



Open your mind. LUT.  
Lappeenranta University of Technology

**ILMAJOHTOJEN LASERKEILAUS SUOMESSA 2014**  
**Airborne Laser Scanning of Overhead Lines in Finland in**  
**2014**

Jukka Tani

## **TIIVISTELMÄ**

Lappeenrannan teknillinen yliopisto  
Teknillinen tiedekunta  
Sähkötekniikan koulutusohjelma

Jukka Tani

### **Ilmajohtojen laserkeilaus Suomessa 2014**

2014

Kandidaatintyö.

26 s.

Tarkastaja: professori Jarmo Partanen

Tässä kandidaatintyössä on tarkoituksena selvittää ilmajohtojen lentokuvauksen käyttömahdollisuuksia sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa. Ilmajohtojen lentokuvaus on Suomessa ja koko maailmassa vielä varsin vähän hyödynnetty keino esimerkiksi sähköverkkoyhtiöiden huolto- ja kunnossapito tarkastuksissa. Lentokuvauksella tarkoitetaan vielä nykyään vuonna 2014 yleensä helikopterista tehtävää johtokadun 3D-kuvausta ja laserkeilausta. Tulevaisuudessa se voi kuitenkin olla mahdollista tehdä myös muista lentävistä aluksista. Työssä on erityisesti keskitytty lentokuvauksessa tehtävään laserkeilaukseen ja 3D-kuvaus on jätetty pienemmälle huomiolle. Lisäksi työssä selvitetään lentokuvauksen taloudellista kannattavuutta sähköverkkoyhtiöille sekä pohditaan lentokuvauksen tulevaisuuden näkymiä.

## **ABSTRACT**

Lappeenranta University of Technology  
Faculty of Technology  
Degree Programme in Electrical Engineering

Jukka Tani

**Airborne Laser Scanning of Overhead Lines in Finland in 2014**

2014

Bachelor's Thesis.

26 p.

Examiner: professor Jarmo Partanen

The purpose of this bachelor's thesis is to research uses of 3D airborne laser scanning of overhead lines of the operation of the electricity network companies in Finland. 3D airborne laser scanning of overhead lines is still very little-used way to determine the need for maintenance and repairs of the electricity network in Finland and throughout the world. 3D airborne laser scanning is usually done by helicopter in 2014, but in the future it may be possible to be done also by the other aerial vehicle. In this bachelor's thesis is particularly focused on airborne laser scanning while 3D imaging has been told less. The thesis defines also the economic viability of 3D airborne laser scanning to the electricity network companies and ponders future prospects of airborne laser scanning.

## SISÄLLYSLUETTELO

Käytetyt merkinnät ja lyhenteet .....	5
1. Johdanto .....	6
2. Laserkeilaus .....	7
2.1 Laserkeilaintyytit.....	8
2.2 Ilmalaserkeilaus .....	8
3. Ilmajohtojen lentokuvaus.....	12
3.1 Ilmajohtojen laserkeilauksen historia Suomessa.....	12
3.2 Lentokuvauksesta saatava aineisto .....	13
3.3 Miksi ilmajohtoja lentokuvataan? .....	14
3.3.1 Johtokomponenttien kuntotarkastus .....	16
3.3.2 Johtokadun raivaustarpeen analysointi.....	16
3.3.3 Ilmajohtojen vierimetsän riskipuiden havainnointi .....	17
3.3.4 Muut riskikohteet ja asiakaspalvelutehtävät .....	18
4. Ilmajohtojen laserkeilauksen käyttökokemukset.....	20
4.1 Käyttökokemukset.....	20
4.2 Taloudellinen kannattavuus .....	21
4.3 Tulevaisuuden näkymät .....	22
5. Yhteenveto .....	23
LÄHTEET .....	25

**KÄYTETYT MERKINNÄT JA LYHENTEET**

3D	Three dimensional eli kolmiulotteinen
GPS	Global Positioning System eli maailmanlaajuinen paikallistamisjärjestelmä
INS	Inertia Navigation System eli inertiasuunnistusjärjestelmä
UAV	Unmanned Aerial Vehicle eli miehittämätön ilma-alus
Yksiköt	
h	Tunti
km	Kilometri
kV	Kilovoltti
m	Metri
m <sup>2</sup>	Neliometri

## 1. JOHDANTO

Osa Suomen sähköverkkoyhtiöistä lentokuvaa sähköverkkoaan matalalla lentävistä helikoptereista säännöllisin väliajoin. Lentokuvaus suoritetaan yleensä usealla helikopteriin asennetulla kameralla ja helikopterin alle kiinnitettävällä laserkeilaimella. Lentokuvauksesta puhuttaessa tarkoitetaan usein kahta eri toimenpidettä: kameroilla tehtävää 3D-kuvausta ja laserkeilaimella suoritettavaa laserkeilausta. Kameroista saatua 3D-kuvamateriaalia ja laserkeilaimesta saatavaa pistepilviaineistoa hyödynnetään mm. ilmajohdosten huolto- ja kunnossapitotarpeen määrittelyssä.

Lentokuvaus ja lähes aina sen yhteydessä tehtävä laserkeilaus on vielä yleisesti varsin vähän käytetty ja huonosti tunnettu tapa selvittää sähköverkon huolto- ja kunnossapitotarvetta. Niiden käyttö on kuitenkin tekniikan nopean kehityksen ja lisääntyneen lentokuvaukokemuksen ansiosta kasvanut merkittävästi viimeisen viiden vuoden aikana.

Tässä kandidaatintutkielmassa on tarkoituksena selvittää lentokuvauksen eri käyttömahdollisuuksia sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa. Tutkielmassa on erityisesti keskitytty laserkeilauksen käyttöön ja sen tuomiin mahdollisuuksiin. Lisäksi on pyritty pohtimaan lentokuvauksen ja ennen kaikkea laserkeilauksen tulevaisuuden näkymiä sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta katsottuna.

Tutkielmassa on myös pohdittu lentokuvauksen taloudellista kannattavuutta sähköverkkoyhtiöille. Tämän pohdinnan tueksi on tutkielmaa varten haastateltu kolmea eri sähköverkkoyhtiötä (Fortum Oyj, Elenia Oy ja Kymenlaakson sähkö Oy), jotka ovat merkittävimpiä edelläkävijöitä lentokuvauksen käytössä Suomessa sekä koko maailmassa. Työssä on myös esitelty, millaisia kokemuksia he ovat saaneet lentokuvauksesta ja ovatko he kokeneet sen käytön kannattavaksi toiminnassaan.

## 2. LASERKEILAUS

Laserkeilaus on näkyvän valon, infrapunan tai ultraviolettisäteilyn aallonpituudella suoritettavaa kolmiulotteista kaukokartoitusta. Kaukokartoituksella tarkoitetaan jonkin kohteen kartoittamista siihen fyysisesti koskematta. Erilaisia kaukokartoitusaineistoja ovat esimerkiksi ilma- ja satelliittikuvat. Laserkeilausmenetelmä on alun perin kehitetty Yhdysvalloissa sotilaskäyttöön ja maastonmallinnukseen, mutta nykyisin sillä on myös lukuisia muita käyttökohteita. (Hynninen 2011)

Laserkeilauksen erilaisia menetelmiä ovat maalaserkeilaus, ilmalaserkeilaus ja mobiilikeilaus. Maalaserkeilauksessa keilain pystytetään kolmijalan päälle ja sillä voidaan mitata esimerkiksi rakennuksien tilavuuksia. Ilmalaserkeilauksessa keilain on kytketty esimerkiksi lentokoneeseen tai helikopteriin. Mobiilikeilauksella puolestaan tarkoitetaan liikkuvasta autosta tai junasta tehtävää laserkeilausta. Voimalinjojen laserkeilauksessa käytetään ilmalaserkeilausta. Alla olevassa kuvassa 1.1 on esitetty lentokoneisiin, helikoptereihin ja miehittämättömiin ilma-aluksiin tarkoitettu ilmalaserkeilain. Sitä voidaan käyttää esimerkiksi juuri ilmajohtojen laserkeilaukseen. (Ketonen 2013; Nordic Geocenter 2014)



