hetkellä 7 m/s nopeutta 50–60 metrin korkeudessa johtokadun yläpuolella. Parametrit (nopeus ja korkeus) on määritetty testaamalla eri nopeuksia ja korkeuksia siten, että turvallisuus ja kerätyn datan laatu ovat optimaalisella tasolla. Nykyinen kalusto ei kykene kuljettamaan lidar-sensoria ja kameraa yhtäaikaisesti, joten sen on lennettävä sama matka kahteen kertaan, jotta saadaan kerättyä sekä still-kuvat, että pistepilviaineisto kohteesta. Lisäksi asiakkaat haluavat kuvat tarkastettavasta sähkölinjasta molemmista suunnista kuvattuna, jotta saadaan mahdollisimman hyvä kuva verkon kunnosta. Tämän takia dronen on aina palattava lähtöpisteeseen takaisin, jolloin yhdellä lennolla tarkastettava kilometrimäärä on noin puolet dronen laskennallisesta kantamasta.

7.2.1 Reittisuunnittelu

Reittisuunnittelu toteutetaan toimistolla UgCS sovelluksella. Sovellukseen syötetään asiakkaalta saatu verkkoaineisto tarkastettavasta alueesta, jonka pohjalta reittisuunnitelmat tehdään. Suunniteltujen reittien pituus määräytyy käytetyn laitteiston lentoajasta. Tällä hetkellä käytettyjen dronejen turvallinen maksimilentoaika on noin 23 minuuttia, mikäli ne keräävät

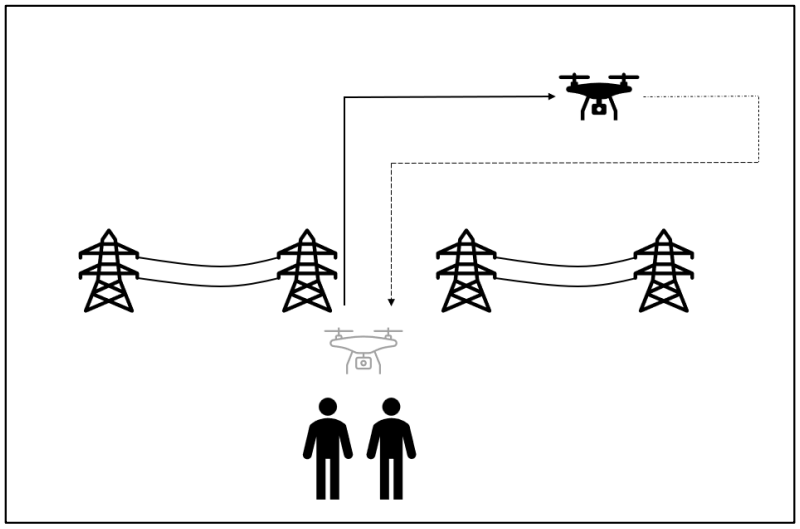
samalla dataa. Kun drone lentää 7 m/s, saadaan tällöin reitille kokonaismatkaa 9 660 metriä. Koska drone palaa takaisin, tulee tarkastetulle sähköverkolle pituutta maksimissaan 4 830 metriä.

Verkkoaineisto sisältää todellisuudessa haaroja ja pieniä tarkastuskohteita, esimerkiksi saaria. Nämä poikkeamat pienentävät reittien keskiarvollista pituutta, sillä poikkeamien takia kaikki reitit eivät ole maksimipituisia, vaan joukossa voi olla alle kilometrin pituisia reittejä. Yksi henkilö kykenee reitittämään keskimäärin 30 kilometriä tarkastettavaa sähkölinjaa päivässä. Tämä sisältää erilliset reitit sekä valokuvauslennoille, että laserkeilauslennoille. Tämä tarkoittaa sitä, että jokainen tarkastettava johtokatu reititetään kahteen kertaan. Kun reitit on tehty, ne ladataan yrityksen verkkolevylle, josta ne ladataan edelleen kenttätoiminnan kannettaville tietokoneille.

7.2.2 Kenttätoiminta

Kenttätoiminta tapahtuu kahden henkilön maastoryhmissä. Ryhmällä on yleensä käytössään yksi multiroottorinen drone, molemmat sensorit, RTK-tukiasema, yksi maastokannettava sekä yksi akkusalkku, johon mahtuu neljä akkuparia. Dronessa on kiinni kerrallaan yksi akkupari. Akkusalkku lataa keskimäärin yhden akkuparin täyteen 30 minuutissa, joten optimitilanteessa, kun lennetään yli 20 minuutin lentoja, on täyteen varattuja akkuja aina saatavilla.

Ryhmän saavuttua suunnitellulle nostopaikalle drone ja muut laitteet kootaan lentovalmiiksi sekä tehdään tarvittavat turvallisuustarkastukset. Reitti tarkastetaan koneella, ladataan droneen ja laitetaan lentämään reittiä. Kun drone palaa takaisin, vaihdetaan akut ja ladataan droneen uusi reitti, joka on nostopaikalta toiseen suuntaan. Tämän lennon jälkeen laite sammutetaan, siihen vaihdetaan sensori ja se laitetaan lentämään reitit uudestaan toisella sensorilla. Toisen lentokierroksen aikana ensimmäiset datat, esimerkiksi lidar aineisto, tarkastetaan ja ladataan sensorin muistikortilta kovalevylle. Kutsutaan nykyistä toimintamallia perustoiminnaksi (kuva 15).



Kuva 15. Perustoimintamalli havainnollistettuna.

Oletetaan, että jokainen reitti on n. 5 km pitkä, eli yhdellä lennolla kartoitetaan keskimäärin 5 kilometriä sähkölinjaa. Koska lennetään molempiin suuntiin, kartoitetaan yhdeltä nostopaikalta noin 10 km sähkölinjaa. Tarkastellaan seuraavaksi ajankäyttöä nostopaikalla. Seuraavia parametrejä käytetään myös myöhemmissä laskuissa, kun vertaillaan eri toimintamalleja:

- Valmistelut (dronen ja laitteiden kasaus, ilmoitukset ym.) = 15 min
- Lennot (4 x 30 min) = 120 min
- Sensorien ja akkujen vaihdot (3 x 5 min) = 15 min
- Siirtyminen nostopaikkojen välillä = 20 min

  yhteensä 170 min = 2,83 h = 2h 50 min

Pelkkään lentotoimintaan ja valmisteluihin kuluu yhteensä 2 h 50 min. Kun 10 km jaetaan kuluneella työajalla, saadaan n. 1,8 km/henkilötyötunti. Laskelmissa tulee ottaa huomioon, että nostopaikkojen välinen siirtymäaika sekä valmistelut ovat arvioita. Tämä johtuu siitä, että siirtymien pituudet vaihtelevat hyvinkin paljon kunnossapidettävien kohteiden sijaintien mukaan. Lisäksi tekniset häiriöt voivat aiheuttaa viivästymistä valmisteluissa.

7.3 Havaitut tehostamistarpeet

Yrityksessä on havaittu tehostamistarpeita erityisesti lentotoiminnassa sekä reittisuunnittelussa. Yritys ei pysty nykyisellä perustoimintamallilla tuottamaan sähköverkkojen kunnossapitotarkastuksia riittävän kustannustehokkaasti. Reittisuunnittelun sekä lennätystoiminnan aineistojen keräämiseen on käytetty yrityksen sisäisiä aineistoja sekä haastateltu toimintoihin osallistuvaa henkilöstöä. Yrityksellä on käytössään laskentataulukko, johon on merkattu projekteille päivässä reititetty sekä lennetty kilometrimäärä, joiden pohjalta keskimääräiset kilometrimäärät on laskettu. Lisäksi havaintojen tueksi on toteutettu haastattelututkimus tehostamistarpeiden havainnoimiseksi.

7.3.1 Haastattelututkimus

Oman havainnoinnin sekä yrityksen sisäisten aineistojen tueksi teetettiin haastattelututkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää operatiivisen toiminnan tehokkuutta ja hidasteita. Tällainen usean tutkimusmenetelmän yhteiskäyttö eli triangulaatio tukee luotettavien tulostan saantia (Carter, Bryant-Lukosius, DiCenso, Blythe & Neville 2014). Haastattelut toteutettiin ekosysteemin eri yksiköiden yhdelletoista kokeneelle lennättäjille, joilla on kokemusta operatiivisesta toiminnasta kunnossapitolentojen muodossa. Haastattelut toteutettiin etäyhteydellä Microsoft Teams sovelluksella. Tässä kappaleessa tuodaan esiin haastatteluissa esiin nousseita kehitysehdotuksia sekä toiminnan pullonkauloja.

Haastattelut toteutettiin puolistrukturoituna teemahaastatteluna, jonka aihe oli operatiivisen droneilla toteutettavan maastotoiminnan tehokkuus ja kehittäminen sähköverkkojen kunnossapitotarkastuksissa. Haastattelun avulla pyrittiin selvittämään kehityskohteita maastotoiminnan nykyisissä toimintamalleissa.

Haastattelu koostui neljästä kysymysestä:

1. Onko reitityksen aikataulutus suhteessa maasto-operointiin tällä hetkellä toimiva? Jos ei, miksi ei?
2. Onko reittien tarkastus ja mahdollinen muuttaminen maastossa sujuvaa, jos ei, miksi ei?
3. Onko maastotyöskentelyn drone-operointi sujuvaa, jos ei, miksi ei?
4. Onko datan käsittely maastossa sujuvaa, jos ei, miksi ei?

Haastatteluissa nousi esiin, että tällä hetkellä lennättäjät saavat pääasiassa reitit tarpeeksi ajoissa, jotta lennot voidaan toteuttaa. Kuitenkin tehokkuuden kannalta reittejä olisi hyvä olla enemmän valmiina ennen lentotoiminnan aloitusta, jotta lennättäjillä olisi paremmat suunnittelumahdollisuudet lennätysten toteutuksille. Esimerkkinä ehdotettiin, että paras tulos saavutettaisiin, mikäli yhden lentoalueen kaikki reitit olisivat valmiina, ennen kuin maastoryhmä lähtee alueelle toteuttamaan lentoja. Tällöin maastoryhmä voi itse suunnitella, missä järjestyksessä alueen lentävät ja että esimerkiksi lounasaikaan partio olisi lähellä jotakin mahdollista lounasravintolaa. Tämä lisäisi lennättäjien motivaatiota. Tehokkuutta lisäisi myös se, että ryhmä kykenee mukautumaan yllättäviin muutoksiin helpommin, kun he voivat vaihtaa itse lennettävien kohteiden järjestystä, mikäli tarve vaatii.

