

Tommi Lehtinen

SÄHKÖLENTOKONEET JA NIIDEN HYÖ- DYNTÄMINEN SUOMEN SISÄISESSÄ REITTILIIKENTEESSÄ

TIIVISTELMÄ

Tommi Lehtinen: Sähkölentokoneet ja niiden hyödyntäminen Suomen sisäisessä reittiliikenteessä

Kandidaatintyö

Tampereen yliopisto

Tietojohdamisen tutkinto-ohjelma

Marraskuu 2020

Lentoliikenne on jatkuvassa kasvussa ja sen aiheuttamilla hiilidioksidipäästöillä on haitallisia vaikutuksia ilmastonmuutoksen kiihtymiseen. Jotta päästöjä voidaan tulevaisuudessa vähentää, on lentoliikennettä kehitettävä ympäristöystävällisemmäksi. Yhtenä ratkaisuna lentoliikenteen päästöjen vähentämiseen on esitetty sähkölentokoneiden kehittämistä ja käyttöönottoa, sillä ne eivät tuota lentäessään hiilidioksidipäästöjä. Tämän tutkielman tarkoituksena on selvittää sähkölentokoneiden nykytilaa ja lähitulevaisuutta sekä kartoittaa niiden käyttöönoton mahdollisuuksia Suomen sisäisessä reittiliikenteessä. Tutkielmassa käsitellään myös sähkölentokoneiden käyttöönoton mahdollisia hyötyjä sekä esteitä.

Tutkimuksen aineisto on kerätty pääasiassa käyttäen Tampereen yliopiston Andor-hakujärjestelmää. Aineiston hankinnassa käytettyjä keskeisiä hakusanoja ovat olleet *electric airplane*, *electric aircraft* ja *aviation and electric*. Tutkimusmenetelmänä on käytetty integroivaa kirjallisuuskatsausta, jonka pohjana on käytetty Cooperin viisivaiheista prosessimallia. Kerätyn aineiston pohjalta tutkielman keskeisessä roolissa on sähkölentokoneiden kehityksen tilan kartoitus sekä ominaisuuksien hahmottaminen. Kartoituksen avulla työssä on pystytty analysoimaan sähkölentokoneiden soveltuvuutta lähitulevaisuudessa Suomen sisäisessä reittiliikenteessä.

Tutkimustulokset osoittavat, että sähkölentokoneet soveltuvat ominaisuuksiensa perusteella hyvin Suomen sisäisen reittiliikenteen tarkoituksiin, jossa etäisyydet kenttien välillä ovat lyhyitä. Sähkölentokoneita voidaan hyödyntää tulevaisuudessa reittiliikenteessä. On kuitenkin huomattava, että käyttöönotto voi tapahtua vasta koneisiin liittyvän teknologian kehittyttyä. Sähkölentokoneita voidaan pitää yleistyvinä, jolloin kehittyneellä lentoliikenteellä voidaan vaikuttaa vähentävästi haitallisiin hiilidioksidipäästöihin. Tarkastelu osoitti myös sen, että sähkölentokoneiden käyttöönotossa esiintyy myös esteitä. Tuloksiin vedoten voidaan sanoa, että näistä esteistä huolimatta sähkölentokoneet voivat olla tulevaisuuden mahdollisuus vihreämpään lentoliikenteeseen.

Avainsanat: sähkölentokone, Suomen sisäinen reittiliikenne, lentoliikenne, kirjallisuustutkimus

Tämän julkaisun alkuperäisyys on tarkastettu Turnitin OriginalityCheck –ohjelmalla.

SISÄLLYSLUETTELO

1. JOHDANTO	1
1.1 Tutkimuksen aihe	1
1.2 Tutkimuskysymys ja sen rajaus	2
1.3 Tutkimuksen rakenne	3
2. TUTKIMUSMENETELMÄN JA TUTKIMUSAINEISTON ESITTELY	4
2.1 Tutkimusmenetelmä	4
2.2 Tutkimusaineisto	4
3. SÄHKÖLENTOKONEIDEN TILA	7
3.1 Nykypäivän sähkölentokoneet	7
3.2 Lähitulevaisuuden sähkölentokoneet	8
3.3 Sähkölentokoneiden käyttöönoton esteet	10
4. MAHDOLLISUUDET SUOMEN SISÄISESSÄ REITTILIIKENTEESSÄ	12
4.1 Käyttökohteet	12
4.2 Käyttöönoton hyödyt Suomessa	14
5. YHTEENVETO	16
5.1 Johtopäätökset	16
5.2 Tutkimuksen arviointi	17
5.3 Jatkotutkimusehdotukset	18
LÄHTEET	19

KESKEISET KÄSITTEET

Sähkölentokone on lentokone, jonka käyttövoimana toimii sähköenergia.

Lähitulevaisuus termi tarkoittaa tässä työssä seuraavaa n. 5 vuoden mittaista ajanjaksoa.

Suomen sisäinen reittiliikenne tarkoittaa lentoja, joiden lähtö ja loppupiste on Suomen rajojen sisäpuolella.

Reittiliikenne on aikataulujen mukaan liikennöityä lentoliikennettä, jossa kuljetetaan matkustajia, rahtia tai postia. Tässä työssä reittiliikenteellä tarkoitetaan matkustajiin kohdistuvaa liikennöintiä. (Rauhamäki 2006, s. 2)

Eng. Aircraft eli ilma-alus on ajoneuvo, joka pystyy lentämään hankkimalla tuen ilmasta.

Eng. Airplane eli lentokone on tietyn tyyppinen ilma-alus, joka pystyy lentämään siipien luoman nosteen avulla.

Kotimaanmatkustajalla tarkoitetaan matkustajaa, joka lähtee suomalaiselta lentokentältä ja laskeutuu suomalaiselle kentälle. (Finavia 2020b)

1. JOHDANTO

1.1 Tutkimuksen aihe

Lentoliikenne on kasvanut jatkuvasti ja siitä aiheutuvat haitalliset hiilidioksidipäästöt kiihdyttävät ilmastonmuutosta. Nämä ilmailusta syntyvät hiilidioksidipäästöt ovat kooltaan jo noin 2 % kaikista ihmisten aiheuttamista hiilidioksidipäästöistä. (Lahti 2019) Ilmastonmuutoksen hidastamiseksi täytyykin löytää uusia tapoja leikata ilmailusta aiheutuvia haitallisia päästöjä. Yksi mahdollisuus näiden päästöjen pienentämiseksi on sähkölentokoneiden käyttöönotto (Baumeister et al. 2020, s. 1). Sähkölentokoneet eli lentokoneet, joiden käyttövoimana toimii sähkö, ovat tällä hetkellä erittäin ajankohtainen aihe. Niiden kehitykseen ja käyttöönottoon panostetaan ja niiden mahdollinen potentiaali on alettu näkemään viime vuosien aikana. Tämän potentiaalin olemassaoloa voidaan perustella suurten yritysten, kuten Nasan ja Airbusin, liittymisellä sähkölentokoneiden kehitykseen (Nasa 2019; Airbus 2020). Jatkuvaa panostusta tukee myös Dominkovic et al. (2018) tutkimus, jossa todetaan, että liikennealan siirtyessä kohti puhtaampaa energiaa on sähkön käyttö paras tapa sen toteuttamiseen.