Kuva 1.1 Lentokoneisiin, helikoptereihin tai miehittämättömiin ilma-aluksiin tarkoitettu RIEGL VQ-480 ilmalaserkeilain, jota voidaan käyttää esimerkiksi ilmajohtojen laserkeilaukseen. (Nordic Center 2014)

## 2.1 Laserkeilaintyytit

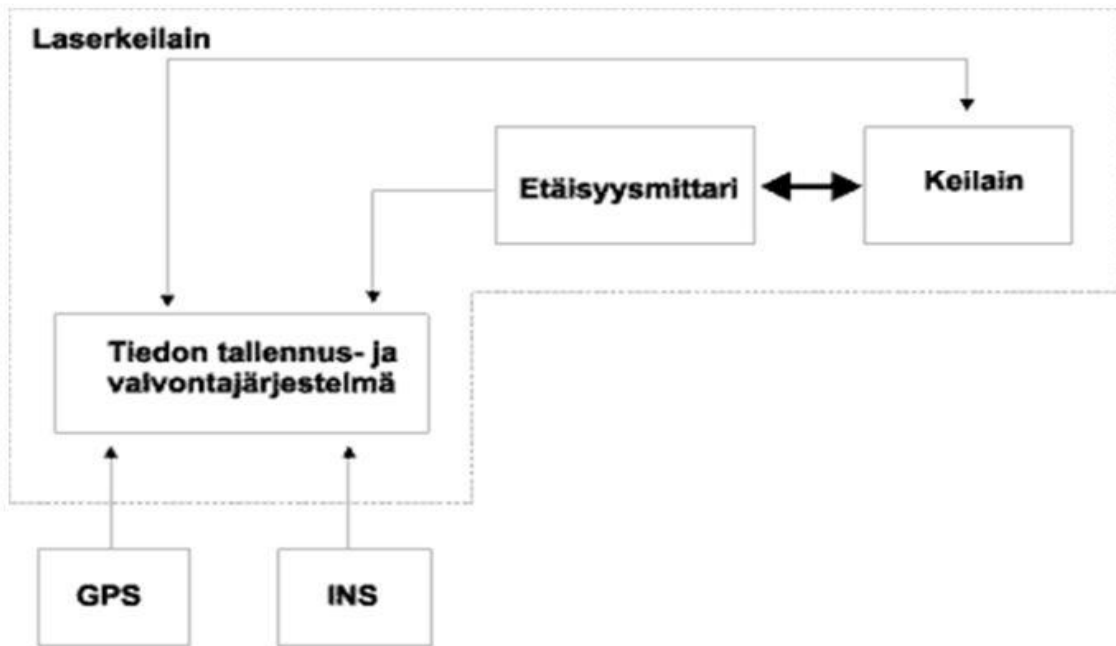
Laserkeilaimet voidaan jakaa kahteen eri päätyyppiin niiden käyttämän etäisyshavainnon määrittämisperiaatteen mukaan. Pulssilaserien etäisyysmittaus perustuu kohteesta heijastuvan laserpulssin edestakaisen kulkuajan mittaamiseen. Vaihe-erolaserit puolestaan määrittävät kohteen etäisyyden heijastuneen ja lähetetyn laserpulssin vaihe-eron ja aallonpituuksien moduloinnin avulla saatavan kokonaislukutuntemattoman perusteella. Vaihe-erolaserkeilaimien käyttökohteet ovat lyhyenkantaman mittauksissa, kun taas pulssilaserkeilaimien mittausetäisyydet ovat jopa useita satoja metrejä. Ilmajohtojen laserkeilauksessa käytetään yleensä pulssilaserkeilaimia, koska laserkeilattava etäisyys on liian pitkä vaihe-erolaserkeilaimelle. (Ketonen 2013)

Molemmat laserkeilaintyytit koostuvat keilainosasta, lasertykistä ja ilmaisinosasta. Laserkeilaimen keilainosa suorittaa nimensä mukaisesti laserkeilaimen varsinaisen laserkeilauksen. Lasertykki puolestaan tuottaa keilaamiseen tarvittavat laserpulssit ja ilmaisinosaa tulkitsee vastaanotetun signaalin eli lähetettyjen laserpulssien takaisin tulleet kaiut. Laserkeilainlaitteistoon sisältyvät myös tiedontallennus- ja valvontajärjestelmät, jotka tallentavat saadun tiedon ja valvovat, että laitteistot toimivat halutulla tavalla. (Ketonen 2013)

## 2.2 Ilmalaserkeilaus

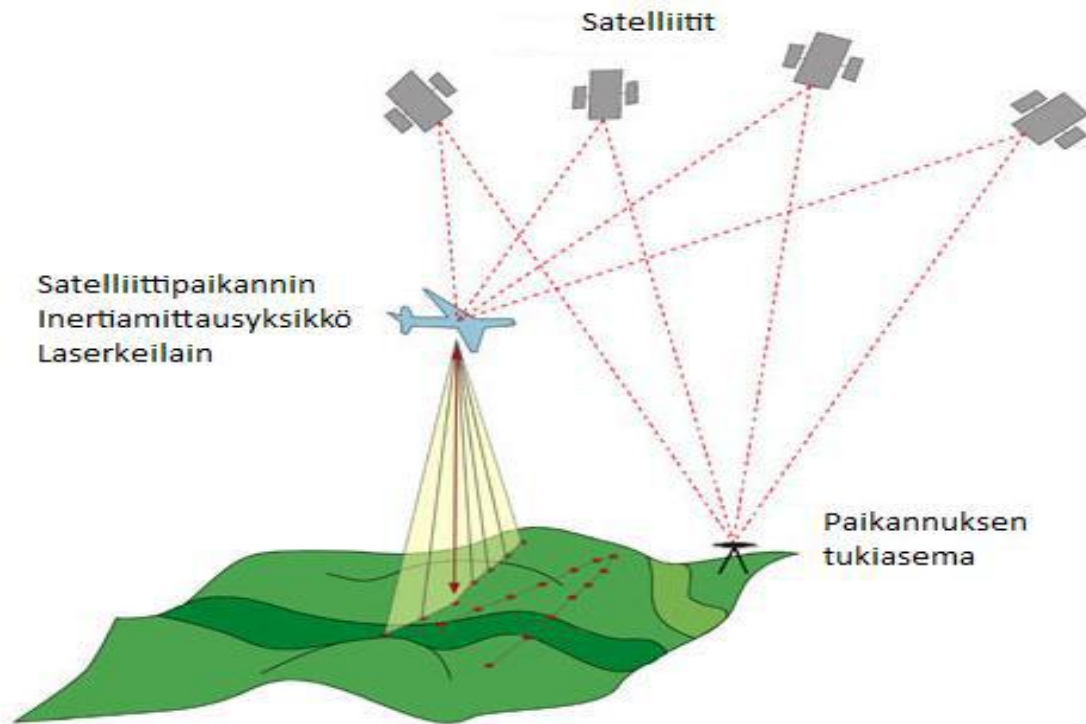
Ilmajohtojen laserkeilaus tehdään pääsääntöisesti helikoptereilla ilmalaserkeilauksena. Tällöin tarvitaan edellä mainittujen laserkeilaimien osien lisäksi satelliittipaikannuksella toimiva GPS-laite (Global Positioning System), joka määrittelee lennon aikana laserkeilaimen sijainnin suhteessa maan päällä sijaitsevaan tukiasemaan. Kuitenkaan pelkkä tarkka tieto laserkeilaimen sijainnista ei riitä siihen, että laserkeilattavan kohteen tarkka sijainti pystyttäisiin määrittelemään. Lisäksi tarvitaan myös INS-laitteisto (Inertia Navigation System), joka tallentaa tiedon keilaimen asennosta ja asennon muutoksista. INS-laitteiston avulla voidaan selvittää mihin suuntaan laserkeilain on laserpulssit lähettänyt. Kuvassa 2.1 on esitetty ilmalaserkeilauksessa käytettävän laserkeilaimen ja laitteiston perusosat sekä niiden väliset suhteet. (Soininen 2003; Hynninen 2011)





Kuva 2.1 Ilmalaserkeilauslaitteiston perusosat (Hynninen 2011)