Reittien mahdollisessa tarkastamisessa ja muuttamisessa ei nähty olevan haasteita ja aiheesta saatu koulutus koettiin riittäväksi. Kuitenkin kehitysehdotuksena lennättäjien omatoimisuuden lisäämiseksi ehdotettiin tarkastuslistaa dronesalkkuihin mukaan, johon lennättäjät voisivat tukeutua, mikäli eivät muista mitä reiteistä tuli tarkastaa ja mitkä parametrit reiteissä tulee olla. Muistilista tulee tarpeen erityisesti silloin, kun lennättäjillä on ollut pitkä tauko lennätysten välillä.

Maastotyöskentelyn drone-operointi nähtiin prosessina toimivana eikä siinä nähty olevan suuria kehityskohteita. Kalustoon sen sijaan nähtiin kohdistuvan ongelmia. Eniten nousi esiin akkujen riittämättömyys. Tällä hetkellä yhdelle dronelle on varattu neljä akkuparia. Lentoreitit on usein suunniteltu niin, että ne tulee lentää täysillä akuilla. Mikäli lento on jouduttu keskeyttämään, tai dronea ei saada lentoon heti, joudutaan sen akut vaihtamaan täysiin. Tämä aiheuttaa sen, että laskennallisesti riittävät akut eivät enää käytännössä riitä,

kun keskeytyksiä tulee useita ja vain hieman varaukseltaan vajaita akkuja alkaa kertymään. Tällöin voidaan joutua odottamaan akkujen latautumista, jotta seuraava lento voidaan suorittaa. Lisäksi ehdotettiin, että kaikki dronet tulisi olla suurissa salkuissa, joissa niitä voidaan kuljettaa jalat ja kamera valmiiksi kiinnitettynä. Tällöin aikaa ei kuluisi dronen kasaamiseen maastossa ja inhimillinen riski, että kasauksessa tapahtuu virhe, pienenee.

Myös maastotietokoneiden koettiin olevan huonoja niille tarkoitettuun työhön. Tämä johtuu siitä, että niissä akkujen varaus tippuu hyvin nopeasti, jolloin niitä on pidettävä latauksessa lähes koko ajan. Lisäksi tietokoneiden suoritus kyky on heikko. Tämä näkyy erityisesti laitteiden hitautena käynnistyä ja käsitellä dataa.

Datan käsittelyssä nähtiin olevan eniten kehitettävää sekä suurimmat pullonkaulat toiminnan sujuvuudelle. Yleinen mielipide oli, että maastossa tapahtuvaa tietokonetyöskentelyä tulee vähentää ja se on minimoitava. Datan käsittelyn koettiin olevan hankalaa, sillä maastossa olosuhteet tietokonetyöskentelylle ovat vajavaiset, kun tietokonetta joudutaan käyttämään ilman pöytää, esimerkiksi sylissä. Lisäksi kansiorakenteiden luominen ulkoiselle kovalevylle, kuvien ja lidar-aineistojen siirtäminen omiin kansioihin sekä lidar-aineistoon tiedostojen lisääminen RTK-antennista koettiin olevan hidasta. Ongelmaksi myös koettiin työvaiheiden määrä, jotka sisältyvät tiedostojen siirtoon. Kehitysehdotuksena nousi esiin niin sanottu plug-and-play- menetelmä, jossa lennättäjä voisi vain laittaa muistikortin kortinlukijaan, joka automaattisesti loisi oikean kansiorakenteen kovalevylle ja lajittelisi aineistot. Tämä vähentäisi konetyöskentelyyn kuluvaa aikaa ja lisäisi maastotoiminnan tehokkuutta. Lisäksi virheiden mahdollisuus datan siirrossa pienenisi.

7.3.2 Reittisuunnittelu

Reittisuunnittelu sitoo henkilöstöresursseja nykyisellään paljon hyvin paljon. Jo esimerkiksi 1000 kilometrin tarkastuksen reittisuunnitteluun kuluu yhdeltä henkilöltä keskimäärin 34 henkilötyöpäivää:

1000 km / 30 km = 34

Reittisuunnittelun ongelmana on tällä hetkellä resurssien sitovuuden lisäksi työn toteuttamisen aikataulu. Kohdeyrityksen edellisiä toimeksiantoja tarkastellessa tarkastettavan verkkoalueen reittejä ei olla saatu suunniteltua ennen kuin kenttätoiminta on alkanut ja reittejä on

jouduttu tekemään yhtäaikaisesti lennätystoiminnan kanssa. Tämän takia lentoja ei olla voitu suorittaa esimerkiksi alue kerrallaan, vaan maastoryhmät ovat joutuneet liikkumaan nostopaikkojen välillä suurempia matkoja. Reittisuunnittelu tulisi toteuttaa ennen maastotoiminnan aloittamista, jotta maastoryhmät voisivat edetä aina lähimmälle nostopaikalle, jolloin siirtymiin kulunut aika saadaan minimoitua.

Reittisuunnitteluun tulisi myös miettiä automatisointia, joka mahdollisesti nopeuttaisi toimintaa ja vapauttaisi resursseja. Markkinoilla on tarjolla työkaluja, joiden avulla reittejä voidaan suunnitella automaattisesti, kun tiedetään verkkotietoaineisto. (Airpelago 2023) Tulee kuitenkin huomioida, että verkkotietoaineistot eivät kulje aina absoluuttisen tarkasti sähkölinjan päällä, vaan ne voivat heittää kymmenillä metreillä, kuten kohdeyrityksen toiminnassa on havaittu. Lisäksi työkalujen hinnat ovat vielä niin korkeita, ettei niitä ole järkevää hankkia nykyisille projekteille kohdeyrityksen liiketoiminnan ollessa vielä pientä. Tämä kuitenkin kertoo sen, että automatisointi on mahdollista ja sitä kannattaa punnita.

7.3.3 Lennätystoiminta

Yhden henkilötyötunnin aikana toteutettu tarkistusmäärä on hyvin pieni perustoimintamallilla. Kohdeyrityksen hallitus on myös asettanut tehokkuudelle tietyt tavoitteet, joihin tällä menetelmällä ei päästä. Toimintatapa ei myöskään ole taloudellisesti kannattava, sillä työn kustannukset ovat tarkastusmäärään nähden suuret.

Tällä hetkellä suurin osa projektien kustannuksista muodostuu lennätystoiminnasta. Tämä on saanut kohdeyrityksen tarkastelemaan tätä osaa prosessista erityisen tarkasti, sillä operatiivisen toiminnan tehokkuuden kasvattamien on tärkeässä roolissa taloudellisen kannattavuuden kehittämisessä.

7.3.4 Laitteistohankinnat

Nykyinen laitteisto toimii tällä hetkellä suurimpana pullonkaulana. Erityisesti nykyiset dronet muodostavat pullonkaulan niiden lyhyen lentoajan takia. Lentoaika ei muodostuisi niin suureksi ongelmaksi, mikäli nykyinen laitteisto kykenisi kannattelemaan kahta sensoria samaan aikaan.

Markkinoilla on tarjolla droneja, jotka tarjoavat mahdollisuuden kiinnittää kaksi tai useamman sensorin samaan aikaan tai niiden lentoaika on huomattavasti pidempi. Esimerkiksi hybridikäyttöiset dronet, jotka käyttävät polttomoottoria akkujen lataamiseen, kykenevät kantamaan useaa sensoria samanaikaisesti, sekä niiden lentoaika on huomattavasti pidempi. Ne käyttävät bensiiniä energianlähteenä muodostaessaan siitä sähköä generaattorin avulla. (Alali, Jarrah, Lalko & Rawashdeh 2022) Sääolosuhteista riippuen, hybridit tarjoavat noin yhdestä kahteen tuntia lentoaikaa. (Avartek 2019) Kuitenkin nämä dronet toimivat usein vain niin sanottuna telakkana, johon sensorit tulee hankkia erikseen. Esimerkiksi lidar sensorien hinnat ovat useita kymmeniä tuhansia euroja, joten niiden hankinta tulee suunnitella huolella suuren investoinnin takia. (Leslie 2023)

Toinen vaihtoehto on liidokki, joko VTOL tai kiinteäsiipinen. Molemmat tarjoavat pitkää toiminta-aikaa sekä lentonopeutta, mutta datan laatu voi kärsiä. Kiinteäsiipiset eivät kykene mukailemaan sähkölinjojen jyrkkiä käännöksiä ja niiden lentonopeudet voivat olla liian suuria laadukkaan datan keräämiseen. Lisäksi kiinteäsiipinen vaatii nosto- ja laskupaikalta paljon tilaa, joka voi hankaloittaa sen käyttöä maastossa.

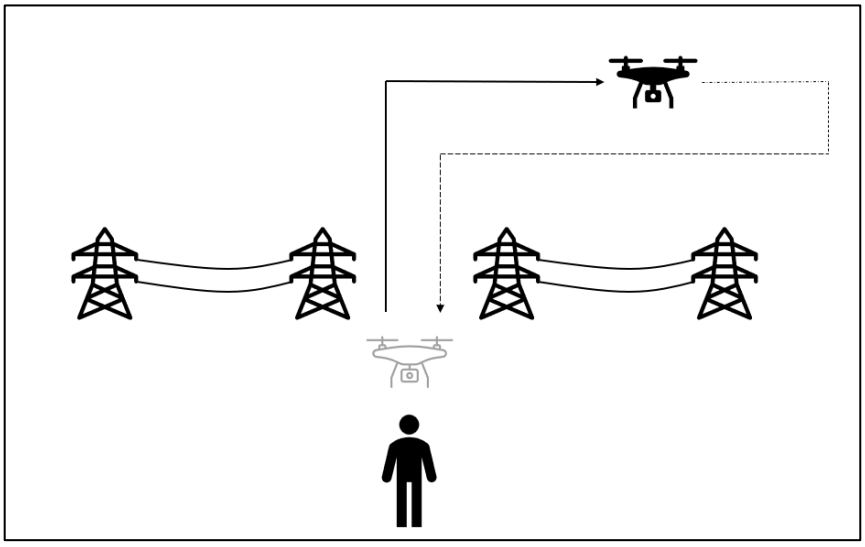
Uusien laitteistojen hankkiminen kannattaa suunnitella tarkasti ja testata laitteita yrityksen omaan käyttöön. Tällä hetkellä markkinoille tulee nopealla tahdilla uusia laitevalmistajia, mutta kohdeyrityksen uniikin käyttökohteen takia näyttöä laitteistojen soveltuvuudesta ei ole.

7.4 Toimintaehdotukset nykykalustolla

Maastotoiminnan tehostamiseksi esitellään kolme toimintaehdotusta: vaihtoehdot 1, 2 ja 3. Toimintaehdotuksissa esitellään kuinka toiminta tehostuisi, miten riskit tulisi ottaa huomioon ja vaatiiko toiminta muita muutoksia, esimerkiksi laitteistohankintoja. Toimintaehdotuksissa ei huomioida investointikustannuksia, vaan ainoastaan työn tekemisestä aiheutuneet kustannukset. Näin laskelmissa ei oteta kantaa siihen, mikäli toimintaehdotus vaatii esimerkiksi useamman auton tai dronen.