Aiheen ajankohtaisuudesta kertoo myös suomalaisen lentoasemayhtiö Finavian liittyminen NEA-verkoston (Network for Electric Aviation) jäseneksi. NEA-verkoston tarkoituksena on mahdollistaa sähkölentämisen tulevaisuus Pohjoismaissa (Lukkari 2020; Baumeister et al. 2020, s. 2). Pohjoismaissa ja erityisesti Norjassa ollaan sähkölentokoneiden kehityksen edelläkävijöitä Heart Aerospace ja Rolls-Royce Electric Norwayn valmistamissa sähkölentokoneiden moottoreita ja osia (Baumeister et al. 2020, s. 2).

Suomen kuuluessa sähkölentokoneiden kehityksen edelläkävijöihin on Suomi hyvä valinta tarkasteltavaksi maaksi. Suomen sisäiset reittilennot ovat myös etäisyyksiltään lyhyitä (alle 1 000 km). Lyhyet etäisyydet tuovat tarkastelun lähemmäksi todellisuutta, sillä lähitulevaisuudessa ilmestyvät koneet pystyvät lentämään rajoitettuja matkoja rajoitetulla kapasiteetilla. Suomen tarkastelu tuo kandidaatintyön myös lähemmäksi omaa arkeani ja

tekee siitä täten mieleisemmän tehtävän. Kandidaatintyöhön valittu aihe on katsaus sähkölentokoneiden nykytilasta ja lähitulevaisuudesta ja analyysi niiden mahdollisuuksista Suomen sisäisessä reittiliikenteessä.

1.2 Tutkimuskysymys ja sen rajaus

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan sähkölentokoneiden nykytilaa ja lähitulevaisuutta ja verrataan niiden ominaisuuksia Suomen sisäisten reittilentojen vaatimiin ominaisuuksiin. Tarkastelu on kohdennettu Suomen sisäisiin lentoihin eli lentoihin, joiden lähtö- ja loppupaikkana on Suomi. Tämä valinta on tehty sähkölentokoneiden kantamarajoitteiden takia. Suomen sisäisten reittien valinta kaventaa myös tarkasteltavien reittien lukumäärää työlle sopivaksi. Tätä kautta pyritään määrittämään, miten sähkölentokoneet soveltuisivat Suomen sisäisille reittilennoille, ja mitä mahdollisia hyötyjä niiden käyttöönotosta olisi.

Tutkimus keskittyy pääasiassa reittilentojen etäisyyksien ja sähkölentokoneiden kantamien vertailuun ja tätä kautta mahdollisten reittien valintaan. Työssä käydään myös läpi sähkölentokoneiden käyttöönoton hyötyjä ja esteitä.

Päätutkimuskysymys on:

Miten sähkölentokoneita voidaan hyödyntää Suomen sisäisessä reittiliikenteessä?

Alatutkimuskysymyksiä ovat:

- Millainen on sähkölentokoneiden tämänhetkinen tilanne ja miltä niiden lähitulevaisuus näyttää?

Sähkölentokoneiden ominaisuuksien avulla voidaan analysoida niiden hyödyntämismahdollisuuksia eri kohteiden välisillä reittilennoilla. Kysymyksen tarkoituksena on tutustuttaa lukija sähkölentokoneisiin ja niiden ominaisuuksiin.

- Minkälaisilla reittilennoilla sähkölentokoneita pystytään mahdollisesti käyttämään?

Kysymyksen tarkoituksena on tutkia Suomen sisällä liikennöitäviä reittilentoja, joihin sähkölentokoneet ominaisuuksiensa perusteella sopisivat. Sopivuuden määrittämiseksi analysoidaan reittien ominaisuuksia, kuten aktiivisuutta ja pituutta.

- Mitä hyötyjä sähkölentokoneiden käyttöönotosta olisi?

Sähkölentokoneisiin panostetaan paljon, ja niistä kirjoitetaan paljon uutisia, mutta mitä niiden käyttöönotto todellisuudessa mahdollistaisi. Mitä hyötyjä sähkölentokoneiden käyttöönotosta esiintyisi Suomen tasolla?

1.3 Tutkimuksen rakenne

Tämä kandidaatintyö koostuu viidestä luvusta, joita ovat Johdanto, Tutkimusmenetelmän ja -aineiston esittely, Sähkölentokoneiden tila, Mahdollisuudet Suomen sisäisessä reittiliikenteessä ja Yhteenveto. Näistä ensimmäinen ja toinen luku, eli Johdanto ja Tutkimusmenetelmän ja -aineiston esittely, esittelevät tutkimuksen perustan sekä siinä käytetyn tutkimusmenetelmän. Sähkölentokoneiden tila -luku on jaettu kahteen alalukuun, joista toinen käsittelee niiden nykytilaa ja toinen lähitulevaisuutta. Neljäs luku eli Mahdollisuudet Suomen sisäisessä reittiliikenteessä kertoo sähkölentokoneiden ominaisuuksien sopivuudesta Suomen sisäisille reittilennoille. Luvussa käsitellään myös käyttöönoton mahdollisia hyötyjä. Viidennessä luvussa yhdistetään aiempien lukujen teorioita ja päätelmiä ja pyritään vastaamaan tutkimuskysymykseen. Luvussa annetaan myös ehdotuksia mahdolliselle jatkotutkimukselle aiheen parissa ja arvioidaan tutkimusta kokonaisuutena.

2. TUTKIMUSMENETELMÄN JA TUTKIMUSAI-NEISTON ESITTELY

2.1 Tutkimusmenetelmä

Tämä kandidaatintyö suoritetaan kirjallisuuskatsauksena. Kirjallisuuskatsauksen perustana pidetään Cooperin (1998) integroivan kirjallisuuskatsauksen viisivaiheista prosessimallia. Prosessimallin vaiheisiin kuuluvat tutkimusongelman asettelu, aineiston hankkiminen, arviointi, analyysi sekä tulkinta ja tulosten esittäminen. Tämä menetelmä on valittu, sillä sähkölentokoneista kertovia artikkeleita on suppea määrä ja tarvittavan laajuuden saavuttamiseksi niiden tarkempi seulonta on jätettävä tekemättä. Integroivan kirjallisuuskatsauksen ollessa rakenteeltaan hyvin lähellä systemaattista kirjallisuuskatsausta pidetään tässäkin työssä oleellisena Finkin (2005) esittämiä tunnusmerkkejä kirjallisuuskatsauksista. Finkin mukaan kirjallisuuskatsaus on systemaattinen, täsmällinen ja toistettavissa oleva menetelmä, jonka avulla voidaan tunnistaa, arvioida ja tiivistää valmiina olevaa tutkimusaineistoa. (Salminen 2011, s. 5)

Tutkimusprosessi lähtee liikkeelle tutkimusongelman asettelulla, missä tutkimuksen aihe, rajaukset ja tutkimusongelma määritellään tarkasti. Tämän jälkeen toisessa vaiheessa määritellään mahdollisia hakusanoja ja etsitään aihetta tukevaa aineistoa. Aineiston hankkimisen jälkeen löydettyä aineistoa arvioidaan sen laadun varmistamiseksi. Tämän jälkeen löydettyä materiaalia analysoidaan ja tulkitaan ja lopuksi esitetään kirjallisuuskatsauksen tulokset.