Lentokoneesta tai helikopterista tehtävässä ilmalaserkeilauksessa GPS-paikannin on jatkuvasti yhteydessä paikannuksen tukiasemaan satelliittien välityksellä. Samaan aikaan laserkeilaimen keilainosa pyyhkii laserpulssia kohtisuoraan lentosuuntaa vasten. Inertiamittausyksikkö mittaa kaikki laserkeilaimen asennossa tapahtuvat muutokset. Koska lentokone lentää kaiken aikaa muodostuu tuloksena yhtenäinen laserkeilausaineisto laserkeilatusta alueesta. Kuvassa 2.2 on havainnollistettu ilmalaserkeilauksen toimintaperiaate. (Ketonen 2013)



Kuva 2.2 Ilma-aluksesta suoritettavan ilmalaserkeilauksen havainnekuva (Ketonen 2013)

Ilmalaserkeilauksesta saatavan aineiston tarkkuus riippuu pääasiassa käytettävästä lentokorkeudesta ja -nopeudesta sekä keilaimen avauskulmasta. Laserkeilauksen tarkkuudesta käytetään termiä pistetiheys, joka ilmoitetaan pisteiden lukumääränä neliometriä kohden. Laserkeilaimista saatavat aineistot voidaan jakaa niiden pistetiheyden perusteella harva- tai tiheäpulsseihin laserkeilausaineistoihin. Tiheäpulsseilla aineistolla tarkoitetaan yleensä aineistoa, jonka pistetiheys neliometrillä on viisi tai enemmän. Voimalinjoja keilauksessa käytettävä tarkkuus on yleensä noin  $50 \text{ pistettä/m}^2$ . Laserkeilain voi mitata lennon aikana yli 250 000 pistettä sekunnissa. (Hynninen 2011; Ketonen 2013; Juntunen 2013)

Voimalinjojen laserkeilaus vaatii suurta pistetiheyttä, jotta laserkeilauksesta saataisiin mahdollisimman suuri hyöty. Tämän takia se tehdään yleensä helikopterikeilauksella, joka mahdollistaa matalan lentokorkeuden ja mutkittelevien ilmajohtojen seuraamisen. Laajojen alueiden ilmalaserkeilaus tehdään yleensä lentokoneella, koska se on kustannustehokkaampi menetelmä. Lentokoneiden käyttö voi kuitenkin tekniikan kehityksen myötä tulla mahdolliseksi myös voimalinjojen laserkeilauksessa. (Juntunen 2013; Soininen 2003)

Nykyään pienien alueiden laserkeilaus voidaan tehdä myös miehittämättömillä kauko-ohjattavilla lennokeilla. Yksi tällainen UAV-laite (Unmanned Aerial Vehicle) on esitetty kuvassa 2.3. (UAS 2014)



Kuva 2.3 Laserkeilauslaitteistolla varustettu miehittämätön kauko-ohjattava lennokka (UAS 2014)

Tällaisia UAV-laitteita voitaisiin tulevaisuudessa käyttää myös voimalinjojen laserkeilauksessa, jos niiden luotettavuus paranisi ja se olisi lainsäädännöllisesti mahdollista. Niiden lennättäminen voisi esimerkiksi onnistua tietokoneiden avulla suoraan toimistosta käsin ja lentäminenkin olisi todennäköisesti edullisempaa kuin helikopterilla. (Koho 2014)

Tällä hetkellä kauko-ohjattavien lennokkien luotettavuus ei kuitenkaan ole vielä riittävällä tasolla, jotta niiden käyttö olisi mahdollista. Lisäksi Liikenteen turvallisuusvirasto Trafi on esittänyt keväällä 2014 ilmailulakiin muutosta, jonka perusteella kauko-ohjattavien lennokkien tulisi olla koko ajan lennättäjän näköpiirissä, enintään 500 metrin etäisyydellä ja korkeintaan 150 metrin korkeudella. Lisäksi yleisön ja tiheästi asuttujen taajamien yläpuolella lentäminen pääsääntöisesti kiellettäisiin muutosesityksessä. Kyseisen säädös käytännössä estäisi lennokkien käytön ilmajohtojen lentokuvauksessa tai tekisi siitä ainakin hyvin kannattamatonta. (Juntunen 2013; Trafi 2014; Koho 2014)

### 3. ILMAJOHTOJEN LENTOKUVAUS

Ilmajohtojen lentokuvauksella tarkoitetaan yleensä matalalla lentävästä helikopterista tehtävää kuvausta, jonka tarkoituksena on saada sähköverkosta sekä kaksi- ja kolmiulotteista kuvaa että laserkeilausaineistoa. Aineistojen saamiseksi helikopterin pohjaan on kiinnitetty laserkeilain sekä useampia kameroita. Yleensä kameroina on kolme 2D-kameraa, jotka ovat yleiskamera, takakamera ja zoom-kamera sekä lisäksi kamerat 3D-kuvan muodostamista varten. Helikopterin lentonopeus on johdinkatuja seurattaessa noin 60 - 100 km/h. Kuvassa 3.1 on Elenian ilmajohtojen laserkeilauksessa ja 3D-kuvauksessa käyttämä helikopteri. Kopterin alla näkyy laserkeilaukseen ja 3D-kuvaukseen vaadittavaa laitteistoa. (Salovaara 2014; Juntunen 2013)



Kuva 3.1 Elenian ilmajohtojen laserkeilauksessa ja 3D-kuvauksessa vuonna 2014 käyttämä helikopteri tarvittavine laitteistoineen. (Elenia 2014)

#### 3.1 Ilmajohtojen laserkeilauksen historia Suomessa

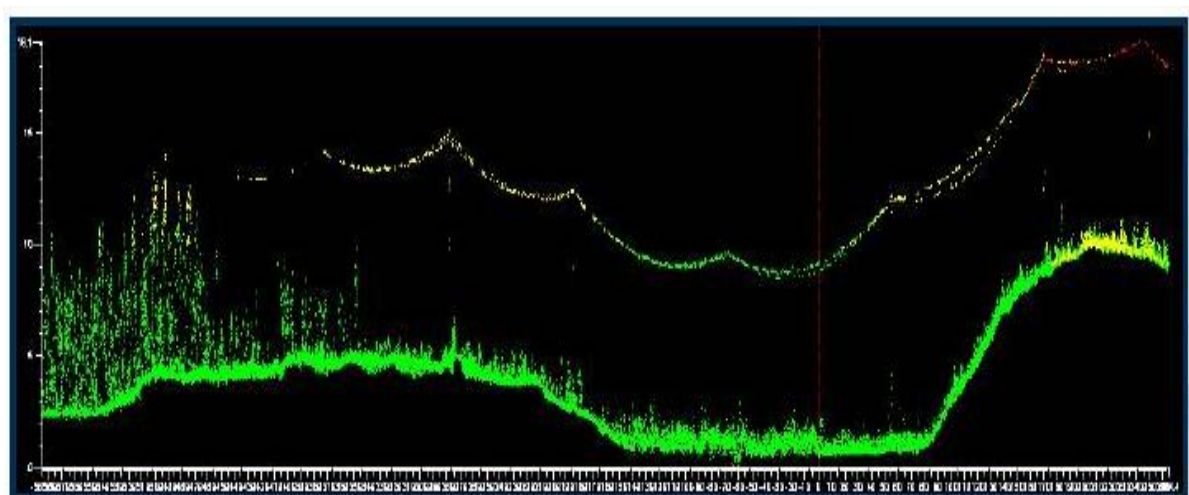
Ilmajohtojen laserkeilaus on vielä varsin uusi ja vähän käytetty keino ilmajohtojen huolto- ja kunnossapitotarpeen arvioinnissa. Suomessa ensimmäisenä laserkeilausta kokeili Fortum, kun se vuonna 2006 laserkeilasi osan verkkoaan Lounais-Suomessa lentokuvauksen yhteydessä. Tällöin saatu aineisto ei kuitenkaan vielä ollut riittävän laadukasta, jotta Fortum olisi alkanut hyödyntää laserkeilausta laajemmin sähköverkkonsa kuntotarkastuksissa. (Antila 2014)