7.4.1 Toimintaehdotus 1

Tässä mallissa toimitaan kuten perustoimintamallissa, mutta yhdellä henkilöllä. Toimintaehdotus 1 esitetty kuvassa 16. Maastotoiminta pysyy siis hyvin samanlaisena. Tulee kuitenkin huomioida, että toiminnan riskit kasvavat, kun lennättäjä on yksin maastossa. Jos lennättäjälle käy jotain, on avun saaminen paikalle hitaampaa. Yksinään toimiessa ei ympäristön, kuten muun lentotoiminnan, autoilu ja sivullisten huomioiminen ole yhtä helppoa, sillä lennättäjän on keskityttävä operoimaan dronea. Lisäksi lennättäjä ei voi siirtää datoja, kun drone on ilmassa, joten tähän kuluu arviolta 10 minuuttia lisää aikaa.



Kuva 16. Toimintaehdotus 1 havainnollistettuna.

Toimintaehdotukseen 1 kulunut aika yhdellä nostopaikalla:

- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 30 min x 4
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min x 3
- Datan käsittely: 10 min
- Siirtymä: 20 min

yhteensä 180 min = 3 h

Yhtä henkilötyötuntia kohden tarkastettu kilometrimäärä lähes tuplaantuu, ollen näin 3,3 km.

7.4.2 Toimintaehdotus 2

Tässä mallissa toimitaan kuten perusmallissa, mutta kahdella dronella. Kuvassa 17 esitetty toimintaehdotus 2. Toiseen droneen kiinnitetään lidar-sensori ja toiseen kamera ja ne laitetaan lentämään nostopaikalta molempiin suuntiin linjaa. Kun ne palaavat takaisin, vaihdetaan akut ja laitetaan lentämään dronet reiteille, joita ne eivät ole vielä lentäneet.

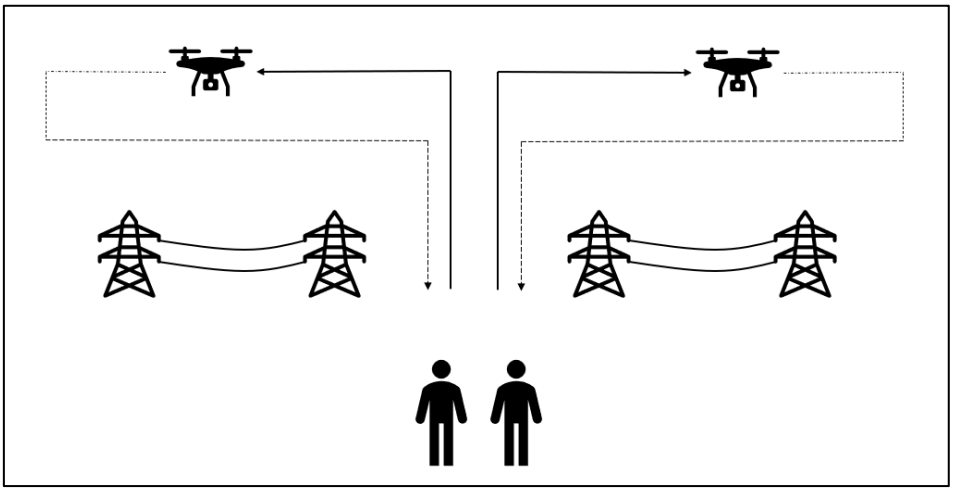
Toimintaehdotuksella 2 yhdellä nostopaikalla kuluu aikaa:

- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 30 min x 2
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min
- Datan käsittely: 5 min
- Siirtymä: 20 min

yhteensä 105 min = 1,75 h = 1 h 45 min

Tällöin tunnissa saadaan tarkastettua linjaa laskennallisesti 5,7 km, eli henkilötyötuntia kohden noin 2,9 km, koska lennättäjiä on kaksi. Laskelmissa on huomioitu empiirisistä tutkimuksista sekä haastatteluiden perusteella se, että datan käsittely on 5 minuuttia nopeampaa kuin yksin toimiessa. Tämä johtuu siitä, että lentojen jälkeen toinen maastoryhmän jäsen pakkaa kaluston samalla kun toinen alkaa käsitellä dataa. Lisäksi siirryttäessä uudelle nostopaikalle ei-ajava maastoryhmän jäsen voi samalla käsitellä edellisen nostopaikan dataa.

Toimintaehdotuksessa 2 riskit pienenevät toimintaehdotus 1:seen verratessa, kun lennättäjät työskentelevät pareittain. Molemmat lennättäjät tosin tässä mallissa operoivat omia dronejaan, jolloin ympäristön tarkkailu vähenee, kun verrataan perustoimintamalliin, kuten toimintaehdotus 1:ssäkin. Vertailukelpoisuuden kannalta on tarkoituksenmukaista tarkastella toimintaa niin, että toimintaehdotus 1:sen mukaisia partioita on kaksi, jolloin toimintaehdotuksissa on käytössä yhtä monta henkilöä sekä dronea.



Kuva 17. Toimintaehdotus 2 havainnollistettuna.

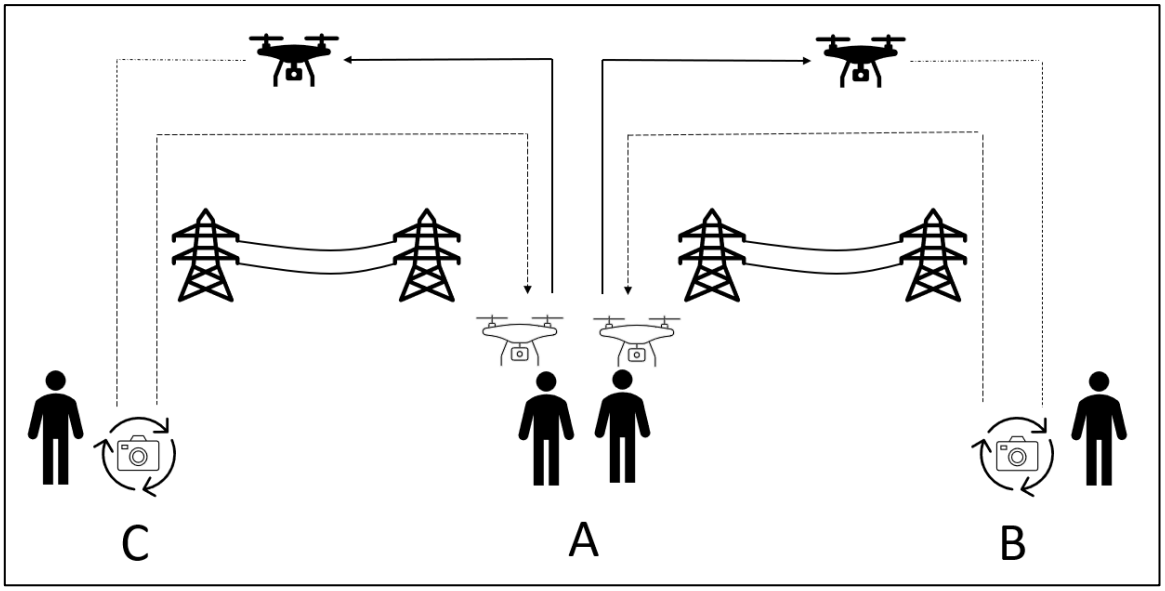
7.4.3 Toimintaehdotus 3

Toimintaehdotuksessa 3 on neljä lennättäjää ja kaksi dronea oheiskalustoineen. Droneilla lennetään paikasta A paikkoihin B ja C, joissa niihin vaihdetaan sensorit sekä akut ja ne lennätetään takaisin lähtöpaikkaan A. Toimintaehdotus 3 esitetty kuvassa 18. Toimintaehdotuksessaa saadaan kartoitettua sähkölinjaa yhdellä lennolla 10 km yhteen suuntaan, neljällä lennolla 20 km molempiin suuntiin. Lisäksi tulee huomioida sensorien ja akkujen vaihtoon kuluva 5 min lisäaika paikoilla A ja B ja ajomatkan kasvaminen 10 minuuttia kasvaneen lentomatkan takia. Aikaa kuluu siis koko prosessiin:

- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 30 min x 2
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min
- Datan käsittely: 5 min
- Siirtymä: 30 min

yhteensä 115 min = 1,92 h = 1 h 55 min

Yhtä tuntia kohden kartoitettua sähkölinjaa saadaan 20 km / 1,92 h = 10,4 km. Tämä jaettuna neljällä henkilöllä = 2,6 km/htt.



Kuva 18. Toimintaehdotus 3 havainnollistettuna.

Mallissa tule huomioida se, että still-kuvia ei voida kerätä kuin yhteen suuntaan, jolloin materiaali jää puutteelliseksi. Lisäksi ohjainyhteyden luovutukseen sisältyy riskejä, jos esimerkiksi drone jää ilman ohjaajaa hetkellisesti. Toisaalta drone voisi myös laskeutua automaattisesti, mutta tällöin ei voida varmistaa laskeutumispaikan turvallisuutta. Tämä puolestaan lisää riskejä, sillä mikäli suunnitellulla laskeutumispaikalla on ihmisiä tai omaisuutta, voi dronen hallitsematon laskeutuminen aiheuttaa vaaratilanteita.

7.4.4 Toimintaehdotusten vertailu

Taulukossa 2 on esitetty lisäksi tarkastetun verkon määrä kilometreinä henkilötyöpäivää kohden. Tämä on laskettu ottaen huomioon, että työpäivä on 10 tuntia, joten esimerkiksi perustoimintamallin päivässä tarkastettu kilometrimäärä on laskettu seuraavasti, kun yhdellä nostopaikalla käytetty aika: 2h 50min. Siten saadaan laskettua, kuinka monta kokonaista nostopaikkaa saadaan päivän aikana käytyä läpi, jolloin puolikkaita nostopaikkoja ei huomioida. 10 tunnin työpäivän aikana saadaan toteutettua 3 kokonaista nostopaikkaa. Näin

päivässä tarkastetun verkon määrä perustoimintamallilla on nostopaikkojen määrä kerrottuna yhdellä nostopaikalla tarkastettujen kilometrien määrällä, eli 10 km x 3 = 30 km. Perustoimintamallissa on kaksi lennättäjää, joten jotta saadaan kilometrit henkilötyöpäivää kohden, tulee tämä tulos jakaa kahdella. Näin yhden henkilötyöpäivän kilometrimäärä on 15 km. Laskennassa tulee ottaa huomioon, että ajankäyttöön on lisätty 20 minuuttia jokaiselle toimintaehdotukselle, sillä tämä aika kuluu ensimmäiselle nostopaikalle siirtymiseen.

Taulukko 2. Toimintaehdotusten yhteenveto.