2.2 Tutkimusaineisto

Tutkimuksen aineiston etsintä aloitettiin Tampereen yliopiston Andor-järjestelmästä tutkimusongelman määrittelyn jälkeen. Andor-järjestelmä valittiin pääasialliseksi materiaalin etsimisvälineeksi sen tieteellisen luotettavuuden takia. Tutkimusaineiston etsinnässä ja sen alkuun saamisessa auttoi lehtori Markus Pöllänen. Etsiminen aloitettiin tekemällä testihakuja, joiden avulla päästiin käsiksi laajaan määrään ilmailualan artikkeleita. Näistä artikkeleista pyrittiin poimimaan tärkeitä käsitteitä, joiden avulla löydetäisiin työn kan-

nalta relevantteja artikkeleita. Tästä edettiin jatkuvalla hakusanojen tarkentamisella ja julkaisuvuosien rajauksella käsittelemään vuosina 2015–2020 julkaistuja artikkeleita. Hauissa käytettyjä hakusanoja olivat ”Aircraft”, ”Airplane”, ”Aviation”, ”Electric”, ”Sustainable” ja näiden erilaiset kombinaatiot. Hakusanoja yhdisteltiin AND-, OR- ja NOT-operaatioiden avulla. Artikkelit olivat pääasiassa englanninkielisiä, sillä tutkimusta on tehty pääasiassa kansainvälisellä tasolla. Taulukossa 1 on esitetty käytettyjä hakusanoja ja niiden tuottamien tulosten lukumäärää Andor-järjestelmässä. Taulukko on järjestetty epätarkimmasta hausta tarkimpaan.

Taulukko 1. Käytettyjä hakusanoja ja niiden tulosten lukumääriä

Hakulause	Tulokset
Aviation	3 602 609
"Aviation" and "Electric"	432 262
"Aviation" and "Electric" (2015–2020)	217 890
Airplane and electric (2015–2020)	72 188
Airplane and electric and sustainable (2015–2020)	7 107
"Aircraft" and "Electr*"	4 178
"Electric airplane" (2015–2020)	846

Hakuja tehdessä artikkeleita löytyi valtava määrä. Ongelmaksi nousi ajankohtaisten ja aiheita käsittelevien artikkeleiden löytäminen. Ensimmäisien hakujen jälkeen löydettyt artikkelit käsitelivät pääasiassa perinteistä ilmailua ja siihen liittyviä sähkölaitteiden sovelluksia. Hakusanojen ja hakuehtojen tarkennuksilla päästiin kuitenkin tarkempiin tuloksiin. Artikkeleita sähkölentokoneiden teknologiasta ja kehityksestä löytyi paljon. Myös sähköisten ilma-alusten sovelluksista kertovia artikkeleita löytyi suuri määrä. Löydettyjä tuloksia analysoitiin silmäilemällä artikkelien otsikoita ja abstrakteja. Mikäli otsikko tai abstrakti käsitteli sähkölentokoneita tai muita niihin liittyviä työn kannalta olennaisia aiheita tallennettiin artikkeli luettavaksi. Artikkelien valinnassa pyrittiin painottamaan vertaisarvioitujen artikkelien käyttöä luotettavuuden säilyttämiseksi. Aiheen ollessa uusi olivat myös löydetty artikkelit pääasiassa lähivuosina tehtyjä. Tästä syystä lopullisessa artikkelien valinnassa julkaisuvuoteen liittyvää karsintaa ei tarvinnut tehdä. Taulukossa 2 esitetään löydettyjä ja työssä usein käytettyjä artikkeleja. Artikkelit on järjestetty julkaisuvuoden perusteella.

Taulukko 2. Työssä käytettyjä lähteitä ja niiden pääsisältö

Otsikko	Kirjoittajat	Sisältö	Vuosi
The emission reduction potentials of First Generation Electric Aircraft (FGEA) in Finland	Baumeister, S. Leung, A. Ryley, T.	Artikkeli käsittelee mahdollisuuksia päästöjen vähentämiseen FGEA (eng. First Generation Electric Aircraft) avulla. FGEA päästöjä vertaillaan autojen, junien ja perinteisten lentokoneiden päästöihin Suomen eri kohteissa.	2020
Ultralight batteries for electric airplanes.	Crittenden, M	Artikkelissa käydään läpi sähkölentokoneiden akkujen teknologiaa, vertaillaan litiumioni- ja litiumriikkiakkuja ja kerrotaan niiden mahdollisuuksista sähkölentokoneissa.	2020
Fundamentals of Electric Aircraft	Thalin, P.	Sähkölentokoneiden historia ja tulevaisuus. Mitä sähkölentokoneiden tulevaisuudelta voidaan olettaa ja miksi.	2020
An electric airplane: Assessing the effect of travelers' perceived risk, attitude, and new product knowledge	Han, H. Yu, J. Kim, W.	Lentoliikenteen siirtyessä sähkölentokoneisiin asiakkaiden näkemys muutoksesta on otettava huomioon. Miten ja millä tavalla matkustajien näkemykset ja tunteet vaikuttavat siirtymään.	2019
The future of transportation in sustainable energy systems: Opportunities and barriers in a clean energy transition	Dominković, D.F. Bačeković, I. Pedersen, A.S. Krajačić, G	Miten liikenteen ala siirtyy kohti kestävien energiajärjestelmien käyttöä. Minkälaisia mahdollisuuksia ja esteitä tässä siirtymisessä on.	2018

3. SÄHKÖLENTOKONEIDEN TILA

3.1 Nykypäivän sähkölentokoneet

Sähkölentokoneet eli lentokoneet, joiden käyttövoimana toimii sähkö, ovat nousseet viime vuosina esille ilmailuliikenteen vihreyteen liittyvissä artikkeleissa. Sähköisten ilmailualusten ja lentokoneiden historia on kuitenkin paljon pidempi. Jo vuonna 1883 Gaston Tissandier lensi sähkökäyttöistä ilmalaivaa Ranskassa. Noin sata vuotta myöhemmin, vuonna 1973 ensimmäinen sähköinen lentokone MB-E1 lensi 9 minuutin ajan. (Thalin 2020, s. 3–4) Tämän jälkeen sähköllä toimivat lentokoneet ikään kuin unohdettiin, kunnes ne nousivat uudelleen esille 2000-luvun alussa. Tämän jälkeen kehitys on ollut nopeaa ja nykypäivänä 2–4 paikkaiset sähkölentokoneet pystyvätkin lentämään jo useamman tunnin ajan. (Thalin 2020, s. 6–9)

Sähkölentokoneiden suosion kasvusta huolimatta ei niiden kehityksessä ole vielä tehty tarvittavia läpimurtoja täysin sähköisen kaupallisen matkustajalentämisen mahdollistamiseksi. Suurimpana esteenä läpimurroille on se, että litiumioniakkuteknologia ei vielä riitä kattamaan suurempien lentokoneiden käyttövoimatarpeita. (Epstein & O'Flarity 2019; Crittenden 2020) On kuitenkin huomattava, että akkuteknologia on kehittynyt viimeisen vuosikymmenen aikana paljon ja viime vuosien aikana ensimmäiset kokonaan voimansa sähköstä saavat lentokoneet on saatu ilmaan. Voidaan siis sanoa, että huomattavaa kehitystä on tapahtunut ja tapahtuu tälläkin hetkellä. Esimerkiksi akkuteknologiaan on kehitteillä ratkaisuja litium-rikki akkujen kautta. Tällä hetkellä käytössä olevissa sähkölentokoneissa käytetään suurimmaksi osin litiumioniakkuja. (Crittenden 2020) Muutamia tämänhetkisiä sähkölentokonemalleja, niiden käyttömatkoja ja kapasiteetteja esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Nykyhetkellä käytössä olevia sähkölentokoneita (Pipistrel 2020; Eflyer 2020; Magnix 2020)