Laserkeilausteknologian nopean kehityksen ansiosta Elenia, silloinen Vattenfall, aloitti laserkeilauksen käytön vuonna 2008 ja on siitä asti kuvannut ja laserkeilannut osan verkostaan vuosittain. Fortum päätti kokeilla laserkeilausta uudelleen 2010 ja saadut tulokset olivat niin hyviä, että laserkeilausta päätettiin hyödyntää yhtiössä laajemminkin. Myös Kymenlaakson Sähköverkko Oy päätti kokeilla lentokuvausta vuonna 2010. Yhtiön lentokuvauksien ensisijaisena tarkoituksena oli saada materiaalia 20 kV:n komponenttien kunnossapitotarkastuksia varten, mutta ohessa tuli myös laserkeilausaineistoa. (Antila 2014; Koho 2014; Salovaara 2014)

### 3.2 Lentokuvauksesta saatava aineisto

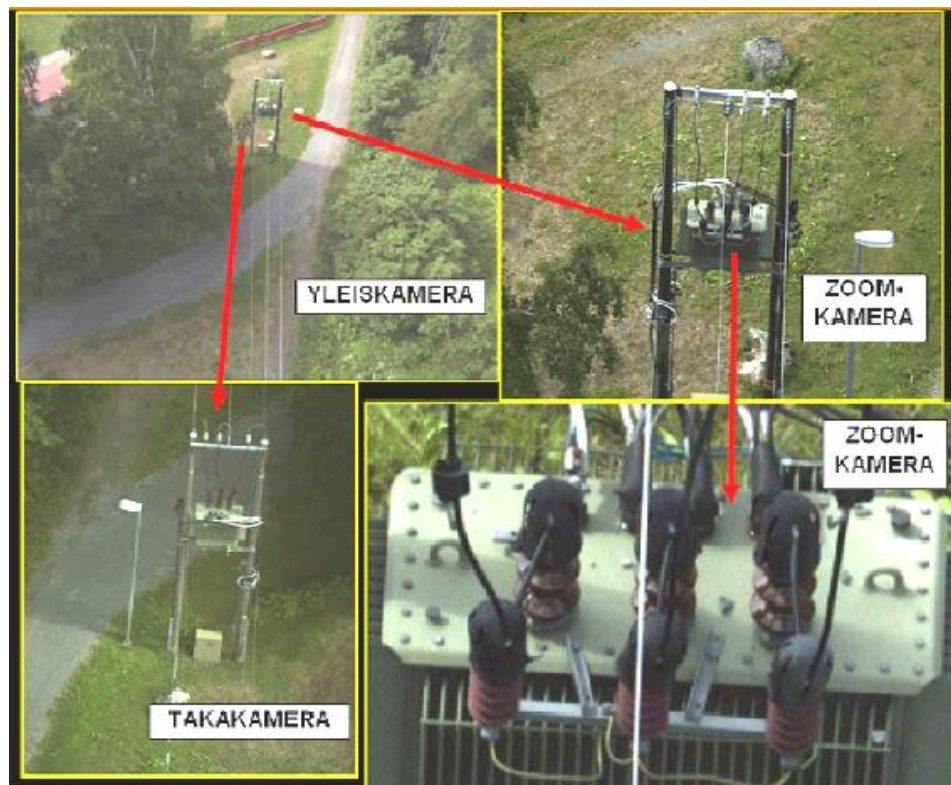
Ilmajohtojen lentokuvauksella saadaan käytännössä kahdenlaista aineistoa. Toinen on laserkeilauksesta saatava pistepilviaineisto, jonka avulla on mahdollista saada esimerkiksi erittäin tarkkoja arvioita puiden ja oksien etäisyyksistä ilmajohtoihin. Toinen aineisto on puolestaan erilaisilla kameroilla saatava tarkka 2D- ja 3D-kuvamateriaali johtokadusta. (Salovaara 2014; Elenia 2013)

Kuvassa 3.2 näkyy voimalinjan laserkeilauksesta muodostettu pistepilvi. Kuvassa näkyvä ylempi pisteiden muodostama viiva on voimalinjan johtimen heijaste ja alemman vahvemman viivan pisteiden heijastukset ovat peräisin maasta tai kasvillisuudesta. (Salovaara 2014; Elenia 2013)



Kuva 3.2 Voimalinjan laserkeilauksesta muodostettu pistepilvi (Salovaara 2014)

Kuvassa 3.3 on puolestaan havainnollistettu, millaista erilaista kuvamateriaalia pylväsmuuntajasta voidaan saada eri kameroilla lentokuvauksen yhteydessä. Kuvasta nähdään, että zoom-kameralla otetuista kuvista voidaan tehdä hyvinkin yksityiskohtaisia havaintoja muuntajan komponenttien kunnosta. Lisäksi ylhäältä päin otetut kuvat mahdollistavat erilaisen näkökulman mahdollisten vikaantuneiden osien havainnoimiseen kuin maasta tehtävä kuntotarkastus. (Salovaara 2014)

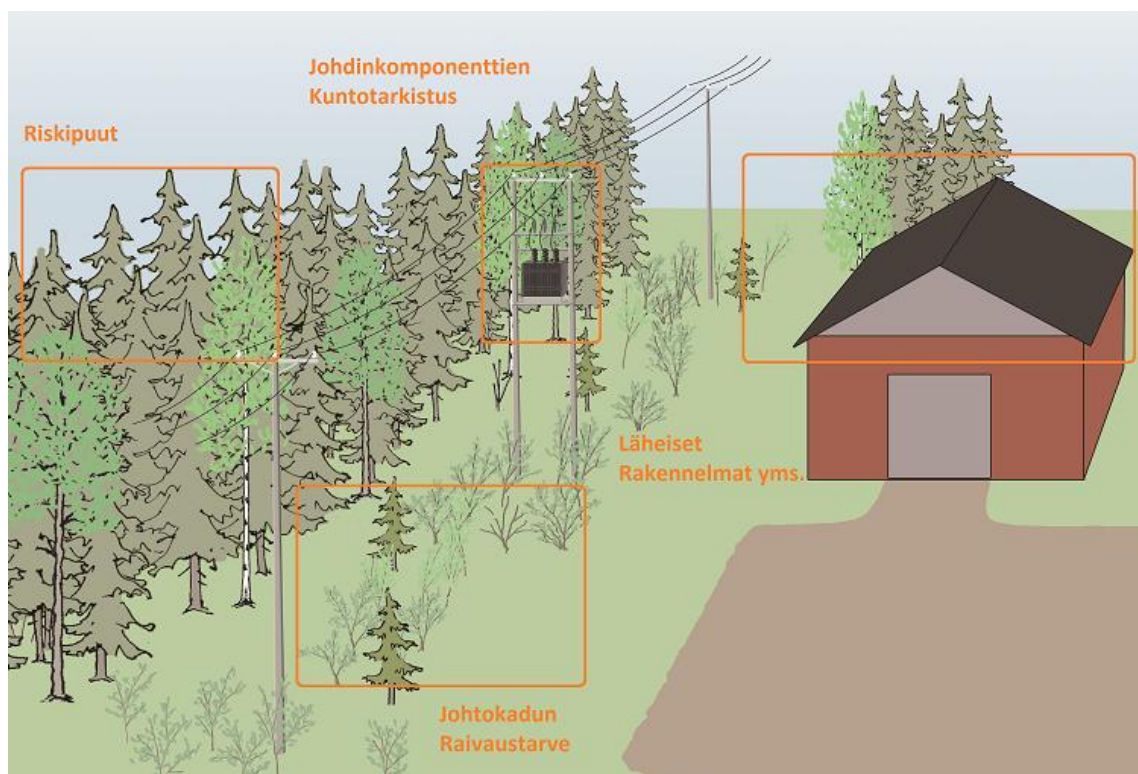


Kuva 3.3 Ilmajohtojen lentokuvauksesta eri kameroilla saatuja kuvia (Salovaara 2014)

### 3.3 Miksi ilmajohtoja lentokuvataan?

Ilmajohtojen lentokuvaus on tehokas ja luotettava tapa tarkastaa sähköverkon kuntoa. Näin ollen se myös tehostaa sähköverkon ylläpitoa ja parantaa turvallisuutta, kun vaaralliset kohteet huomataan helpommin ja niihin voidaan puuttua aiemmin. Lentokuvauksista saatua kuva-aineistoa voidaan lisäksi tutkia tietokoneen äärestä hyvinkin yksityiskohtaisesti ilman, että huoltomiesten tarvitsee mennä paikan päälle maastoon. Tämän ansiosta sää tai vuodenaika eivät rajoita tai hidasta tarkastustyötä. Kuvattujen sähköverkkojen tarkastuksia voidaan siis tehdä käytännössä tauotta. (Elenia 2014)