Toimintamalli	**Henkilömäärä**	**Tarkastusnopeus [km/henkilötyö-tunti]**	**Päivässä tarkastetun verkon määrä [km/htp]**
Perustoiminta	2	1,8	15
1	1	3,3	30
2	2	2,9	25
3	4	2,6	25

Laskelmien mukaan toimintaehdotus 1 on kaikkein tehokkain, noin 0,4 km/htt ja 5 km/htp tehokkaampi kuin toimintaehdotus 2. Kuitenkin tulee ottaa huomioon muut toiminnan kannalta keskeiset asiat, kuten riskit, turvallisuus, motivaatio sekä kalusto. Kohdeyritys arvottaa toiminnassaan turvallisuuden korkealle. Toimintaehdotus 2 on turvallisempi toimintatapa huomioiden paremmin toiminnan riskit ja niiden pienentyminen kahdella lennättäjällä yhden sijaan, jonka takia sitä käytetään vertailukohtana jatkolaskelmille.

7.5 Toimintaehdotukset uudella kalustolla

Tässä luvussa käsitellään toimintaehdotuksia maastotoiminnan lennätystyöskentelyyn, kun käytetään nykyistä tehokkaampaa laitteistoa. Suoritetaan kolme laskelmaa, ensiksi käydään läpi malli, jossa lennätetään laitteistoa, jonka lentoaika on yksi tunti, mutta sillä on muuten samat ominaisuudet kuin nykyisellä kalustolla, eli siihen ei voida asentaa kuin yksi sensori kerrallaan kiinni. Seuraavaksi lasketaan malli, jossa laitteen lentoaika on tunti, mutta siihen voidaan asentaa kaksi sensoria, jolloin lennetään edestakaisin. Tämän jälkeen lasketaan

malli laitteistolla, jonka lentoaika on tunti, mutta siihen kyetään asentamaan useampi sensori samanaikaisesti, jolloin linjaa ei tarvitse lentää edestakaisin. Tämä johtuu siitä, että lidaraineisto sekä kuvat molemmista suunnista linjaa saadaan kerättyä yhden lennon aikana.

7.5.1 Edestakainen lennätys yhdellä sensorilla

Kun droneen ei saada useampaa sensoria kiinni, joudutaan lennot toteuttamaan edestakaisin, kuten nykyisellä kalustolla. Kuitenkin tarvittavien nostopaikkojen määrä pienenee, kun yhdellä lennolla voidaan lennättää kaksinkertaisesti pidempi matka. Tämä vähentää nostopaikalla tarvittaviin valmisteluihin sekä nostopaikalta toiselle siirtymisiin kulunutta aikaa, sillä nostopaikkoja on vähemmän. Kuitenkin nostopaikkojen välimatkat kasvavat, mikä lisää ajomatkaan kulunutta aikaa.

Toimintamalli nopeuttaa reititystä, sillä on nopeampaa reitittää esimerkiksi viisi pitkää reittiä kuin kymmenen lyhyttä. Tämä johtuu siitä, että reitityksessä jokaiselle reitin osiolle tulee määrittää parametrit, esimerkiksi sensorin käytön asetukset. Kun reittiä kasvatetaan, ainut lisätyö tulee reittipisteiden määrään. Mikäli tehtäisiin kaksi reittiä, tulisi nousupaikat, kalibroinnit ja parametrit asettaa aina alusta. Pidemmillä reiteillä myös maastotyö nopeutuu, kun ei tarvitse ladata niin montaa reittiä tietokoneelle.

Datanhallinnan suhteen pidemmät lennot helpottavat maastotoimintaa. Kun kerättyä dataa käsitellään ja lajitellaan sekä siirretään kovalevylle, on kansioita paljon vähemmän, kun lentojakin on vähemmän. Datan käsittelyyn kuluvan ajan ei oleteta muuttuvan.

Seuraavaksi esitellään vaihtoehdon vertailu perustoimintamalliin sekä toimintaehdotukseen 2. Vertaillaan malleja 10 h työpäivän aikavälillä. Kun lentonopeus pysyy samana, saadaan yhdellä yhden tunnin lennolla kartoitettua 10 km verkkoa. Laskennassa tulee huomioida kasvavat ajomatkat ja vähentyneet valmistelumäärät. Oletetaan ajomatkan kasvavan 10 minuuttia.

Yhden nostopaikan ajankäyttö perustoimintamallin mukaan uudella kalustolla:

- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 60 min x 4
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min x 3
- Datan käsittely: 10 min
- Siirtymä: 30 min

yhteensä 310 min = 5,17 h = 5 h 10 min

Tällöin yhtä henkilötyötuntia kohden saadaan perustoimintamallin mukaisella toimintatavalla 4,1 km / 2 hlö = n. 2 km / henkilötyötunti. Yhden työpäivän aikana voidaan lennättää 10 h / 5 h 10 min = 1 nostopaikka. Lasketaan malli myös kahdella nostopaikalla, sillä muuten aikaa jää käyttämättä paljon. Tällöin aikaa käytetään 10 h 20 min. Kahdella nostopaikalla saadaan tarkastettua sähkölinjaa 40 km. Tämä tarkoittaa, että voidaan henkilötyöpäivän aikana tarkastaa 20 km sähkölinjaa.

Kun toiminta lasketaan toimintaehdotuksen 2 mukaan, yhden nostopaikan ajankäyttö:

- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 60 min x 2
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min
- Datan käsittely: 5 min
- Siirtymä: 30 min

yhteensä 175 min = 2,9 h = 2h 55 min

Tällöin saadaan 6,9 km / 2 hlö = n. 3,5 km / henkilötyötunti. Yhden työpäivän aikana voidaan lennättää 10 h / 2 h 55 min = 3,4 nostopaikkaa. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että neljännellä nostopaikalla voitaisiin lennättää vain puolet lennoista. 10 h aikana siis voidaan tarkastaa 3 x 10 km/hlö = 30 km/htp.

7.5.2 Edestakainen lennätys kahdella sensorilla

Mallissa droneen saadaan kaksi sensoria kiinni, jolloin linja lennetään edestakaisin, mutta vain kerran. Mallissa nostopaikkojen määrä pysyy samana kuin edellisessä yhden sensorin mallissa. Toimintamalli nopeuttaa reititystä entisestään, sillä samalle verkkopätkälle ei erikseen tarvitse tehdä kahta reittiä eri sensoreilla lennettäväksi.

Seuraavaksi esitellään vaihtoehdon vertailu perustoimintamalliin sekä toimintaehdotukseen 2, kuten äskeisessä. Vertaillaan malleja nostopaikoittain sekä 10 h työpäivän aikavälillä. Kun lentonopeus pysyy samana, saadaan yhdellä yhden tunnin lennolla kartoitettua 10 km verkkoa kokonaan. Laskennassa siirtymät pysyvät samana.

Yhdellä nostopaikalla käytetty aika perustoimintamallin mukaan:

- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 60 min x 2
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min
- Datan käsittely: 5 min
- Siirtymä: 30 min

yhteensä 175 min = 2,9 h = 2h 55 min

Tällöin yhtä henkilötyötuntia kohden saadaan perustoimintamallin mukaisella toimintatavalla 6,9 km / 2 hlö = n. 3,4 km / henkilötyötunti. Yhden työpäivän aikana voidaan lennättää 10 h / 2 h 55 min = 3 nostopaikkaa. Tämä tarkoittaa, että voidaan päivän aikana tarkastaa 3

x 20 km = 60 km sähkölinjaa. Kun huomioidaan 20 min siirtymä lopussa, saadaan henkilötyöpäivää kohden kartoitettua 30 km sähkölinjaa.

Kun toiminta lasketaan toimintaehdotuksen 2 mukaan, yhden nostopaikan ajankäyttö:

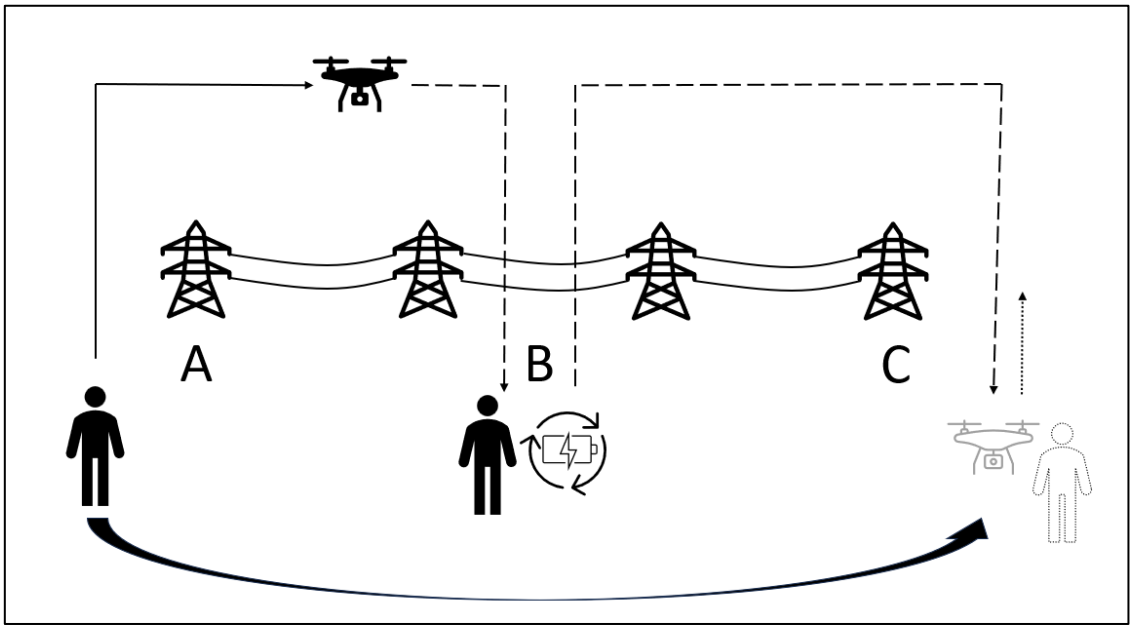
- Valmistelut: 15 min
- Lennot: 60 min
- Sensorien ja akkujen vaihdot: 5 min
- Datan käsittely: 5 min
- Siirtymä: 30 min

yhteensä 115 min = 1,9 h = 1h 55 min

Tällöin nostopaikkoja ehditään suorittaa 10 h / 1,9 h = 5 kokonaista. Tällöin yhtä henkilötyötuntia kohden saadaan 10,5 km / 2 hlö = n. 5,3 km / henkilötyötunti. Henkilötyöpäivän aikana saadaan tarkastettua linjaa 5 x 10 km = 50 km/htp.

7.5.3 Yhteen suuntaan eteneminen

Tässä mallissa lennetään paikasta A paikkaan B, jossa toinen lennättäjä vaihtaa droneen akut ja lataa uuden reitin. Tämän jälkeen drone lentää paikasta B paikkaan C, jonne A paikalla ollut lennättäjä on siirtynyt sen jälkeen, kun B paikan lennättäjä on ottanut dronen ohjattavakseen. Tässä mallissa ei ole tarvetta lentää sähkölinjaa edestakaisin, sillä drone kuvaa kaiken tarvittavan yhdellä ylilennolla. Toimintatapa havainnollistettu kuvassa 19.