Malli	Kantama (min)	Kapasiteetti
Pipistrel Alpha Electro	60min	2
Bye Aerospace eFlyer	90min	2
Magnix eCaravan	30min	9

Taulukosta 3 huomataan, että tämänhetkisissä sähkölentokoneissa matkustajakapasiteetti on erittäin rajoitettua. Suurimmat sähkölentokoneet omaavat vain n.10 henkilön kapasiteetin ja tällöin lentokantama jää erittäin lyhyeksi. Tällä hetkellä käytössä olevissa koneissa kapasiteetti on yleisesti vain 1–2 matkustajaa. Matkustajakapasiteettia kasvattaessa vastaan tulee ongelmia. Lentokoneen painon lisäys johtaa kantaman rajuun pientymiseen tai jopa lentokoneen ilmaan saamiseen liittyviin ongelmiin. Tämän hetken suurimpana ongelmana onkin se, että suuriin koneisiin vaadittavat suuret akut ovat liian painavia ja pienten akkujen teho ei riitä saamaan suurempia koneita ilmaan. (Crittenden 2020, s. 46)

Suomessa sähkölentokoneen ensilento nähtiin Malmin lentokentällä heinäkuussa 2018 (Lukkari 2020). Lento oli erittäin onnistunut ja se työnsi sähkölentokoneiden kehitystä eteenpäin Suomessa. Malmisssa lentänyt kone oli malliltaan Pipistrelin Alpha Electro. (Finavia 2020a) Kone on Helsingin Sähkölentokoneyhdistyksen käytössä ja sitä on esitelty kansalle esimerkiksi näytöslentojen ja messujen avulla (ks. Sähkölentokone 2020). Alpha Electro mallin lentokantama on noin. 60 minuuttia tai 200 kilometriä. Se latautuu täyteen kahdessa tunnissa ja pystyy kuljettamaan kaksi henkilöä. (Pipistrel 2020)

3.2 Lähitulevaisuuden sähkölentokoneet

Sähköisen matkustajalentoliikenteen saavuttaminen ei siis ole tämän hetken teknologialla vielä mahdollista. Sähkölentokoneet ovat kuitenkin jatkuvassa kehityksessä. Niiden rungoista pyritään tekemään kevyempiä ja niiden akuista yritetään valmistaa yhä kevyempiä ja tehokkaampia versioita. (Crittenden 2020) Tämän kehityksen uskotaan johtavan sähkölentokoneiden käyttöönoton mahdollistamiseen matkustajareittiliikenteessä (Han et al. 2019; Lukkari 2020). Myös Easy Jet yrityksen toimitusjohtaja totesi uskovansa lyhyen matkan reittilentojen tekemisen sähkölentokoneilla olevan vain ajan kysymys (Han et al. 2019). Sähkölentokone kilpailussa on mukana useita eri yrityksiä. Läpimurtoja koneiden ominaisuuksissa ja valmistusprosesseissa pyritään tekemään kilpailuedun varmistamiseksi.

Taulukossa 4 on esitettyä suunnitteilla olevia sähkölentokoneille ja niiden pääominaisuuksia. Pääominaisuuksiin kuuluu koneiden kantama, kapasiteetti ja oletettu käyttöönottovuosi.

Taulukko 4. Lähitulevaisuuden sähkölentokoneille ja niiden ominaisuuksia (Eviation 2020; Heart Aerospace 2020; Nasa 2020; Eflyer 2020)

Malli	Kantama	Kapasiteetti	Oletettu käyttöönottovuosi
Eviation Alice	1000–1200 km	9	2022
Heart Aerospace ES-19	400 km	19	2026
Nasa X-57 Maxwell	160 km	2	testauksessa 2020
Bye Aerospace eFlyer 4	ei varmistettu (4 h)	3	kehityksessä 2020

Taulukosta huomataan, kuinka kehitteillä olevat mallit ovat suunniteltu lyhyen kantaman matkoille ja pienelle kapasiteetille. Nämä lähitulevaisuuden koneet kuitenkin tukevat hyvin mahdollista ajatusta lyhyiden matkustajalentojen tekemisestä sähköisesti.

Ensimmäiseksi tarkastellaan Heart Aerospace ES-19 -mallia, jonka suunniteltu kantama on 400 km ja kapasiteetti 19 henkilöä. Kone on ulkomuodoltaan erittäin samannäköinen, kuin perinteiset lentokoneet ja sen suunniteltu käyttöönottovuosi on 2026. Tätä ennen valmistajien täytyy kuitenkin saada kone sertifioitua. Heart Aerospace nimeää koneen sertifiointin vaikeammaksi haasteekseen sen käyttöönottoprosessissa. (Heart Aerospace 2019) Kuvassa 1 esitettyä Heart Aerospace ES-19 koneen mallikuva.

Sertifiointi onkin varmasti kaikkien uusien sähkölentokoneiden käyttöönottoprosessin piisin ja ainakin yksi vaikeimmista vaiheista. Sähkölentokoneiden tähdätessä lentoliikenteen valtiaiksi täytyy niiden täyttää kaikki turvallisuus- ja teknologiavaatimukset ja pystyä taistelemaan ominaisuuksiltaan perinteisten koneiden kanssa. Sähkölentokoneet kuitenkin kilpailevat myös maassa kulkevia kulkuneuvoja vastaan, sillä niiden kustannustehokkuuden ansiosta lyhyempienkin matkojen kulkeminen lentoteitse voi mahdollisesti olla kannattavaa. (Baumeister et al. 2020, s. 1). Baumaister et al. (2020) ehdottaa yhdeksi sähkölentokoneiden mahdollisuudeksi operointia sellaisiltakin kentiltä, mitkä eivät tällä hetkellä ole lentoyhtiöiden käytössä.

3.3 Sähkölentokoneiden käyttöönoton esteet

Kun tarkastellaan aiemmissa kappaleissa esitettyjä sähkölentokoneita ja aletaan pohtimaan niiden käyttömahdollisuuksia Suomen sisäisessä reittiliikenteessä, on kuitenkin huomioitava, että niiden käyttöönotossa on vielä suuria esteitä. Jotta koneet olisi mahdollista ottaa käyttöön täytyisi niiden suunniteltujen ominaisuuksien toteutua ja kehittyä yhä entisestään (Thalin 2020). Koneen soveltuvuutta reittilennoille ei kuitenkaan voida määrittää pelkästään sen perusominaisuuksien, kuten kapasiteetin ja kantaman avulla vaan tällaisissa arvioissa täytyy huomioida myös useita muita ominaisuuksia. Tällaisia ominaisuuksia ovat esimerkiksi turvallisuus, lentonopeus, lentokorkeus, latausaika, lentomukavuus ja koneen oletettu käyttöikä. Tällä hetkellä suunnitteilla olevissa koneissa kaikki nämä ominaisuudet eivät vielä pysty haastamaan perinteisien lentokoneiden tasoa. Seuraavaksi tarkoituksena on tarkastella käyttöönoton ongelmia ja esteitä, jotka täytyisi selvittää ennen kuin koneet voitaisiin ottaa käyttöön reittilennoilla.