Lentokuvausaineiston keskeisimmät käyttökohteet sähköverkkoyhtiön kannalta ovat johtokomponenttien kuntotarkastus, johtokadun raivaustarpeen analysointi, linja-alueen vierimetsän riskipuiden havainnointi, muiden riskikohteiden, kuten rakennusten, puupinojen ja muiden vastaavien kohteiden havainnointi sekä asiakaspalvelutehtävät. Lentokuvaus on koettu kustannustehokkaaksi ratkaisuksi sähköverkon kuntotarkastuksiin ja kustannusten säästö onkin yksi keskeinen syy, miksi maasta käsin tehtävät sähköverkon kuntotarkastukset on haluttu korvata mahdollisuuksien rajoissa lentokuvauksilla. Alla olevassa kuvassa 3.4 on esitetty edellä mainitut keskeisimmät lentokuvauksen käyttökohteet. (Juntunen 2013; Antila 2014)



Kuva 3.4 Ilmajohtojen 3D-kuvauksen ja laserkeilauksen keskeisimmät käyttökohteet (Juntunen 2013)

Saatu aineistoa voidaan käyttää kunnossapidon lisäksi apuna verkkojen suunnittelussa ja verkon dokumentoinnin tukena. Verkostoinvestointien suunnittelu helpottuu, kun tavallisten karttapohjaisten verkostokuvien lisäksi on käytössä tarkat ja todenmukaiset kuvat suoraan maastosta. Lisäksi sitä voidaan käyttää verkon ja ilmajohtojen tarkan sijainnin tarkistamiseen. (Kymenlaakson Sähkö 2013; Koho 2014; Salovaara 2014)

### **3.3.1 Johtokomponenttien kuntotarkastus**

Sähköverkkoyhtiöiden on tehtävä johtokomponenteille kuntotarkastuksia säännöllisin väliajoin. Aikaisemmin tarkastukset on tehty paikan päälle lähetetyn huoltomiehen voimin. Ilmajohdojen lentokuvausten ansiosta ne voidaan nykyään tehdä manuaalisesti ilmakuvista tulkittuna, edellyttäen, että käytössä on resoluutioltaan riittävän tarkkoja ilmakuvia ja kuvien tarkastelun mahdollistava paikkatietosovellus. Tämä tarkoittaa yleensä sitä, että kuvien erottelukyvyn pitää olla noin 5 senttimetrin luokkaa. Näin tarkkoja kuvia saadaan käytännössä ainoastaan juuri tähän tarkoitukseen tarkoitettulla ilmajohdojen lentokuvauksella. (Juntunen 2013)

Ilmajohdojen lentokuvauksien ansiosta johtokomponenttien kuntotarkastukset voidaan siis suorittaa nykyään siistinä sisätyönä. Osa sähköyhtiöistä käyttää kuntotarkastusten tekoon myös ulkopuolisia urakoitsijoita. Ilmakuvista voidaan nähdä mm. oikaisua vaativat pylvää, pylväiden latvojen kunto, erilaiset rikkiäiset komponentit, pylväsmuuntamoiden kunto silmämääräisesti, puuttuvat hengenvaara-kyttilit ja muut merkintäpuutteet. Kuntotarkastuksesta saatavat havainnot tallennetaan paikkatietorekisteriin. Ilmakuvista voidaan erilaisen katselukulman ansiosta havaita sellaisiakin asioita, joita maasta käsin tehtävästä tarkastuksesta ei välttämättä huomattaisi. (Juntunen 2013; Kymenlaakson Sähkö 2012)

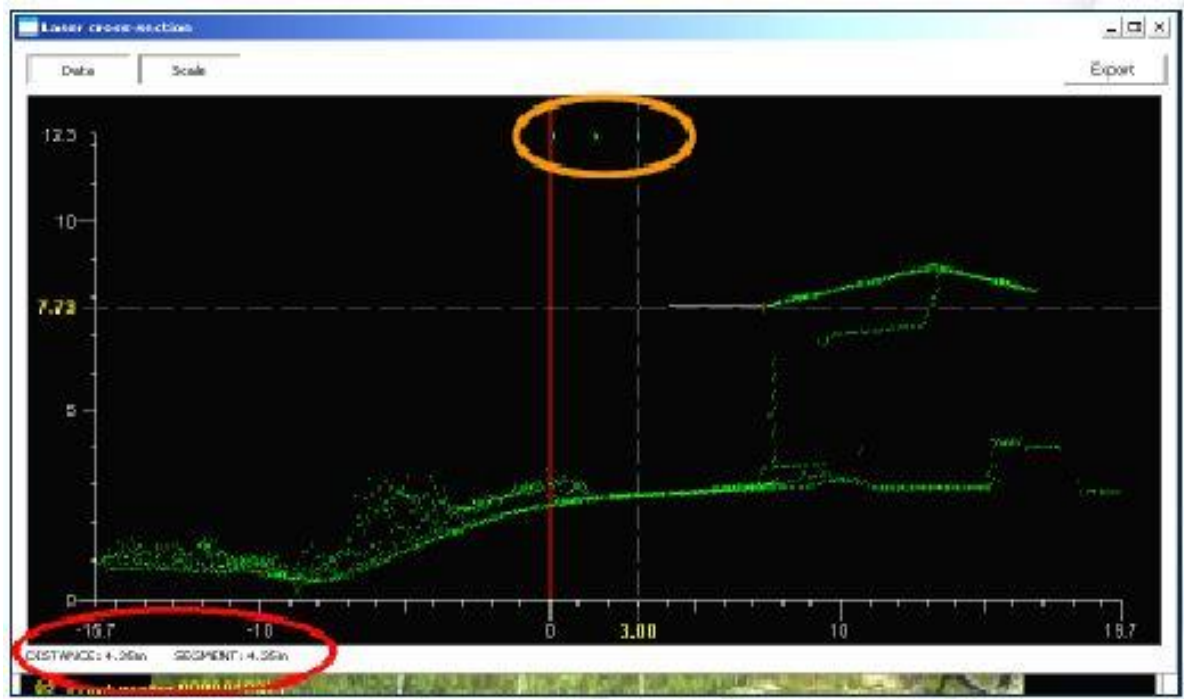
### **3.3.2 Johtokadun raivaustarpeen analysointi**

Verkkoyhtiöillä on oikeus ja samalla velvollisuus hoitaa johtokatuja siten, että niillä olevat kasvustot eivät uhkaa johdon toimintavarmuutta. Aikaisemmin kaikki johtokatuja raivaukset on suoritettu säännöllisin väliajoin. Näin toimii suurin osa verkkoyhtiöistä vielä nykyäänkin. Lentokuvauksien yksi suurimmista eduista on se, että johtokatuja raivaukset voidaan tehdä tarveperusteisesti aiemmin käytetyn aikaperusteisen raivauksen sijaan. (Juntunen 2013; Salovaara 2014)

Kuvassa 3.5 on havainnollistettu sitä, millaista informaatiota laserkeilauksesta saatavasta pistepilviaineistosta voidaan saada. Oranssilla ympyrällä kuvaan merkityt kolme pistettä ovat laserkeilauksen kaiut ilmajohdoista. Punaisella ympyrällä on puolestaan merkitty ohjelman automaattisesti antamat ilmajohdojen etäisyydet muusta ympäristöstä. Tässä



tapauksessa etäisyydet on mitattu siis kuvassa näkyvän rakennuksen katosta. (Salovaara 2014)



Kuva 3.5 Voimalinjan laserkeilauksesta muodostettu pistepilvi (Salovaara 2014)