Kuva 19. Etenevä toimintamalli havainnollistettuna.

Mallissa jokaisella nostopaikalla dronen akut vaihdetaan, lennätyskalusto kasataan ja uusi reitti ladataan. Malli minimoi myös välimatkoihin kuluneen ajan, kun drone on koko ajan ilmassa. Mallissa ei siis ole mukana siirtymään kulunutta aikaa, sillä sitä ei tarvitse huomioida.

Toimintamallin riskit kasvavat verrattuna muihin malleihin, kun ohjainyhteys luovutetaan toiselle lennättäjälle kesken lennon. Tämä lisää myös ympäristön kuormitusta, kun maastossa liikutaan kahdella autolla.

Drone lentää siis yhden tunnin 7 m/s, kuvaten 25 km/h. Tämän jälkeen tehdään tarvittavat toimet ja siirrytään uuteen nostopaikkaan, esim. A:sta C:hen. Aikaa kuluu tällöin valmisteluista laskeutumiseen seuraavasti:

- Valmistelut = 15 min
- Lento = 60 min
- Akun vaihto = 5 min
- Datan käsittely = 5 min

yhteensä = 85 min = 1,42 h = 1h 25 min

Näin yhden työpäivän aikana saadaan operoitua 10 h /1 h 25 min = 7 nostopaikkaa. 10 h työpäivän aikana tarkastettu kilometrimäärä on tällöin 7 x 25 km = 175 km. Henkilötyötuntia kohden tämä on 8,75 km. Kun otetaan huomioon 20 minuutin siirtyminen viimeiseltä nostopaikalta takaisin, vähenee nostopaikkojen määrä yhdellä ja on kilometrimäärä tällöin 150 km. , eli 75 km/htp.

7.6 Toimintamallien vertailu

Taulukossa 3 on esitetty toimintamallien tehokkuus yksiköissä km/htt ja km/htp. Taulukossa 3 uusi kalusto on esitetty kohdissa ”Edestakainen 1”, ”Edestakainen 2” ja ”Etenevä”, ja nämä tulokset on esitetty toimintaehdotus 2 mukaisesti laskettuna. Taulukosta voidaan huomata, että nykyisellä kalustolla toimintamallit 1 ja 2 ovat tehokkaampia kuin yrityksen tällä hetkellä käyttämä perustoimintamalli.

Taulukko 3. Toimintamallien kokonaisvertailu nykyisellä ja uudella kalustolla.

Toimintamalli	**Henkilömäärä**	**Tarkastusnopeus [km/henkilötyötunti]**	**Päivässä tarkastetun verkon määrä [km/htp]**
Perustoiminta	2	1,8	15
1	1	3,3	30
2	2	2,9	25
3	4	2,6	25
Edestakainen 1	2	3,5	30
Edestakainen 2	2	5,3	50
Etenevä	2	8,7	75

Taulukosta 3 voidaan huomata, että mikäli droneen liitettävien sensorien määrä kasvaa, kasvaa myös toiminnan tehokkuus huomattavasti. Uusi kalusto ei ole nykykalustoa tehokkaampi, verrattaessa toimintaehdotusta 1 ja edestakainen 1 malleja, mikäli ainoana parannuksena on pidentynyt lentoaika. Kuitenkin uusi kalusto olisi muutoin huomattavasti

tehokkaampi kuin nykyinen ja kaikki esitellyt toimenpiteet parantavat tehokkuutta perustoimintamalliin verrattuna.

8 Tulokset ja jatkotutkimuskohteet

Sekä tilaus-toimitusprosessille, että sen operatiiviselle toiminnalle on työssä esitetty kehitysehdotuksia. Tässä luvussa käsitellään tutkimuksen tuloksia ja kuinka ne vastaavat työn tutkimuskysymyksiin. Lisäksi esitellään jatkotutkimuskohteita työn eri osa-alueille.

8.1 Tilaus-toimitusprosessin tulosten arviointi

Ensimmäinen tutkimuskysymys oli: *Millainen kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessi on tällä hetkellä?* Tähän tutkimuskysymykseen vastattiin muodostamalla tilaus-toimitusprosessin nykytila-analyysi sekä mallintamalla tilaus-toimitusprosessi. Nämä toimivat runkona etsittäessä vastauksia toiseen tutkimuskysymykseen: *Mitä selkeitä kehityskohteita tilaus-toimitusprosessissa on?*

Tilaus-toimitusprosessin nykytila-analyysin pohjalta voidaan huomata, että kohdeyritykseltä puuttuu käytöstään selkeä mittaristo, jonka avulla prosessin toimivuutta voitaisiin mitata. Kohdeyrityksen olisi hyvä ottaa käyttöön mittareita toimintansa mittaamiseen. Työssä esiteltiin mittareita, joista voisi olla hyötyä yrityksen tilaus-toimitusprosessin tehokkuuden kehittämisessä. Lisäksi työssä mallinnettiin tilaus-toimitusprosessi havainnollistamaan prosessin kulkua ja sen osa-alueita.

On kuitenkin tärkeää huomata, ettei esitetyt mittarit ole ainoita, vaan niiden tarkoituksena on luoda pohja mittaamiselle yrityksessä. Ei ole tarkoituksenmukaista, että kohdeyritys alkaa mittaamaan kaikkea sitä, mitä työssä on esitetty mitattavaksi, vaan että yritys löytää toiminnalleen sopivat mittarit, joita se pystyy alkaa mittaamaan ja jotka ovat sille hyödyksi tässä vaiheessa liiketoimintaa.

Jatkotutkimuskohteista ensimmäisenä voidaan nähdä yrityksen ensimmäisten mittareiden arviointi, vertailu ja soveltuvuus yrityksen tarpeisiin. Tämän jälkeen tulee valita halutut mittarit toiminnan tarkasteluun, sekä tarkastella käyttöönotettujen mittareiden vaikutuksia tilaus-toimitusprosessin tehokkuuteen. Kun ensimmäiset mittarit on käyttöönotettu onnistuneesti, voidaan jatkotutkia lisämittareiden mahdollisuuksia prosessin tehokkuuden lisäämisessä sekä myöhemmin koko liiketoiminnassa.

8.2 Operatiivisen toiminnan tulosten arviointi

Kolmas tutkimuskysymys kuului näin: *Miten operatiivista kenttätoimintaa voidaan tehostaa?* Operatiivisen toiminnan osalta voidaan huomata, että nykyisellään kenttätoiminta on hyvinkin tehotonta, kun sitä verrataan vaihtoehtoisiin toimintamalleihin. Tarkasteltaessa henkilötyötuntitasolla, nykyisellä kalustolla maastotoiminnan tehokkuutta voitaisiin parantaa jopa 83 % toimintaehdotus 1:llä ja 61 % toimintaehdotus 2:lla. Kun taas tarkastellaan työpäivätasolla, toimintaehdotus 1 tehostaisi toimintaa 100 %:lla ja toimintaehdotus 2 puolestaan 67 %. Uusien kalustojen osalta erityisesti etenevä toimintamalli tehostaisi maastotyöskentelyä huomattavasti, mutta myös kahden kahdella sensorilla edestakainen lennätys olisi tehokkaampi kuin yksikään nykyisen kaluston toimintamalleista. Vertailu toimintamallien tehokkuuksista esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Toimintamallien tehokkuusvertailu.

Toimintamalli	km/htt	Tehokkuus perustoimintamalliin verrattuna [km/htt]	km/htp	Tehokkuus perustoimintamalliin verrattuna [km/htp]
Perustoiminta	1,8	100 %	15	100 %
1	3,3	183 %	30	200 %
2	2,9	161 %	25	167 %
3	2,6	144 %	25	167 %
Edestakainen 1	3,5	194 %	30	200 %
Edestakainen 2	5,3	294 %	50	333 %
Etenevä	8,7	483 %	75	500 %

Voidaankin huomata, että kohdeyrityksen olisi hyvä arvioida kannattaako nykyisellä kalustolla muuttaa operointimallia, vai investoida uuteen kalustoon. Uusi kalusto toisaalta vaatii lennättäjien uudelleen kouluttamista sekä halua ja kykyä investoida.

Haastattelututkimuksen mukaan kohdeyrityksen tulee tarkastella toimintamalleja myös siltä osin, että maastotoiminta on tehokasta, jotta laitteistosta johtuvat viivästykset, kuten akkujen riittämättömyys saadaan minimoitua. Tähän voidaan nähdä ratkaisuna lisäakkujen hankinta tai reittisuunnittelun parempi ajoitus, jolloin maastotyöskentelijät voivat optimoida akkujen riittävyyttä lennoille.

Jatkotutkimuskohteena operatiivisessa toiminnassa tulisi selvittää, millaisia laitteistoja kohdeyritys voi hankkia toimintansa tehostamiseen ja onko laitteistojen hankinnalle joitakin esteitä tai hidasteita, joita esimerkiksi jatkuvasti muuttuva lainsäädäntö miehittämättömän ilmailun pelikentälle luo. Lisäksi toimintamallien kustannukset oli rajattu toimintamallien laskelmista pois. Onkin hyvä selvittää ennen mahdollisia laitteistohankintoja kiinteiden sekä muuttuvien kustannusten vaikutus toimintamalleihin, jolloin voidaan tarkemmin saada selville toimintamallien todelliset hyödyt.

9 Yhteenveto

Sähköverkot osana energiajärjestelmää ovat murroksessa. Verkkoihin kohdistuu yhä suurempaa rasitetta yhteiskunnan siirtyessä fossiilisista polttoaineista uusiutuviin, kuten sähköautoihin ja aurinkoenergiaan. Näiden tekijöiden kasvu lisää tarvetta sähköverkkojen yhä tehokkaammalle kunnossapidolle ja innovatiivisille kunnossapitotoimille. Kun verkkoon lisätään kuormitusta kuluttajien ollessa yhä riippuvaisempia sähköverkon toimivuudesta, tulee kunnossapitomallien myös kehittyä.

Tutkimuksen tavoitteena oli tutkia kohdeyrityksen tilaus-toimitusprosessin nykytilaa, löytää siitä kehityskohteita sekä antaa kehitysehdotuksia löydettyihin kehittämiskohteisiin. Tilaus toimitusprosessin nykytila selvitettiin toteuttamalla nykytila-analyysi, joka sisälsi myyntiprosessin ja tilaus-toimitusprosessin mallintamisen sekä niiden toimintojen esittelyt. Nykytila-analyysi toteutettiin tarkastelemalla kohdeyrityksen sisäisiä aineistoja sekä haastattelemalla prosessien vastuuhenkilöitä. Analyysin tuloksena huomattiin, että kohdeyritys ei ole määrittänyt toiminnalleen mittareita, joita se voisi hyödyntää toimintansa kehittämisessä. Tutkimuksessa esiteltiin toiminnan kannalta oleellisia mittareita, joita kohdeyritys voisi käyttää prosessin tehostaakseen tilaus-toimitusprosessiaan.