Ensimmäisenä esteenä on teknologia. Sähkölentokoneissa moottoreiden voiman tuottaa akku. Tämän hetken akkuteknologia ei pysty vielä kattamaan suurempien koneiden ilmaan saamiseen vaadittavaa tasoa. Pienissä ja kevyissä akuissa ei ole tarpeeksi kapasiteettia nostamaan painavia koneita ylös ja suuret akut tekevät koneista liian painavia. Suurempien koneiden ilmaan saamiseksi akkujen kapasiteetti/paino suhteen on siis kasvatettava huomattavasti. (Crittenden 2020) Toisena akkuihin liittyvänä ongelmana on niiden jatkuva lataaminen ja käyttö. Crittenden (2020) mukaan jatkuvassa käytössä olevien akkujen heikkeneminen ja lopulta tuhoutuminen on yksi akkuteknologiaan liittyvistä suurista ongelmista. Akkuteknologia on kuitenkin mennyt suuresti eteenpäin viime vuosien aikana sähköautojen yleistyessä maailmanlaajuisesti. Autoyhtiöt, kuten BMW, Mercedes ja Audi valmistavat sähköautoja ja panostavat niiden kehitykseen suuria summia. (BMW 2020; Mercedes 2020; Audi 2020) Tästä akkuteknologian yleisestä kehityksestä voi mahdollisesti olla hyötyä myös sähkölentokoneiden kehityksessä.

Toinen este käyttöönotossa on sertifiointi. Sertifiointi kulkee käsi kädessä kaiken sähkölentokoneisiin liittyvän kehityksen kanssa. Uudet innovaatiot ja teknologiat täytyy sertifioida ja todeta turvallisiksi ja hyväksytyiksi tarkoissa testeissä ennen kuin ne voidaan ottaa käyttöön. (Kauppalehti 2018) Tämä prosessi voi kestää pitkään ja täten uusien koneiden saaminen yleiseen käyttöön ei tapahdu nopeasti. Prosessi on pitkä ja tarkka, jotta

matkustajien ja pilottien turvallisuus voidaan taata. Sertifiointiprosessin pitkää kestoja se-
littää uusien koneiden ja uuden teknologian toimivuuden varmistaminen. Teknologian
ollessa uutta ei voida olettaa, että se toimisi samalla tavalla kuin aiempi versio.

Pitkän prosessin ja kehityksen yhtenä seurauksena ovat suuret kustannukset. Sähkölento-
koneiden kehittäminen ei ole edullista ja se vaatii rahan lisäksi valtavan määrän osaamista
ja aikaa. Tämä sähkölentokoneisiin vaadittava rahallinen sekä ajallinen panostus onkin
yksi niiden käyttöönoton ongelmista. Miten sijoittajat jaksavat odottaa pitkiä aikoja ser-
tifiointia tehdessä, kun mitään konkreettista näyttöä edistyksistä ei välttämättä ole näky-
villä. Rahallinen panostus liittyy myös koneiden hankintaan. Siirtymän tapahtuessa len-
toyhtiöt joutuvat käyttämään suuria summia uusien sähköisien koneiden hankintaan.

Eikä sijoittajien luottamus ole ainut ihmiskeskeinen ongelma. Han et al. (2019, s. 673)
kertoo, kuinka aiempi tutkimus osoittaa asiakkaiden välttävän vihreitä ratkaisuja lentoja
valitessaan. Tämä johtuu usein niihin liittyvistä negatiivisista oletuksista, kuten korkeasta
hintatasosta, luottamuksen puutteesta ja heikosta saatavuudesta. Siirtymä perinteisistä ko-
neista tulee onnistumaan vasta kun asiakkaat alkavat luottaa sähkölentokoneisiin. Luot-
tamus on tärkeää myös koneiden jatkuvan kehityksen kannalta, koska kehittämisen vaa-
timat taloudelliset resurssit riippuvat voimakkaasti koneiden suosioista eli viime kädessä
asiakkaiden ja sijoittajien luottamuksesta.

4. MAHDOLLISUUDET SUOMEN SISÄISESSÄ REITTILIIKENTEESSÄ

4.1 Käyttökohteet

Suomen sisäinen reittiliikenne on kulmapisteessä. Pienempien kaupunkien lentokenttiä lakkautetaan ja reittien välisiä lentoja harvennetaan. Lentäminen näiden pienempien lentokenttien välillä ei ole enää kannattavaa. Tästä kertoo myös Finnairin päätös lopettaa kaupalliset lennot Joensuuhun, Jyväskylään, Kajaaniin, Kemiin ja Kokkolaan. Lennot tulevat loppumaan 27. maaliskuuta 2021. Lopetuksen osasyynä on myös villitsevä koronaepidemia, mutta Finnairin mukaan reittien kannattavuus oli huono jo ennen epidemiaa. Maakuntien lentoliikenteen turvaamiseksi on kuitenkin kehitteillä ostopalvelumalli, jonka avulla lentoliikenteen voi jatkua. (Yle 2020)

Otetaan tarkasteluun vuoden 2018 matkustajamäärästatistiikat Suomen lentokentiltä. Vuosi 2018 valittiin siksi, koska halutaan tarkastella tilannetta ilman koronaepidemian vaikutuksia. Taulukossa 5 on esitettyä Suomen lentokenttien kotimaanmatkustajien määrät. Taulukosta on karsittu lentoasemat, joiden kotimaanmatkustajien määrä ei ylitä 50 000 vuositasolla. Määrät pitävät sisällään matkustajat, jotka lähtevät tai laskeutuvat kentälle. (Finavia 2020b) Taulukossa on lihavoitu Finnairin lopetuspäätöksessä mainitut kentät.

Taulukko 5. Lentokenttien kotimaanmatkustajien määrät 2018 (Finavia 2020b).

Kaupunki	Matkustajamäärä
Helsinki	2 955 100
Oulu	991 161
Rovaniemi	512 033
Kuopio	213 856
Kittilä	208 835
Ivalo	182 934
Vaasa	166 195
Joensuu	111 144
Turku	105 746
Kajaani	85 286
Tampere	81 705
Kuusamo	79 515
Kemi-Tornio	65 004
Jyväskylä	59 516
Kokkola-Pietarsaari	57 286

Kun mietitään lentoyhtiön tai tietyn lentoreitin kannattavuutta on huomioon otettavia seikkoja erittäin monia. Kuitenkin perusidea on selvä, tuottojen pitäisi olla suurempia kuin kulujen. Miten sähkölentokoneet voisivat mahdollisesti auttaa tämän kannattavuusongelman ratkaisussa? Miten sähkölentokoneita voitaisiin hyödyntää kotimaan reittiliikenteessä?

Otetaan tarkasteluun taulukon 5 lihavoidut lentokentät Joensuu, Kajaani, Kemi, Jyväskylä ja Kokkola. Reittilennot Helsingistä näihin kaupunkeihin sopivat tarkastelun kohteeksi erinomaisesti etäisyyksien ja matkustajamäärien vaihtelunsa vuoksi. Näissä kohteessa matkustajamäärät ovat lisäksi tarpeeksi pieniä, jotta lähitulevaisuuden sähkölentokoneiden kapasiteetit pystyvät kattamaan koneiden kokoluokalle vaadittavat ominaisuudet. Taulukossa 6 on esitettyinä linnuntietä pitkin etäisyydet Helsinki-Vantaa lentoasemalta valittuihin lentoasemiin.