Johtokatuojen raivausten kohdistaminen sinne, missä raivaus tarve on suurin, onnistuu, kun tulkitaan lentokuvauksista saatu aineistoa joko manuaalisesti tai automaattisesti. Manuaalinen raivaustarpeen analysointi tehdään tarkoista ilmakuvista ja automaattisesti sen voi tehdä laserkeilausaineistosta ja/tai ilmakuvista. Laserkeilausaineiston pohjalta tehty analyysi on todennäköisesti tarkempi, koska aineistosta saadaan mitattua tarkkoja puiden pituuksia. Manuaalisesti tehdyssä analyysissä joudutaan tyytymään erilaisiin arvioihin. Lisäksi laserkeilausaineistosta tehtynä analyysin tekee aina tietokone samalla tavalla, kun taas manuaalisesti tehtynä eri ihmisillä voi olla erilaisia arvioita puiden pituuksista. (Juntunen 2013; Salovaara 2014)

### 3.3.3 Ilmajohdojen vierimetsän riskipuiden havainnointi

Laserkeilausaineistoa analysoidessa etäisyyden mittaaminen ilmajohdoista puustoon voidaan tehdä automaattisesti ja näin ollen huomattavasti tarkemmin kuin maasta käsin tehtävä etäisyyksien arviointi. Täten ilmajohdojen päälle mahdollisesti kaatuvien riskipuiden havainnointi onnistuu helposti laserkeilausaineistosta. Tässä arvioinnissa riskinaiheuttajana pidetään kuitenkin vain laserkeilauksesta saatujen vieruspuiden

pituuksia ja niiden etäisyyksiä ilmajohtoihin. Lisäksi ilmakuviista voidaan havaita johtokadun reunoilta kallistuneet ja siten ilmajohtoja välittömästi uhkaavat puut. Lahopuiden havainnointi on kuitenkin lentokuvausaineistosta hyvin vaikeaa ja se joudutaankin käytännössä tekemään edelleen paikan päälle tehdyillä tarkastuskäynneillä. (Juntunen 2013; Antila 2014)

### **3.3.4 Muut riskikohteet ja asiakaspalvelutehtävät**

Ilmakuviista ja laserkeilausaineistosta voidaan havaita myös sähköturvallisuuden kannalta liian lähellä ilmajohtoja olevat kohteet kuten esimerkiksi rakennukset. Laserkeilausaineistosta voidaan automaattisesti luokitella pysyvät rakennukset ja muut rakennelmat, mutta kaikkien kohteiden täydellinen luokittaminen ei ole mahdollista. Laserkeilauksen suorittamisen aikaan johtokaduilla ja niiden vieressä on voinut olla mitä erilaisimpia väliaikaisia kohteita, joita laserkeilausaineiston analysointiin tarkoitettujen automaattisten algoritmien ei pysty tulkitsemaan. Tällaisia tilapäisiä kohteita voivat olla esimerkiksi ajoneuvot, puupinot tai teltat. Näiden tuntemattomien kohteiden määrittämiseksi tarvitaan tarkkaresoluutioisia ilmakuvia, joista voidaan tarkistaa havaittujen heijastusten aiheuttajat. (Juntunen 2013)

Johtokaduista otetuista tarkoista ilmakuviista voi olla hyötyä myös asiakaspalvelutehtävissä. Asiakaspalveluun tulevilla reklamaatio- ja vianilmoitustilanteissa voi usein olla suurta hyötyä, jos asiakkaan tilannetta voidaan tarkastella työasemalta. Tällöin vikapartiokin on helpompi lähettää oikeaan paikkaan ja oikeilla varusteilla, kun tarkka vikapaikan sijainti ja mahdollinen vian aiheuttaja voidaan tarkistaa kuvien avulla. (Antila 2014; Juntunen 2013)

Taulukossa 3.1 on esitelty lentokuvauksessa saatujen eri laatuisten kuvamateriaalien ja eritasoisten laserkeilausaineistojen käyttömahdollisuuksia sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa. Lisäksi taulukossa on kerrottu millaista hyötyä näistä kuvamateriaaleista ja aineistoista on.

Taulukko 3.1 Lentokuvauksista saatujen aineistojen käyttömahdollisuudet sähköverkkoyhtiöille (Mukaillen Juntunen 2013)

Käytettävä aineisto				
Käyttökohde	Tiheäpulssinen laserkeilausaineisto	Harvapulssinen laserkeilausaineisto	Tarkat ilmakuvat helikopterista	Normaalit ilmakuvat
Johtokomponenttien kuntotarkastus	Ei hyötyä.	Ei hyötyä.	Mahdollista ainoastaan tällä aineistolla.	Ei hyötyä.
Johtokadun raivaustarpeen analysointi	Mahdollistaa automaattisen raivaustarveanalyysin.	Soveltuu jossain määrin, mutta epätarkka.	Mahdollistaa manuaalisen analyysin ja etäisyyden mittaamisen kuvaruudulta.	Ei hyötyä.
Johtokadun vierimetsän riskipuiden havainnointi	Tunnistaa yksittäisetkin puut automaattisesti. Ongelmana liian kapea keilausalue.	Mahdollista erottaa uhkaavia puuryhmiä. Ongelmana linjan sijaintitiedon epätarkkuus.	Mahdollistaa puiden havaitsemisen manuaalisesti.	Mahdollistaa visuaalisen tarkastelun.
Muiden riskikohteiden havainnointi	Mahdollistaa kohteen tunnistamisen jossain määrin ja automaattisen etäisyyden laskennan.	Mahdollistaa kohteen tunnistamisen jossain määrin. Ei mahdollista automaattista etäisyyden laskentaa.	Mahdollistaa manuaalisen analyysin ja etäisyyden mittaamisen kuvaruudulta.	Mahdollistaa manuaalisen analyysin ja etäisyyden mittaamisen kuvaruudulta.
Asiakaspalvelutehtävät	Ei hyötyä.	Ei hyötyä.	Mahdollistaa asiakaspalvelutehtävään liittyvien asioiden tarkistamisen kuvaruudulta.	Mahdollistaa asiakaspalveluun liittyvien asioiden tarkistamisen kuvaruudulta.

Taulukon 3.1 perusteella voidaan todeta, että suurin hyöty ilmajohtojen lentokuvauksista saadaan, kun ne suoritetaan matalalla lentävästä helikopterista, joka kerää tiheäpulssista laserkeilausaineistoa ja tarkkoja ilmakuvia johtokaduista. Harvapulssisista laserkeilausaineistoista ja normaaleista ilmakuvista ei puolestaan ole juurikaan hyötyä sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta.

#### **4. ILMAJOHTOJEN LASERKEILAUKSEN KÄYTTÖKOKEMUKSET**

Ilmajohtojen laserkeilaus tai ylipäätään lentokuvaus oli vuoden 2013 lopussa vielä melko vähäistä Suomessa. Seuraavassa on esitelty kolmen Suomessa toimivan sähköverkkoyhtiön (Elenia Oy, Fortum Oyj ja Kymenlaakson Sähkö Oy), kokemuksia laserkeilauksen käytöstä ilmajohtojen kartoituksessa. Kyseiset yhtiöt ovat edelläkävijöitä laserkeilauksen käytössä Suomessa sekä koko maailmassa.

Vuoden 2013 syyskuun loppuun mennessä Fortum oli lentokuvauksella 3D-kuvannut ja laserkeilannut koko maanpäällisen suurjännite- ja keskijänniteverkkonsa, joka tarkoittaa noin 24 000 kilometriä. Elenialla puolestaan on tavoite saada vuoden 2014 loppuun mennessä kuvattua ja laserkeilattua koko sähköverkkonsa jo toiseen kertaan. Tämä tarkoittaa noin 20 000 kilometriä jakeluverkkoa ja noin 1400 kilometriä alueverkkoa. KSOY puolestaan kuvasi sähköverkkooan vuonna 2013 1400 kilometrin matkalta, johon sisältyi mm. kaikki sen omistamat 110 kV:n ilmajohtot. (Fortum 2013; Kymenlaakson Sähkö 2013; Salovaara 2014)

##### **4.1 Käyttökokemukset**

Tutkielmaa varten haastatellut sähköverkkoyhtiöt ovat kaikki olleet tyytyväisiä lentokuvauksen käyttöön. Saatu hyöty lentokuvauksesta on luonnollisesti suurin silloin, kun johtokatu lentokuvataan ensimmäisen kerran. Tällöin saadaan selville kasvillisuuden ja johtimien välisen etäisyyden ja komponenttien kunnan sekä huoltotarpeen lisäksi tietoa esimerkiksi johdinkatujen tarkoista sijainneista. Toisen lentokuvauksen jälkeen puolestaan voidaan arvioida paremmin kasvillisuuden kasvunopeutta kullakin alueella, kun aineistosta voidaan laskea miten paljon puut ovat kasvaneet lentokuvausten välissä. Kasvunopeuden arvioinnin perusteella voidaan tehdä parempia johtokatuja raivaussuunnitelmia. (Koho 2014; Antila 2014)