Tutkimuksen tavoitteena oli myös tarkastella yrityksen operatiivista maastotoimintaa osana tilaus-toimitusprosessia sekä antaa kehitysehdotuksia maastotoiminnan toteuttamiselle. Maastotoimintaa on mahdollista tehostaa huomattavasti muuttamalla toimintaa nykyisellä kalustolla tai hankkimalla kalustoa, joiden lentoajat ja sensorien kantokyvykkyydet ovat suurempia.

Lähteet

Ahmad, R. & Kamaruddin, S. 2012. An overview of time-based and condition-based maintenance in industrial application. Computers & Industrial Engineering. Vol. 63, nro. 1. s. 135-149.

Airpelago. 2023. Software. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 05.10.2023] Saatavissa: https://www.airpelago.com/software

Allred, C. 2023. 5 Major Benefits of Drone Power Line Inspections. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.08.2023]. Saatavissa: https://thedronelifenj.com/benefits-of-drone-power-line-inspections/

Aluevalvontalaki 2000/755. Annettu Helsingissä 18.08.2000.

Anand, N. & Grover, N. 2015. Measuring retail supply chain performance: Theoretical model using key performance indicators (KPIs). Benchmarking : an international journal.Vol. 22, nro. 1, s. 135-166.

Austin, R. 2010 Unmanned Aircraft Systems: UAVS Design, Development and Deployment. John Wiley & Sons, Incorporated. ProQuest Ebook Central.

Avartek. 2019. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 10.10.2023] Saatavissa: https://avartek.fi/

Baehre, S., O´Dwyer, M., O´Malley, L. & Lee, N. 2022. The use of Net Promoter Score (NPS) to predict sales growth: insights from an empirical investigation. Journal of the Academy of Marketing Science, Springer. Vol. 50, nro. 1, s. 67-84.

Bokranz, J., Skoogh, A., Berlin, C., Wuest, T. & Stahre, J. 2020. Smart Maintenance: an empirically grounded conceptualization. International journal of production economics. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 28.1.2024]. Saatavissa: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925527319303615?via%3Dihub

Boon, M., Drijfhout, A. & Tesfamichael, S. 2017. COMPARISON OF A FIXED-WING AND MULTI-ROTOR UAV FOR ENVIRONMENTAL MAPPING APPLICATIONS: A CASE STUDY. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 12.07.2023] Saatavissa: https://isprs-archives.copernicus.org/articles/XLII-2-W6/47/2017/

Carter, N., Bryant-Lukosius, D., DiCenso, A., Blythe, J., & Neville, A. J. 2014. The use of triangulation in qualitative research. Oncology Nursing Forum. Vol. 41, nro. 5, s. 545-547.

Chan, F. 2003. Performance Measurement in a Supply Chain. International journal of advanced manufacturing technology. Vol.21, nro. 7, s. 534-548.

Christopher, M. 2005. Logistics and supply chain management: Creating value-adding networks. 3. painos. Pearson Education. s.298.

Cortes-Cornax, M., Dupuy- Chessa, s., Rieu, D. & Mandran, N. 2014. Evaluating the appropriateness of the BPMN 2.0 standard for modeling service choreographies: using an extended quality framework. Software and systems modeling. Vol. 15, nro. 1, s. 219-255.

Crosby, A. 2022. Fixed-wing vs multirotor drones: Which is better? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 02.08.2023]. Saatavissa: https://geonadir.com/fixed-wing-vs-multirotor-drones/

Cygnel, S. 2023. Ahvenanmaalla itsenäisesti. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 20.08.2023]. Saatavissa: https://www.fingridlehti.fi/ahvenanmaalla-itsenaisesti/

DJI. 2023. DJI Matrice 300 RTK. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 23.12.2023]. Saatavissa: https://store.dji.com/fi/product/matrice-300-rtk-and-dji-care-plus?vid=111261

EASA. 2022. Easy Access Rules for Unmanned Aircraft Systems. s. 443.

EASA. 2023a. Drone-operaattorit ja -lennättäjät. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.08.2023]. Saatavissa: https://www.easa.europa.eu/fi/light/topics/drone-operators-pilots

EASA 2023b. Drones Class 0: Basics and height limit of 120 m. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 22.08.2023]. Saatavissa: https://www.easa.europa.eu/en/document-library/general-publications/drones-class-0-basics-and-height-limit-120-m

Elovaara, J. & Haarla, L. 2011. Sähköverkot 1: järjestelmätekniikka ja sähköverkon laskenta, Helsinki: Otatieto.

Elrod, C., Murray, S. & Bande, S. 2013. A Review of Performance Metrics for Supply Chain Management. Engineering Management Journal. Vol. 25, nro. 3, s. 39-50.

Energiamaailma 2023. Sähköverkko. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 20.08.2023]. Saatavissa: https://energiamaailma.fi/energiasta/energian-tie-kotiin/sahkoverkko/

Energiavirasto. 2020. Selvitys sähkön jakeluverkkotoiminnan hinnoittelun ja toimitusvarmuuden valvonnasta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 19.08.2023]. Saatavissa: https://tem.fi/documents/1410877/57830352/Selvitys+s%C3%A4hk%C3%B6n+jakeluverkkotoiminnan+valvonnasta+2020.pdf/deb76fd3-5293-f965-b4f9-fa94a00fa535/Selvitys+s%C3%A4hk%C3%B6n+jakeluverkkotoiminnan+valvonnasta+2020.pdf?t=1611819709563

Energiavirasto. 2021. Energiavirasto on määrittänyt muutokset sähkönjakelun valvontamenetelmiin. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 19.08.2023] Saatavissa: https://energiavirasto.fi/-/energiavirasto-on-maarittanyt-muutokset-sahkonjakelun-valvontamenetelmiin-

Energiavirasto. 2023a. Verkkotoiminnan luvanvaraisuus. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 19.08.2023] Saatavissa: https://energiavirasto.fi/verkkotoiminnan-luvanvaraisuus

Energiavirasto. 2023b. Hinnoittelun valvonta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 19.08.2023] Saatavissa: https://energiavirasto.fi/hinnoittelun-valvonta

Erityisalojen hankintalaki 2016/1398. Annettu Helsingissä 29.12.2016.

EU. 2023. Euroopan unionin lentoturvallisuusvirasto (EASA). [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 11.10.2023] Saatavissa: https://european-union.europa.eu/institutions-law-budget/institutions-and-bodies/search-all-eu-institutions-and-bodies/european-union-aviation-safety-agency-easa_fi

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2018/1139. Annettu 04.07.2018.

Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2016/679. Annettu 27.04.2016.

Evision. 2023a. Evision. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.08.2023] Saatavissa: https://evision.fi/

Evision. 2023b. Palvelut. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 26.08.2023] Saatavissa: https://evision.fi/palvelut

Fingrid. 2023. Suomen sähköjärjestelmä. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 20.08.2023]. Saatavissa: https://www.fingrid.fi/kantaverkko/kehittaminen/suomen-sahkojarjestelma/

Fintraffic. 2023. Ohjeita dronen lennättäjille. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 05.08.2023] Saatavissa: https://www.fintraffic.fi/fi/ans/ohjeita-dronen-lennattajille

Forslund, H., Johnson, P. Mattson, S. & Bask, A. 2009. Order-to-delivery process performance in delivery scheduling environments. International journal of productivity and performance management. Vol. 58, nro. 1, s. 41–53.

Goldbach, M. 2002. Organisational Settings in Supply Chain Costing. Cost Management in Supply Chains. Heidelberg, Physica-Verlag. s. 435.

Gruber, S., Kwon, H., York, G. & Pack, D. 2018. Payload Design of Smal UAVs. Handbook of Unmanned Aerial Vehicles. Springer International Publishing AG.

Gundlach, J. 2012. Designing unmanned aircraft systems: a comprehensive approach. American Institute of Aeronautics and Astronautics. s. 785.

Gupta, S., Ghonge, M. & Jawandhiya, P. 2013, "Review of Unmanned Aircraft System (UAS)". International Journal of Advanced Research in Computer Engineering & Technology. Vol. 9, nro. 4.

Handfield, R. & Nichols, E. 2002. Supply Chain Redesign. Pearson Education. s. 365.

Henkilötietolaki 1999/523. Annettu Helsingissä 22.04.1999.

Huoltovarmuskeskus 2024. Huoltovarmuus Suomessa. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 01.01.2024] Saatavissa: https://www.huoltovarmuuskeskus.fi/tietoa-huoltovarmuudesta/huoltovarmuus-suomessa

Ilmailulaki 2014/864. Annettu Helsingissä 07.11.2014.

Jarrah, K., Alali, Y., Lalko, A.& Rawashdeh, O. 2022. Flight Time Optimization and Modeling of a Hybrid Gasoline–Electric Multirotor Drone: An Experimental Study. Aerospace. Vol. 9, nro. 12. s.799.

Järviö, J. & Lehtiö, T. 2012. Kunnossapito: tuotanto-omaisuuden hoitaminen. 5. uud. p. KP-Media.

Järviö, J. 2007. Kunnossapito. 4. uud. p. Helsinki: KP-Media.

JOUAV. 2023. Verticle Take-off and Landing Drone (VTOL). [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 5.10.2023] Saatavissa: https://www.jouav.com/vtol-drone

Keane, J. & Carr. S. 2013. A Brief History of Early Unmanned Aircraft. JOHNS HOPKINS APL TECHNICAL DIGEST. Vol. 32, nro. 3.

Keegan, D., Eiler, R. & Jones, C. 1989. Are your performance measures absolute?

KOMISSION DELEGOITU ASETUS (EU) 2019/945. Annettu 12.03.2019.

KOMISSION TÄYTÄNTÖÖNPANOASETUS (EU) 2019/947. Annettu 24.05.2019.

KSOY. 2021. Tiedätkö, miten sähkö kulkee? Tunnistatko erilaiset johdot? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 20.08.2023]. Saatavissa: https://www.ksoy.fi/energiaa/miten-sahko-kulkee/

Kubheka, I., Kholopane, P. & Mbohwa, C. 2013, The Effects of Flattening Hierarchies on Employee Perfromance in Organizations: A Study of a South African Retail Group. International Conference on Law, Entrepreneurship and Industrial Engineering. s. 217–222.

Laitinen, E. K. 1998. Yritystoiminnan uudet mittarit. Helsinki. Kauppakaari Oyj. s.360.

Lambert, D. 2008. Supply Chain Management Processes, Partnerships, Performance. 3. painos. Sarasota, Yhdysvallat: Supply Chain Management Institute. 172 s.