Taulukko 6. *Lentokenttien etäisyydet Helsinki-Vantaan lentoasemalta (<https://www.etaisyys.com/>)*

Lentokenttä	Etäisyys
Joensuu	360
Jyväskylä	235
Kajaani	464
Kemi-Tornio	609
Kokkola-Pietarsaari	391

Lentokenttien etäisyydet Helsinki-Vantaalta ovat välillä 235–609 km. Suomen reittilennoista pisin on Helsinki-Ivalo 931 kilometriä ja lyhyin Helsinki-Tampere 143 kilometriä. Pisimmän reitin ollessa alle 1 000 km pitkä soveltuvat jo lähitulevaisuuden sähkölentokoneetkin kantamiensa puolesta hyvin Suomen reittilennoille. Grimme & Jung (2018) mukaan juuri tällaiset lyhyen etäisyyksien matkat ovat kaikista vähiten tehokkaita ja ne tuottavat myös suhteutetusti eniten hiilidioksidipäästöjä.

Valitaan esimerkkikohteeksi Jyväskylän lentokenttä, jonka etäisyys Helsinki-Vantaan lentokentältä on 235 kilometriä. Kun verrataan taulukon 3 lähitulevaisuuden koneita huomataan, että esimerkiksi Heart Aerospaceen ES-19 kone 400 kilometrin suunnitellulla kantamallaan sopisi tälle välille kantamansa puolesta erinomaisesti. Jyväskylän matkustajamäärien ollessa suhteellisen pieniä 19 paikkainen sähkölentokone saattaisi olla hyvä valinta korvaamaan perinteiset lentokoneet tällä reittilennoilla. ES-19 kone on perinteisiä lentokoneita pienempi, joten sen täytyisi lentää väliä useammin. Tiheämpi lentoväli ja

täydemmät koneet toisivat kuitenkin mukanaan kustannustehokkuutta ja joustavuutta lentojen järjestelyyn (Baumaister et al. 2020, s. 1). Sähkölentokoneen halvemmat käyttökustannukset voisivat myös mahdollistaa esimerkiksi Finnairille paremman kannattavuuden Suomen pienemmille lentokentille lentämiseen, ja tätä kautta mahdollistaa niiden olemassaolon jatkumisen. Käyttökohteena etäisyyksiltään lyhyet ja pienen kapasiteetin vaativat lennot ovatkin sähkölentokoneille erittäin otollisia. Baumaister et al. (2020) mukaan sähkölentokoneiden hiilidioksidipäästöt olisivat pienemmät kuin perinteisellä koneella jokaisella Suomen reittilennoilla. Sähkölentokoneet pystyisivät kuitenkin taistelemaan myös perinteisiä kulkuneuvoja vastaan. Baumaister et al. (2020) mukaan perinteisiä ajoneuvoja kannattaisi korvata sähkölentokoneilla yli 170 kilometrin mittaisilla matkoilla. Syynä tähän on huomattavat edut matkustusajassa ja matkustamisesta aiheutuvien päästöjen suhteellisen pieni kasvu.

4.2 Käyttönoton hyödyt Suomessa

Mikäli sähkölentokoneet saataisiin käyttöön Suomen sisäisillä reittilennoilla, olisi mahdollisia hyötyjä useita. Hyötyjen tarkastelemisen helpottamiseksi jaotellaan hyödyt kolmeen eri kategoriaan: ilmastoon, organisaatioihin ja ihmisiin.

Ilmastoon liittyvät hyödyt liittyvät suoraan sähkölentokoneiden nollapäästöihin. Sähkölentokoneet eivät lentäessään vapauta ilmaan ollenkaan haitallisia hiilidioksidipäästöjä. (Baumaister et al. 2020) Tämä johtuu siitä, että sähkölentokoneet saavat käyttövoimansa ladattavista akuista. Yhtenä haasteena nollapäästöisyyteen liittyen on sähkölentokoneiden akkujen lataaminen vihreällä energialla. Vihreällä energialla tarkoitetaan usein kestävää tai uusiutuvaa energiaa, joka täyttää nykyajan tarpeet vaarantamatta tulevan sukupolven kykyä vastata omiin tarpeisiinsa (Tiwari & Vaish 2013). Jos tämä kuitenkin pystyttäisiin mahdollistamaan, olisi sähköisiin lentokoneisiin siirtyminen haitallisten päästöjen vähentymisen kannalta kannattavaa. Jos siirtyminen pystyttäisiin toteuttamaan koko maailman tasolla, johtaisi päästöjen vähentyminen parempaan ilmanlaatuun. (Dominkovic et al. 2018, s. 1835)

Organisaatiossa käsittelyyn voidaan ottaa lentoyhtiöt ja lentokentät. Sähkölentokoneiden käyttökustannuksien ollessa matalammat kuin perinteisissä lentokoneissa olisi niiden operointi halvempaa lentoyhtiöille. Tämä mahdollistaisi uusien reittien lentämisen ja to-

dennäköisesti parantaisi vanhojen reittien kannattavuutta. Uusien reittien lentämiseen liittyy lentokenttien aktivointi ja toiminta. Baumaister et al. (2020, s. 6–7) mukaan sähkölentokoneiden avulla pystyttäisiin mahdollisesti toimimaan lähes 30 uudella lentokentällä Suomessa. Sähkölentokoneiden pieni koko ja lyhyt kantama toimisi etuna pienlentokentillä toimiessa, sillä matkustajia on vähän ja lentoetäisyydet ovat lyhyempiä. Lentokoneiden pienen koon myötä lastausajat olisivat myös lyhyempiä, kuin perinteisillä lentokoneilla. Lentoja pystyttäisiin täten lentämään tiheämpään tahtiin, joka loisi joustavuutta matkustajien lentovalinnoille.

Ihmisten tai asiakkaiden kannalta tämä olisi varmasti helpottavaa, sillä nykyään useasta kaupungista lennetään vain muutamia kertoja viikossa. Uusien kohteiden käyttöönotto loisi asiakkaille mahdollisuuden päästä esimerkiksi Helsinkiin useammasta kohteesta ympäri Suomen. (Baumaister et al. 2020) Sähkölentokoneiden käyttökustannuksien ollessa matalammat, kuin perinteisissä koneissa olisi lentäminen todennäköisesti myös edullisempaa. (Brelje & Martins 2019) Kustannusten ollessa matalammat lentoyhtiölle voidaan olettaa, että kustannukset olisivat myös matalammat asiakkaille. Toinen ihmisille ilmenevä hyöty olisi lentojen hiljaisuus. Sähkölentokoneet tuottavat lentäessään selkeästi vähemmän ääntä kuin perinteiset lentokoneet (Baumaister et al. 2020, s. 3). Tästä hyötyisi esimerkiksi lentokenttien lähellä asuvat henkilöt.