Sähköverkkoyhtiöt ostavat lentokuvaukset lähes aina niitä tarjoavilta yrityksiltä. Tällaisia lentokuvauksia tekeviä yrityksiä toimii Suomessa vain muutamia. Lisäksi sähköverkkoyhtiöt käyttävät yleensä eri toimittajien tarjoamia ohjelmistoja lentokuvauksesta saatujen kuvien ja aineistojen katseluun jokapäiväisessä työssään. Toimittajat tekevät sähköverkkoyhtiöille myös automaattisia raivaustarveanalyysyjä laserkeilausaineiston pohjalta. Laserkeilausaineiston normaali käyttö ei siis vaadi

erityisosaamista sähköverkkoyhtiöiltä itseltään, jos se tehdään jonkun käyttöliittymän kautta, mutta aineistojen kokoaminen, jalostaminen ja raporttien luominen vaatii erityisosaamista. Käytännössä tämän erityisosaamista vaativan työn sähköverkkoyhtiöt teettävät jollain ohjelmistoyrityksellä. (Koho 2014; Salovaara 2014)

Laserkeilauksesta saatavien aineistojen käytön helppous on siis käytännössä täysin riippuvainen siitä, millaisella käyttöliittymällä aineistoa käsitellään. Aineistojen käsittely käsin on hidasta ja soveltuu ainoastaan jonkin yksittäisen kohteen, kuten puun piteuden tai rakennuksen etäisyyden mittaamiseen. Automatisoimalla haut eri käyttötarkoituksiin ja jalostamalla halutut raportit saadaan käyttöön paljon lisää tuottavuutta ja taloudellisuutta. Laserkeilausaineistojen käyttö ei siis vaadi sähköverkkoyhtiöltä juurikaan erityistä atk-osaamista, mikäli se hankkii kaikki haluamansa raportit ja vastaavat jonkun ohjelmistoyrityksen välityksellä. (Koho 2014; Antila 2014)

#### **4.2 Taloudellinen kannattavuus**

3D-kuvauksen ja laserkeilausaineiston hankintakustannukset ovat aina tapauskohtaisia. Kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi kartoitettavan alueen laajuus eli lentokuvattavan verkon pituus ja hankittavan aineiston käyttötarkoitus. Mikäli halutaan hankkia laserkeilausainestoa, jonka pistetiheys on hyvin suuri, tarkoittaa se käytännössä sitä, että laserkeilaus on tehtävä matalasta lentävästä koneesta eli lähes aina helikopterista. Tällöin yleensä kustannukset ovat korkeammat. Korkeammalla lentävästä koneesta tehty lentokuvaus on edullisempi, mutta samalla myös saatava laserkeilausaineisto on pistetiheydeltään epätarkempaa ja saadun aineiston käyttömahdollisuudet siten myös huomattavasti rajoitetummat. Lisäksi lentokuvauksesta saatavat hyödyt riippuvat siitä, missä kunnossa sähköverkko on. Jos sähköverkko on moitteettomassa kunnossa, saatava hyöty on luonnollisesti pienempi kuin kunnostusta vaativassa sähköverkossa. (Juntunen 2013)

Lentokuvausta suunnittelevien yhtiöiden on siis luonnollisesti itse päätettävä, millaiset tarpeet lentokuvauksella tulisi heidän osaltaan pystyä ratkaisemaan. Lisäksi on pohdittava mitkä ovat tähän käytettävissä olevat resurssit. Tarkempi lentokuvausaineisto tulee aina kalliimmaksi johtuen sen korkeammista tuottamiskustannuksista, tarvittavasta atk-osaamisesta ja tiedon varastoinnista. Kaikki tätä tutkielmaa varten haastatellut

sähköverkkoyhtiöt ovat kuitenkin kokeneet, että heille on ollut taloudellista hyötyä 3D-kuvata ja laserkeilata sähköverkkooan. (Juntunen 2013; Antila 2014; Salovaara 2014; Koho 2014)

### 4.3 Tulevaisuuden näkymät

Ilmajohtojen laserkeilaus ja ylipäättään niiden lentokuvaus tulee hyvin todennäköisesti yleistymään Suomessa lähitulevaisuudessa. Tutkielmaa varten haastateltujen sähköverkkoyhtiöiden mukaan ainakin he tulevat hyödyntämään 3D-kuvausta ja laserkeilausta tulevaisuudessa enenevissä määrin verkkonsa huolto- ja kunnossapitotarkastuksissaan sekä muussa käytössään. Esimerkiksi Elenialla on tarkoituksena vastaisuudessa lentokuvata sähköverkostaan noin neljäsosa vuosittain. Tämä tarkoittaa siis, että koko Elenian verkko tulee kuvatuksi aina neljän vuoden välein. Lisäksi haastatellut yhtiöt uskovat, että yhä useampi sähköverkkoyhtiö huomaa lentokuvauksesta saatavat hyödyt ja alkaa käyttämään lentokuvausta osana sähköverkkojensa huolto- ja kunnossapitotarkastustaan. (Antila 2014, Koho 2014, Salovaara 2014)

Laserkeilausaineiston käyttö tulee lisäksi tulevaisuudessa nopeutumaan ja helpottumaan, kun keilauksesta saatavan aineiston läpikäyntiä automatisoidaan entistäkin enemmän. Automatisoinnin avulla voidaan johtokatuja raivaustarveanalyysit tehdä tarkemmin ja nopeammin. Lisäksi, kuten muukin tekninen kehitys, niin myös laserkeilauksessa käytettävien mittauslaitteiden kehitys on hyvin nopeaa. Kehityksen seurauksena laserkeilainten pulssitiheys tulee todennäköisesti kasvamaan jo lähitulevaisuudessa niin paljon, että se mahdollistaa lentokorkeuden nostamisen. Tämä voi mahdollistaa myös lentokoneiden käytön ilmajohtojen laserkeilauksessa. Näin ollen laserkeilausten kustannukset tulevat entisestään laskemaan, kun lennot voidaan suorittaa entistä pienemmillä kustannuksilla ja entistä nopeammin. Lentokuvauksen kustannusten laskeminen ja aineistojen helpompi tulkinta tulevat todennäköisesti lisäämään lentokuvauksen käyttöä myös pienempien sähköverkkoyhtiöiden keskuudessa. (Juntunen 2013)

Lentokuvausaineiston tekotapa voi myös tulevaisuudessa muuttua tekniikan kehittyessä. Tulevaisuudessa laserkeilausaineistoja voidaan käyttää ns. hybridimallin mukaan, jossa helikopterista laserkeilattu tiheäpulssinen aineisto ja lentokoneesta kuvattu harvapulssinen

laserkeilausaineisto yhdistettäisiin. Tarkemmasta tiheäpulsseista aineistosta voitaisiin edelleen tutkia esimerkiksi johtopöiilien tarkkaa sijaintia ja muuta vastaavaa. Harvapulsseilla aineistolla puolestaan täydennettäisiin tiheäpulsseista aineiston tietoja leveämmältä kaistalta. Tiheäpulsseista laserkeilausaineistosta pystytään usein havaitsemaan vain johtokatuken lähimmät puut, mutta hybridimallissa käytettävän harvapulsseista aineiston ansiosta saataisiin ilmajohtoja uhkaavien metsiköiden tunnistamiseen tukea laajemmaltakin alueelta. (Juntunen 2013)

## 5. YHTEENVETO

Tämän tutkielman tarkoituksena oli selvittää lentokuvauksen eri käyttömahdollisuuksia sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa. Lentokuvauksella tarkoitetaan tässä yhteydessä pääasiassa helikopterista tehtyä ilmajohtojen ja johtokatuken 3D-kuvausta sekä laserkeilausta. Lisäksi työssä pohdittiin lentokuvauksen taloudellista kannattavuutta ja tulevaisuuden näkymiä sähköverkkoyhtiöiden näkökulmasta. Näiden pohdintojen tueksi tutkielmaa varten oli haastateltu merkittävimpiä lentokuvausta jo käyttäviä sähköverkkoyhtiöitä Suomessa.