Lassila, J., Kaipia, T., Haakana, J. & Partanen, J. 2009. Electric Cars – Challenge or Opportunity for the Electricity Distribution Infrastructure? Madrid: ELECTRIFICATION OF MOBILITY AND THE ELECTRICAL NETWORK. Saatavissa: https://www.researchgate.net/profile/Tero-Kaipia/publication/265807308_Electric_Cars_-_Challenge_or_Opportunity_for_the_Electricity_Distribution_Infrastructure/links/54b119280cf220c63ccf8dee/Electric-Cars-Challenge-or-Opportunity-for-the-Electricity-Distribution-Infrastructure.pdf

Lentoposti. 2019. Poliisilla jo lähes 400 drone-lentäjää - operaatiomäärä yli kaksinkertaistunut edellisvuodesta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 01.09.2023]. Saatavissa: https://www.lentoposti.fi/uutiset/poliisilla_jo_l_hes_400_drone_lent_j_operaatiom_r_yli_kaksinkertaistunut_edellisvuodesta

Leslie, J. 2023. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 29.08.2023]. Saatavissa: https://dronesurveyservices.com/how-much-is-a-lidar-drone/

Lönnqvist, A., Kujansivu, P. & Antikainen, R. 2006. Suorituskyvyn mittaaminen: tunnusluvut asiantuntijaorganisaation johtamisvälineenä. 2. Uudistettu painos. Edita, Helsinki. s. 162.

LUT. 2021. Sähköverkon käyttöä voi tehostaa joustoilla. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 29.07.2023]. Saatavissa: https://www.lut.fi/fi/uutiset/sahkoverkon-kayttoa-voi-tehostaa-joustoilla

Maharana, S. 2017. Commercial drones. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.09.2023]. Saatavissa: https://www.digitalxplore.org/up_proc/pdf/264-14863843671-6.pdf

Muller, A., Marquez, A. & Benoit, L. 2008. On the concept of e-maintenance: Review and current research. Reliability engineering & system safety. Vol. 93, nro. 8. s. 1165-1187.

Moshan, S., Othman, N., Li, Y., Alsharif, M. & Khan, M. 2022. Unmanned aerial vehicles (UAVs): practical aspects, applications, open challenges, security issues, and future trends. Intelligent Service Robotics.

Omkar, B. & Sonia, M. 2021. Unmanned Aerial Vehicle (UAV) Market. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 01.09.2023]. Saatavissa: https://www.alliedmarketresearch.com/unmanned-aerial-vehicle-market-A09059

Peng, K., Coi, G., Chen, B., Dong, M., Lum, K. & Lee, T. 2009. Design and implementation of an autonomous flight control law for a UAV helicopter. Automatica. Vol 45, nro 10.

PKSS. 2023. Me siirrämme sähköä. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 21.08.2023]. Saatavissa: https://pkssahkonsiirto.fi/tietoa-meista/

Prodrone. 2017. PRODRONE Develops the “Speed Delivery”. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 24.08.2023]. Saatavissa: https://www.prodrone.com/release-en/2874/

Propeller Aero. 2023. Fixed-Wing & VTOL Drones vs Quadcopters for Surveying: How to Decide. [Verkkoaineisto]. [Viitattu: 05.10.2023] Saatavissa: https://www.propellera-ero.com/fixed-wing-vtol-drones-vs-quadcopters-for-surveying-how-to-decide/

PSK 6201. Kunnossapito. Käsitteet ja määritelmät. PSK Standarointi. 2022.

Pulliainen, M. 2023. Ukrana tuhoaa jopa Venajän uusimpia T-90-tankkeja halvoilla FPV-laitteilla – Asiantuntija: ”Vallanunouksellista”. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 12.03.2023]. Saatavissa: https://www.tekniikkatalous.fi/uutiset/ukraina-tuhoaa-jopa-venajan-uusimpia-t-90-tankkeja-halvoilla-fpv-laitteilla-asiantuntija-vallankumouksellista/848fa16c-2157-4b8e-9db5-4e6c132d90d9

Rantanen, H. & Holtari, J. 1999. Yrityksen suorituskyvyn analysointi. Lappeenranta: Lappeenrannan teknillinen korkeakoulu.

Rennie, J. 2016. DRONE TYPES: MULTI-ROTOR VS FIXED-WING VS SINGLE ROTOR VS HYBRID VTOL. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 24.08.2023]. Saatavissa: https://www.auav.com.au/articles/drone-types/

Rymer, N. & Moore, A. J. 2019. A Review of Unmanned Aerial Vehicle Technology in Power Line Inspection. Journal of Energy Resources Technology. Vol. 141, nro. 7.

Saari, S. 2004. Tulosmatriisiohjaus: ominaisuudet ja käyttö: miten saada halutut asiat tehdyksi organisaatiossa? Espoo: MIDO oy.

Sähkö- ja maakaasumarkkinoiden valvontalaki 2013/590. Annettu Helsingissä 09.08.2013.

Sähkömarkkinalaki 2013/588. Annettu Helsingissä 09.12.2013.

Sähköturvallisuuslaki 2016/1135. Annettu Helsingissä 16.12.2016.

Sakki, J. 1999.Logistinen prosessi: tilaus-toimitusketjun hallinta. Espoo. J. Sakki. s. 238.

Sakki, J. 2009. Tilaus-toimitusketjun hallinta: B2B - vähemmällä enemmän. 7. uud. p. Vantaa: Jouni Sakki.

Sallinen, P. 2022. Valvontamalli remonttiin? [Verkkoaineisto]. [Viitattu 20.08.2023]. Saatavissa: https://www.energiauutiset.fi/kategoriat/markkinat/valvontamalli-remonttiin-2.html

Seneviratne, D., Ciani, L., Catelani, M., & Galar, D. 2018. Smart maintenance and inspection of linear assets: An Industry 4.0 approach. Acta IMEKO, vol. 7, nro. 1.

SFS-EN 13306. Maintenance. Maintenance terminology. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2017.

SFS-EN 27001. Tietoturvallisuus, kyberturvallisuus ja tietosuoja. Tietoturvallisuuden hallintajärjestelmät. Vaatimukset” Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2023.

SFS-EN 50160. Yleisestä jakeluverkosta syötetyn sähkön jänniteominaisuudet. Suomen standardisoimisliitto, Helsinki, 2022.

Takaya, K., Ohta, H., Kroumov, V., Shibayama, K. & Nakamura, M. 2019. Development of UAV System for Autonomous Power Line Inspection. 23rd International Conference on System Theory, Control and Computing (ICSTCC), Sinaia, Romania. s. 762-767.

Taylor, J. & Guilmartin, J. 2023. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 01.09.2023]. Saatavissa: https://www.britannica.com/technology/military-aircraft/Unmanned-aerial-vehicles-UAVs

Traficom. 2021. Ilmailun maahuolinta. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 04.07.2023]. Saatavissa: https://www.traficom.fi/fi/liikenne/ilmailu/ilmailun-maahuolinta

UAV Coach. 2020. How to Fly a Drone - A Beginner's Guide to Multirotor Systems & Flight Proficiency. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 12.03.2021]. Saatavissa: https://uav-coach.com/howto-fly-a-quadcopter-guide/

UAV Model. 2023. Skyeye Glass fiber 2030mm UAV Fixed Wing. [Verkkoaineisto]. [Viitattu 01.09.2023]. Saatavissa: https://www.uavmodel.com/products/skyalong-glass-fiber-2030mm-uav-fixed-wing

Valmiuslaki 2011/1552. Annettu Helsingissä 29.12.2011.

Vna 2014/930. Valtioneuvoston asetus ilmailulta rajoitetuista alueista. Annettu Helsingissä 13.11.2014.

Liite 1. Haastattelututkimuksen suostumus ja tiedonanto lomake.

TUTKITTAVAN SUOSTUMUS

TUTKIMUKSEN NIMI:

Operatiivisen droneilla toteutettavan maastotoiminnan tehokkuus ja kehittäminen sähköverkkojen kunnossapitotarkastuksissa.

Minua on pyydetty osallistumaan yllä mainittuun tieteelliseen tutkimukseen ja olen perehtynyt tutkimustiedotteeseen. Olen saanut riittävästi tietoa tutkimuksesta, sen riskeistä ja haitoista sekä sen yhteydessä suoritettavasta henkilötietojeni keräämisestä, käsittelystä ja luovuttamisesta. Minulle on kerrottu tutkimuksen sisältö suullisesti sekä kirjallisesti ja olen saanut riittävät vastaukset kysymyksiini. Selvityksen tutkimuksesta minulle antoi kirjallisesti sekä suullisesti haastattelututkimuksen suorittaja Taneli Ristola.

Minulla on ollut riittävästi aikaa harkita osallistumistani tutkimukseen. Ymmärrän, että tähän tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Minulla on oikeus kieltäytyä tutkimuksesta tai peruuttaa jo aiemmin antamani suostumus syytä ilmoittamatta, milloin tahansa tutkimuksen aikana. Jos päätän peruuttaa suostumukseni, ilmoitan siitä tutkimuksen suorittajalle.

Tutkimuksesta kieltäytymisestä tai suostumuksen peruuttamisesta ei aiheudu minulle kielteisiä seurauksia eikä se vaikuta asemaani työntekijänä. Olen tietoinen siitä, että mikäli peruutan suostumukseni tai osallistumiseni tutkimukseen keskeytyy muusta syystä, siihen mennessä kerättyjä tietojani voidaan edelleen käsitellä tässä tutkimuksessa, mikäli tutkimuksen toteuttaminen vaatii sitä ja lainsäädäntö sallii sen.

Allekirjoituksellani vahvistan osallistuvani tähän tutkimukseen ja suostun vapaaehtoisesti tutkittavaksi.

[Paikka:] __.__20__ [Paikka:] __.__20__

Suostun osallistumaan tutkimukseen:

_____ _____

Tutkittavan allekirjoitus Tutkijan allekirjoitus

_____ _____

Nimenselvennys Nimenselvennys

TIEDOTE TUTKIMUKSESTA

Tutkimuksen nimi:
Operatiivisen droneilla toteutettavan maastotoiminnan tehokkuus ja kehittäminen sähköverkkojen kunnossapitotarkastuksissa.

Pyyntö tutkimukseen osallistumisesta

Pyydämme teitä osallistumaan tähän tutkimukseen, jossa tutkitaan droneilla toteuettavan sähköverkkojen kunnossapitotarkastusten maastotoiminnan tehokkuutta, sillä Te olette olleet mukana työroolinne puolesta organisaatiossa joko toimintamallien kehittämisessä tai niiden käyttäjänä. Tämä tiedote kuvaa tutkimusta ja Teidän mahdollista osuuttanne siinä. Lukekaa rauhassa tämä tiedote. Jos Teillä on kysyttävää, voitte olla yhteydessä Taneli Ristolaan (yhteystiedot löytyvät asiakirjan lopusta). Mikäli päätätte osallistua tutkimukseen, Teitä pyydetään allekirjoittamaan viimeisellä sivulla oleva suostumus.