5. YHTEENVETO

Tämä kandidaatintyö tehtiin kirjallisuuskatsauksena. Työssä perehdyttiin sähkölentokoneiden kehityksen tilanteeseen ja lähitulevaisuuteen ja analysoitiin niiden käyttömahdollisuuksia Suomen sisäisessä reittiliikenteessä. Käyttömahdollisuuksien selvittämiseksi selvitettiin sähkölentokoneiden keskeisiä ominaisuuksia ja arvioitiin niiden sopivuutta eri reiteille. Tämän lisäksi työssä esitettiin sähkölentokoneiden käyttöönoton esteitä ja hyötyjä.

5.1 Johtopäätökset

Tämän kirjallisuuskatsauksen avulla sähkölentokoneiden sopivuutta Suomen sisäiseen reittiliikenteeseen voidaan pitää mahdollisena. Suomen sisäisessä reittiliikenteessä on markkinarako, jonka sähkölentokoneet pystyisivät tutkimuksen mukaan lähitulevaisuudessa täyttämään. On kuitenkin otettava huomioon, että tämän mahdollistamiseksi sähkölentokoneiden ominaisuuksien täytyy vielä kehittyä vähintään luvussa 3.2 esitettyjen koneiden tasolle. Tämä pitää sisällään koneiden kantaman ja kapasiteetti/paino suhteen kasvun, sekä niiden turvallisuuden takaamisen. Tehdyn tutkimuksen perusteella tälle kehitykselle ei kuitenkaan näy ylitsepääsemättömiä esteitä, sillä sähkölentokoneiden kehityksessä on mukana useita tahoja ja niiden kehitykseen ja tutkimiseen käytetään paljon resursseja (Baumaister et al. 2020; Brelje & Martins 2019).

Mikäli sähkölentokoneisiin liittyvät haasteet pystytään ratkaisemaan, on niiden käyttöönotolla useita hyötyjä. Näitä hyötyjä ovat esimerkiksi. päästöjen pienentyminen, äänihyödyt ja pienemmät käyttökustannukset. (Baumaister et al. 2020; Thalin 2020; Dominovic et al. 2018) Käyttäjän näkökulmasta sähkölentokoneet mahdollistaisivat uusien reittien lentämisen, edullisemman hinnan ja valittavien vaihtoehtojen kasvamisen. Uudet reitit aktivoisivat pienempiä lentokenttiä ja mahdollistaisivat niiden toiminnan. Sähkölentokoneiden edullisemmat käyttökustannukset laskisivat todennäköisesti lentolippujen hintaa ja tekisivät täten lentämisestä yhä suositumman matkustustavan, joka pystyisi taistelemaan myös perinteisten kulkuneuvojen kanssa. Pienempien ja käyttökustannuksiltaan edullisten koneiden valinta mahdollistaisi myös reittilentojen tiheämmän liikennöinnin, joka antaisi asiakkaille valinnanvaraa lentojen valitsemisessa. (Baumaister et al. 2020)

Suomen tilanne sähkölentokoneiden suhteen on hyvä. Suomi kuuluu pohjoismaana sähkölentokoneiden edelläkävijöihin. (Finavia 2020a) Suomessa sähkölentokoneita on esitelty kansalle erilaisten messujen ja näytöslentojen avulla. Reitteinä Suomen sisäiset lennot soveltuvat sähkölentokoneille täydellisesti. Matkat ovat suhteellisen lyhyitä ja kuljettavia ihmisiä ei ole määrällisesti liikaa, jotta rajallisen kapasiteetin kanssa muodostuisi ongelmia. Suomen pienlentokenttien toiminta voi tulevaisuudessa olla jopa riippuvaista sähkölentokoneista tai niiden kaltaisista perinteisten lentokoneiden edullisemmista korvaajista.

5.2 Tutkimuksen arviointi

Tutkimuksen päätavoitteena oli selvittää, miten sähkölentokoneet soveltuisivat Suomen sisäiseen reittiliikenteeseen. Tavoitteeseen pystyttiin vastaamaan löydettyjen lähdeosien perusteella kohtalaisesti. Ongelmaksi nousi Suomeen keskittyvien artikkelien vähäisyys. Tästä syystä Suomeen keskittyvien johtopäätöksien teossa jouduttiin soveltamaan aiheeseen liittyviä kansainvälisiä artikkeleita. Löydettyjen artikkelien hyvänä ominaisuutena voidaan pitää niiden ajankohtaisuutta. Sähkölentokoneet ovat nousseet ajankoh- taiseksi puheenaiheeksi vuoden 2015 jälkeen ja suurin osa työssä käytetyistä artikkeleista on myös tältä ajalta. Tutkimuksen tarpeellisuus oli selkeää, sillä Suomen tasolla aiheeseen liittyvää tutkimusta ei ole tehty vielä tarpeeksi laajasti.

Tarkastellaan tutkimusta 2.1 luvussa esitettyjen kirjallisuuskatsauksen tunnusmerkkien avulla. Näitä tunnusmerkkejä ovat systemaattisuus, täsmällisyys ja toistettavuus. Työ tehtiin pääasiassa 2.1 luvussa esitetyn integroidun kirjallisuuskatsauksen mallin mukaan. Systemaattisuus pysyi mukana jokaisessa työn vaiheessa ja tämä edesauttoi työn valmistumista ajallaan. Alkuperäinen tutkimuskysymys pysyi työn keskiössä työn valmistumisen ajan ja alkuperäinen lähestymistapa aiheeseen pystyttiin toteuttamaan suunnitellusti. Lähdemateriaalin hankinta jakautui hieman työn eri vaiheisiin ja olisi voinut olla systemaattisempaa esimerkiksi laajemman alkukatsauksen avulla. Kokonaisuudessa kuitenkin systemaattisuus oli hyvää läpi työn teon.

Tutkimuksen täsmällisyyteen keskityttiin myös läpi työn. Lähdemateriaalien julkaisu- vuotta, paikkaa ja niistä tehtyjä viittauksia seurattiin, jotta työn täsmällisyys pystyttäisiin

takaamaan. Käytettyjen artikkelien julkaisuvuodet ovat pääasiassa enintään 5 vuoden takaa ja niiden julkaisupaikat ovat myös tarkistettu. Luotettavien lähteiden avulla tehdyt viittaukset ja johtopäätökset ovat täten täsmällisiä.

Työhön liittyvät päätökset ja rajaukset on esitetty raportissa mahdollisimman tarkasti. Tutkimusongelma ja siihen liittyvät tutkimuskysymykset ja vastaukset niihin on esitetty työssä perustellusti lähteitä apuna käyttäen. Toistettavuuden pitäisi täten olla hyvällä tasolla.

Tutkimuksessa ilmeni ongelmia sähkölentokoneisiin liittyvän aineiston vähäisyyden takia. Niiden kehitys on vielä niin alussa, julkaistua tutkimusta on vielä varsin vähän. Tästä syystä työssä käytettyjen lähteiden määrä on suppea. Aineiston vähäisyys koski erityisesti Suomen ja sähkölentokoneiden yhteyttä. Artikkeleita, joissa analysoitaisiin sähkölentokoneiden käyttöä tai vaikutuksia Suomessa, löytyi vain muutama ja tästä syystä mahdollisuuksien analysointiin jouduttiin soveltamaan yleisiä artikkeleja.