Lentokuvauksen tärkeimpiä käyttömahdollisuuksia sähköverkkoyhtiöiden toiminnassa ovat sähköverkon turvallisuuden sekä huolto- ja kunnossapitotarpeen määrittely. Lisäksi lentokuvauksesta saatua materiaalia voidaan hyödyntää esimerkiksi sähköverkkoyhtiön asiakaspalvelutehtävissä ja muissa tarkastusta vaativissa tehtävissä.

Johtokadusta otettavan laserkeilausaineiston avulla voidaan esimerkiksi tehdä automaattisia johtokatuken raivaustarveanalysointeja ja mitata täyttyvätkö johtimien vaatimat turvaetäisyydet ympäristöön. Saadut tulokset ovat huomattavasti tarkempia kuin huoltomiehen paikan päällä tekemä silmämääräinen arvio. Lentokuvauksesta saatavan riittävän tarkkaresoluutioisen 3D-kuvamateriaalin avulla voidaan puolestaan esimerkiksi tehdä johtokomponenttien kuntotarkastuksia. Lisäksi kuvista voidaan tarkastella erilaisiin asiakaspalvelutehtäviin liittyviä kohteita tai joitain laserkeilausaineistosta tunnistamattomia kohteita. Tarkoista kuvista on mahdollista tehdä myös silmämääräinen arvio johtokadun raivaustarpeesta.

Lentokuvauksen taloudellista kannattavuutta sähköverkkoyhtiölle on hyvin vaikea määrittää, sillä lentokuvauksen kustannukset ja siitä saatavat hyödyt ovat käytännössä täysin tapauskohtaisia. Lentokuvauksen kustannuksiin vaikuttavat esimerkiksi kuvattavan sähköverkon koko ja se, minkä laatuista aineistoa lentokuvauksesta halutaan saada. Parempi laatuinen aineisto maksaa tietenkin enemmän, mutta sitä voidaan myös käyttää useampaan eri tarkoitukseen. Saatavat hyödyt riippuvat puolestaan siitä, missä kunnossa sähköverkko on. Jos sähköverkko on moitteettomassa kunnossa, saatava hyöty on luonnollisesti pienempi kuin kunnostusta vaativassa sähköverkossa. Tutkielmaa varten haastateltujen verkkoyhtiöiden kokemukset sähköverkkojensa lentokuvauksesta olivat kuitenkin pääsääntöisesti positiivisia ja he uskovatkin, että lentokuvaus on ollut yhtiöille taloudellisesti kannattavaa.

Ilmajohtojen lentokuvaus oli vielä vuonna 2014 melko vähän hyödynnetty keino ilmajohtojen huolto- ja kunnossapitotarkastuksissa tai muussakaan käytössä. Sen käyttö tulee kuitenkin tulevaisuudessa hyvin todennäköisesti lisääntymään siitä saatavien tietojen ja käyttökokemusten lisääntyessä sekä tekniikan kehittyessä ja kustannusten pienentyessä. Kaikki tutkielmaa varten haastatelluista sähköverkkoyhtiöiden edustajajista kertoivat jatkavansa lentokuvauksen käyttöä myös tulevaisuudessa. Heidän tarkoituksenaan on lentokuvata koko verkkonsa säännöllisin väliajoin. Lisäksi he uskovat, että yhä useampi verkkoyhtiö tulee jatkossa hyödyntämään lentokuvausta toiminnassaan.



## LÄHTEET

Antila, S. Fortum, 2014. Sähköpostikeskustelu

Elenia, 2014. Sähköverkon kunnossapito – Kysymyksiä ja vastauksia,  
[http://www.elenia.fi/sahko/kunnossapito\\_ukk](http://www.elenia.fi/sahko/kunnossapito_ukk) [viitattu 28.2. 2014]

Elenia, 2013. Elenia jatkaa 3D-lentokuvauksia sähköverkon kunnan tarkastamiseksi Keski-Suomen pohjoisosissa, <http://www.elenia.fi/uutiset/elenia-jatkaa-3d-lentokuvauksia-s%C3%A4hk%C3%B6verkon-kunnan-tarkastamiseksi-keski-suomen> [viitattu 3.3.2014]

Fortum, 2013. Fortum nopeutti sähköverkon säävarmuuden parantamista,  
<http://globenewswire.com/news-release/2013/10/09/579095/0/fi/Fortum-nopeutti-s%C3%A4hk%C3%B6verkon-s%C3%A4varmuuden-parantamista.html> [viitattu 4.3.2014]

Hynninen, I. 2011. Laserkeilainpohjaisen voimalinjojen kasvillisuusriskianalyysin työnvaikeustekijöiden määrittäminen. Opinnäytetyö, Pohjois-Karjalan ammattikorkeakoulu.

Juntunen, R. 2013. Kaukokartoituksen käyttö keskijännitteisten ilmajohtojen hallinnassa,  
<http://www.tapio.fi/projektin-raportit> [viitattu 4.9.2014]

Ketonen, M. 2013. Kantakartan korkeuskäyrien tuottaminen pistepilviaineistosta. Opinnäytetyö, Rovaniemen ammattikorkeakoulu.

Koho, R. Kymenlaakson Sähkö 2014. Sähköpostikeskustelu

Kymenlaakson Sähkö Oy, 2012. Sähköjohtojen helikopterikuvaukset alkavat,  
<http://www.ksoy.fi/tietoa-yrityksesta/media/tiedotteet/tiedotarkisto/sahkojohtojen-helikopterikuvaukset-alkavat/%28offset%29/50> [viitattu 3.4.2014]

Kymenlaakson Sähkö Oy, 2013. Sähkölinoja kuvataan helikopterilla,  
<http://www.ksoy.fi/tietoa-yrityksesta/media/tiedotteet/tiedotarkisto/sahkolinoja-kuvataan-helikopterilla/%28offset%29/70> [viitattu 4.3.2014]

Nordic Center, 2014. RIEGL VQ-480, <http://www.geocenter.fi/riegl-vq-480/> [viitattu 1.10.2014]

Salovaara, P. Elenia, 2014. Sähköpostikeskustelu

Soininen, A. 2003. Laserkeilauksen sovellusalueet, <http://mts.fgi.fi/paivat/2003/paperit/soininen.pdf> [viitattu 2.4.2014]

Trafi, Liikenteen turvallisuusvirasto, 2014. Lausuntopyyntö ilmailumääräyksen OPS M1-23 muuttamisesta, [http://www.trafi.fi/tietoa\\_trafista/ajankohtaista/2518/lausuntopyynto\\_ilmailumaarayksen\\_ops\\_m1-23\\_muuttamisesta](http://www.trafi.fi/tietoa_trafista/ajankohtaista/2518/lausuntopyynto_ilmailumaarayksen_ops_m1-23_muuttamisesta) [viitattu 3.10.2014]

UAS, 2013. Aeroscout Offers Combined Laser/INS/GPS Payload Solution for Airborne Laser Scanning, <http://www.uasvision.com/2013/03/25/aeroscout-offers-combined-laserinsgps-payload-solution-for-airborne-laser-scanning/> [Viitattu 4.4.2014]

### **Kuvien lähteet:**

Elenia, 2014. Punainen helikopteri kuvaa Elenian sähköverkkoa juhannuksena <http://www.elenia.fi/uutiset/punainen-helikopteri-kuvaa-elenians%C3%A4hk%C3%B6verkkoa-juhannuksena> [viitattu 28.9.2014]

Nordic Center, 2014. RIEGL VQ-480, <http://www.geocenter.fi/riegl-vq-480/> [viitattu 3.10.2014]

Salovaara, P. 2014. Sähköpostikeskustelu

UAS, 2013. Aeroscout Offers Combined Laser/INS/GPS Payload Solution for Airborne Laser Scanning, <http://www.uasvision.com/2013/03/25/aeroscout-offers-combined-laserinsgps-payload-solution-for-airborne-laser-scanning/> [viitattu 4.4.2014]