Osallistumisen vapaaehtoisuus

Tähän tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista. Voitte kieltäytyä tutkimuksesta tai peruuttaa jo antamanne suostumuksen syytä ilmoittamatta, milloin tahansa tutkimuksen aikana. Jos päätätte peruuttaa suostumuksenne, tai osallistumisenne tutkimukseen keskeytyy muusta syystä, siihen mennessä kerättyjä henkilötietojanne (nimi ja sähköposti) voidaan edelleen käyttää tutkimusaineistona tässä tutkimuksessa, mikäli tutkimuksen toteuttaminen vaatii sitä ja lainsäädäntö sallii sen. Jos haluatte peruuttaa tutkimukseen antamanne suostumuksen, ilmoittakaa siitä tutkimuksen suorittajalle.

Tutkimuksen toteuttaja

Tämän tutkimuksen toteuttavat LUT-yliopisto yhdessä [redacted] kanssa. Tutkimuksen rekisterinpitäjät ovat LUT-yliopisto sekä [redacted]. Toteuttajat vastaavat tutkimusaineiston käsittelystä sekä tulosten julkaisusta.
Nämä tahot vastaavat tutkimuksen yhteydessä tapahtuvan henkilötietojen käsittelyn lainmukaisuudesta. Rekisterinpitäjät vastaavat henkilötietojen käsittelyä koskeviin kysymyksiin. Rekisterinpitäjät sijaitsevat ETA-alueen sisällä.

Tutkimuksen tarkoitus

Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia droneilla toteutettavan sähköverkkojen kunnossapitotarkastusten maastotoiminnan tehokkuutta. Tutkimuksen aikana tullaan luomaan myös valmiuksia kehittää maasto-operoinnin toimintamalleja.

Tutkimukseen pyydetään mukaan henkilöitä, jotka ovat työroolinsa puolesta olleet mukana työroolinsa puolesta joko toimintamallien kehittämisessä tai niiden käyttäjänä. Tällöin tutkimuksessa voidaan arvioida toiminnan todellisia vahvuuksia sekä heikkouksia.

Tutkimusmenetelmät ja tutkimuksen toimenpiteet

Tutkimukseen osallistuminen kestää noin tunnin per haastateltava henkilö. Tutkimus koostuu puolistrukturoidusta teemahaastattelusta.

Tutkimus toteutetaan siten, että haastateltavaa kontaktoidaan tutkimukseen osallistuvien henkilöiden toimesta työsähköpostin, työssä käytettävän puhelimen tai digitaalisen verkkoviestintäalustan, kuten Teams -alustan välityksellä ja sovitaan teemahaastattelun ajankohta. Tämän jälkeen haastateltavalle lähetetään tutkimukseen osallistuvan henkilön toimesta työsähköpostiin kalenterikutsu haastatteluun, josta ilmenee tutkimuksen tarkoitus ja teemahaastattelun tekninen suoritusmuoto, Teams -haastattelu.

Tutkimuksen teemahaastattelun alkaessa tutkija esittäytyy ja varmistaa, että haastateltavan henkilön rooli vastaa suunniteltua tutkimusasetelmaa. Tämän jälkeen tutkimuksen osallistujalle kerrataan tutkimuksen tausta ja tavoite sekä varmistetaan suostumus tutkittavaksi tulemisesta. Seuraavaksi haastateltavalta pyydetään lupa haastattelun nauhoittamiseen ja kerrotaan nauhoitetun ja litteroidun tutkimusaineiston käsittelystä ja hyödyntämisestä. Tämän jälkeen, mikäli lupa on saatu, siirrytään varsinaiseen teemahaastatteluun, jonka tarkoituksena on kehittää toimintaprosessien kehittämistä.

Tutkimuksen aikana tulee huomioida, että verkkoyhteys on riittävä sekä haastateltavalla että tutkijalla ja nauhoitus sekä litterointi ovat käynnissä, jotta haastattelun tuloksia voidaan hyödyntää tutkimuksessa täysimääräisesti.

Tutkimuksen suorittaja voi ottaa yhteyttä myös puhelimitse, mikäli tutkimusaineistoon tarvitaan tarkennuksia, täsmennyksiä tai jokin seikka on epäselvä. Tutkimuksen suorittajaan voi myös itse ottaa yhteyttä tutkimuksen aikana, esimerkiksi jos henkilön rooliin on tapahtunut tai tapahtumassa keskeisiä muutoksia tai haastateltava henkilö haluaa tehdä lisäyksiä haastattelusta saatuun tutkimusaineistoon.

Tutkimukseen liittyvät hyödyt sekä mahdolliset riskit ja haitat

Tähän tutkimukseen osallistumisesta on merkittävä hyöty maastotoiminnan kehittämisestä, sillä haastateltavilla on ensiluokkainen kokemus toimintamallien kehittämisestä tai käytöstä.

Tähän tutkimukseen liittyvät mahdolliset haitat ovat tutkimuksen suorittamiseen liittyvä ajankäytöllinen panostus, joka on kuitenkin maltillinen tutkimuksesta arviolta saatavien hyötyihin nähden. Koska kyseessä on melko rajattu roolipohjainen teemahaastattelu, jonka teemat koskevat maastotyöskentelyn tehokkuutta, varsinaiset haittoihin tai epämukavuustekijöihin liittyvät riskit ovat hyvin minimaalisia ja hallittavissa olevia. Tutkimuksen toimintaprosessien ja menetelmien tutkimisen luonteen takia fyysiset haitat eivät ole todennäköisiä riskejä.

Tutkimukseen osallistumisesta voi erittäin epätodennäköisesti aiheutua myös odottamattomia haittoja, joita ei tutkimuksen suunnitteluvaiheessa ole pystytty ennakoimaan. Jos tutkimuksen aikana saadaan turvallisuuden tai tutkimuksen jatkamisen kannalta oleellista uutta tietoa, tutkija ottaa välittömästi yhteyttä ja keskustelee tutkimuksen jatkosta.

Tutkittavien vakuutusturva

Haastateltavat henkilöt ovat vakuutettuja työnantajan eli [redacted] toimesta laissa tarkemmin säädellyin edellytyksin.

Tutkimuksen kustannukset ja taloudelliset selvitykset

Tutkimukseen ja teemahaastatteluihin osallistumisesta ei makseta erillistä palkkiota vaan niiden katsotaan kuuluvan tavanomaiseen työaikaan ja olevan muita työnantajan osoittamia tehtäviä, joiden tarkoituksena on kehittää organisaation toimintaa.

Henkilötietojen käsittely ja tietojen luottamuksellisuus

Henkilötietojanne (nimi, sähköposti) käsitellään tässä tiedotteessa kuvattua tieteellistä tutkimusta varten. Henkilötietojen käsittelyn perusteena on tietosuojalaki sekä Euroopan parlamentin ja neuvoston asetus (EU) 2016/679 (yleinen tietosuoja-asetus).

Tutkimuksessa kerätään ja käsitellään vain tutkimuksen toteuttamiseksi tarvittavia henkilötietojanne. Teistä kerättyjä henkilötietoja ja tutkimustuloksia käsitellään luottamuksellisesti henkilötietojen käsittelyä koskevan lainsäädännön edellyttämällä tavalla. Teidän henkilöllisyytenne on ainoastaan tutkimusta suorittavien tutkijoiden tiedossa, ja he kaikki ovat salassapitovelvollisia. Yksittäisen tutkittavan tunnistaminen ei ole mahdollista tutkimustulosten julkaisuista tai selvityksistä.

Tutkimuksessa teistä kerätään seuraavia tietoja: nimi, sähköposti, asema (työtehtävä) organisaatiossa.

Tutkimuksessa teitä koskevia tietoja käsittelee vain tätä tutkimusta toteuttava tutkimushenkilö.

Valvontaviranomaisella (Tietosuojavaltuutettu) on oikeus varmistaa, että henkilötietojen käsittely on toteutettu asianmukaisella tavalla.

Luovuttamianne tietoja voidaan luovuttaa koodattuna alkuperäistä tarkoitusta varten tutkimusryhmän ulkopuolisille tahoille liittyen esim. julkaisutoimintaan, tutkimusyhteistyöhön toisten tutkijoiden kanssa, tai viranomaistoimintaan ym. Tällöinkin kaikkia osapuolia sitovat em. salassapitovelvollisuudet.

Kaikkine tietojenne säilytysaikaa sääntelee lainsäädäntö sekä hyvä tutkimustapa. Tutkimuksen yhteydessä kerättyjä henkilötietoja säilytetään koodattuina rekisterinpitäjillä enintään yksi (1) vuosi, jonka jälkeen voidaan tehdä tarveperusteinen säilytysajan uudelleen arviointi.

Tieteelliseen tutkimukseen liittyy olennaisesti tutkimustulosten julkaiseminen tieteellisissä julkaisuissa, kotimaisissa, eurooppalaisissa, ETA-alueen ulkopuolisissa lehdissä sekä väitöskirjoissa tai muissa opinnäytetöissä. Tällöin tutkimustulokset ovat koodattuja eikä yksittäistä vastaajaa ole mahdollista tunnistaa.

Tutkimustuloksista tiedottaminen

Tutkimustulokset ovat saatavilla koosteena raportin sekä diplomityön muodossa [redacted] ja LUT-yliopiston omissa sisäisissä jakelukanavissa sekä diplomityö julkisesti LUT-portaalissa.

Henkilötietojen käsittelyyn liittyvät oikeudet

Teillä on oikeus nähdä teistä tutkimuksen yhteydessä kerätyt henkilötiedot, sekä saada tietoa, mihin henkilötietojanne on käytetty, kenelle niitä on luovutettu ja mitä tarkoitusta varten. Teillä on myös oikeus pyytää tietojenne oikaisemista tai täydentämistä, jos havaitsette niissä virheitä tai puutteita. Lisäksi teillä on oikeus pyytää tietojenne käsittelyn rajoittamista.

Teillä on oikeus tehdä valitus valvontaviranomaiselle, jos katsotte, että henkilötietojenne käsittelyssä rikotaan EU:n yleistä tietosuoja-asetusta (EU) 2016/679 tai muuta sovellettavaa tietosuojalainsäädäntöä. Suomessa valvontaviranomainen on tietosuojavaltuutettu.

Tietosuojavaltuutetun toimisto
Lintulahdenkuja 4, 00530 Helsinki, PL 800, 00531 Helsinki
Puhelinvaihde: 029 566 6700
Sähköposti: tietosuoja@om.fi

Lisätiedot ja tutkijoiden yhteystiedot

Mahdollisia kysymyksiä tutkimuksesta pyydämme teitä esittämään:

Taneli Ristola, [redacted]