5.3 Jatkotutkimusehdotukset

Koska tutkimus keskittyi sähkölentokoneiden ominaisuuksiin ja niiden sopivuuteen Suomen sisäisessä reittiliikenteessä, jäi niiden käyttöönoton hyödyt ja haitat vähälle tarkastelulle. Jatkotutkimusehdotuksena Suomen tasolla tehtävä tarkempi hyötyjen ja haittojen tarkastelu voisi olla erittäin hyödyllistä ja mielenkiintoista. Tätä tarkastelua voisi jakaa hyvinkin tarkasti esimerkiksi tietyille Suomen alueille, jossa lentoliikenteessä on puutteita tai ongelmia. Sähkölentokoneiden hintojen ja käyttökustannuksien tarkentuessa erilaiset kustannus- ja kannattavuuslaskelmat sähkölentokoneen käyttöönotosta pienemmälle lentokentälle olisivat myös relevantteja useille tahoille.

Tämän hetken tilanteen osalta olisi mielenkiintoista nähdä tutkimusta 1–2 paikkaisten sähkölentokoneiden käytöstä Suomessa. Esimerkiksi kuinka paljon yksityisillä lennoilla käytetään sähkölentokoneita ja mitä hyötyjä tai haittoja niiden käytössä on huomattu. Tässä käyttökontekstissa niitä voisi myös vertailla perinteisiin pienkoneisiin. Tehtävän vertailun kohteena voisi olla esimerkiksi koneiden käyttökustannukset ja päästöt.

LÄHTEET

- Airbus (2020). Airbus reveals new zero-emission concept aircraft. Saatavilla <https://www.airbus.com/newsroom/press-releases/en/2020/09/airbus-reveals-new-zeroemission-concept-aircraft.html>. Viitattu 30.10.2020.
- Audi (2020) Driving to a more sustainable future. Saatavilla <https://www.audi-usa.com/us/web/en/innovation/e-tron.html>. Viitattu 25.11.2020.
- Baumeister, S. Leung, A. Ryley, T. (2020). The emission reduction potentials of First Generation Electric Aircraft (FGEA) in Finland. *Journal of transport geography*.
- Bmw (2020) Electric and plug in hybrid. Saatavilla <https://www.bmw.co.uk/en/topics/discover/electric-and-plev/overview.html>. viitattu 25.11.2020.
- Brelje, B. & Martins, J. (2019) Electric, hybrid, and turboelectric fixed-wing aircraft: A review of concepts, models, and design approaches. *Progress in aerospace sciences*. [Online] 1041–19.
- Cooper, Harris (1998). *Synthesizing Research: a Guide for Literature Reviews*. Thousand Oaks: Sage Publications, Inc.
- Crittenden, M. (2020) Ultralight batteries for electric airplanes. *IEEE spectrum* 57 (9), s. 44–49.
- Dominkovic, D.F., Bacekovic, I., Pedersen, A.S., Krajacic, G., (2018). The future of transportation in sustainable energy systems: opportunities and barriers in a clean energy transition. *Renew. Sust. Energ. Rev.* 82, 1823–1838.
- Eflyer (2020). Eflyer. Saatavilla. <https://electricflyer.com/>. Viitattu 20.11.2020.
- Epstein, A.H., O’Flarity, S.M., (2019). Considerations for reducing aviation’s CO2 with aircraft electric propulsion. *J. Propuls. Power* 35 (3), 572–582.
- Eviation (2020). Alice. Saatavilla <https://www.eviation.co/alice/>. Viitattu 21.11.2020.
- Finavia (2020a). Finavia vauhdittaa sähkölentokoneiden käyttöönottoa Suomessa. Saatavilla <https://www.finavia.fi/fi/uutishuone/2020/finavia-vauhdittaa-sahkolentokoneiden-kayttoonottoa-suomessa>. Viitattu 19.11.2020.
- Finavia (2020b). Lentoliikenteen tilastot. Saatavilla <https://www.finavia.fi/fi/tietoa-finavia/tietoa-lentoliikenteesta/liikennetilastot/liikennetilastot-vuosittain>. Viitattu 22.11.2020.
- Fink, A. (2005) *Conducting research literature reviews : from the Internet to paper* . 2. ed. Thousand Oaks: Sage.
- Grimme, W., & Jung, M. (2018). Towards more sustainability? – The development of aviation emissions from Germany between 1995 and 2016.

- Han, H., Jongsik, Y., Wansoo, K., (2019). An electric airplane: Assessing the effect of travelers' perceived risk, attitude, and new product knowledge. *Journal of air transport management*. s. 33–42.
- Heart Aerospace, (2019). Electrifying Regional air Travel. Saatavilla <https://heartaerospace.com/>. Viitattu 20.11.2020.
- Kauppalehti (2018). Sinäkin lennät sähköllä jo ensi vuosikymmenellä. Saatavilla <https://studio.kauppalehti.fi/siemens/sahkolentokoneita-kehitetaan-huimaa-vauhtiamatkustajaliikenteen-uskotaan-alkavan-jo-ensi-vuosikymmenella>. Viitattu 25.11.2020.
- Lahti, V-M. (2019). The aviation industry has big intentions for offsetting greenhouse gas emissions, Sitra, Saatavilla <https://www.sitra.fi/en/articles/aviation-industry-big-intentions-offsetting-greenhouse-gas-emissions/>. Viitattu 17.10.2020.
- Lukkari, E. (2020). Finaviassa uskotaan sähkölentokoneisiin, Ostologistiikka. Saatavilla <https://www.ostologistiikka.fi/kategoriat/teknologia/finaviassa-uskotaan-sahkolentokoneisiin>. Viitattu 26.9.2020.
- Magnix (2020). Ecaravan. Saatavilla <https://www.magnix.aero/ecaravan/>. Viitattu 19.11.2020.
- Mercedes (2020). EQ. Saatavilla <https://www.mercedes-benz.fi/passengercars/mercedes-benz-cars/e-mobility/electric-intelligence.html>. Viitattu 25.11.2020
- Nasa (2020) X-57. Saatavilla <https://www.nasa.gov/specials/X57/>. Viitattu 16.11.2020.
- Nasa (2019). NASA Takes Delivery of First All-Electric Experimental Aircraft. Saatavilla <https://www.nasa.gov/press-release/nasa-takes-delivery-of-first-all-electric-experimental-aircraft>. Viitattu 30.10.2020.
- Pipistrel, (2020). Alpha Electro- Sähkölentokone. Saatavilla <https://pipistrel.fi/sahkolentokone-alpha-electro/>. Viitattu 20.11.2020.
- Rauhämäki, H. et al. (2006). *Lentoliikenne ja lentoasemat*, Tampere: Tampereen teknillinen yliopisto.
- Sähkölentokone (2020). Saatavilla <https://sahkolentokone.fi/>. Viitattu 19.11.2020.
- Salminen, A. (2011) Mikä kirjallisuuskatsaus? Johdatus kirjallisuuskatsauksen tyypeihin ja hallintotieteellisiin sovelluksiin.
- Thalin, P. (2020) *Fundamentals of electric aircraft* . Warrendale: SAE International
- Tilastokeskus (2020). Maantieteellisiä tietoja. Saatavilla https://www.tilastokeskus.fi/tup/suoluk/suoluk_alue.html. Viitattu 22.11.2020.
- Tiwari, M. D. & Vaish, A. (2013) *Green energy* . Aalborg, Denmark: River Publishers.
- Yle (2020). Finnair aikoo lopettaa Suomen sisäiset lennot viidelle maakuntakentälle maaliskuussa. Saatavilla <https://yle.fi/uutiset/3-11549673>. Viitattu 22.11.2020.