

AUTONOMINEN LÄMPÖKAMERA  
SÄHKÖVERKON KUNNONVALVONTAAN



SÄHKÖTUTKIMUSPOOLI

11.12.2019

UNSEEN TECHNOLOGIES OY

ESA ALANEN 050-4874092

**UNSEEN** TECH

<b>1</b>	<b>JOHDANTO</b> .....	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>TIIVISTELMÄ</b> .....	<b>2</b>
<b>3</b>	<b>RATKAISTAVA ONGELMA</b> .....	<b>3</b>
<b>4</b>	<b>RATKAISUN KUVAUS JA PIDEMMÄN AIKAVÄLIN VISIO</b> .....	<b>4</b>
<b>5</b>	<b>TEKNISEN TOIMIVUUDEN ARVIOINTI</b> .....	<b>6</b>
5.1	TESTAUSMENETELMÄT.....	6
5.2	HERKKYYSMITTAUKSET SISÄTILOISSA.....	7
5.3	MITTAUKSET SÄHKÖASEMAYMPÄRISTÖSSÄ.....	9
5.4	YHTEENVETO KENTTÄMITTAUKSISTA.....	14
<b>6</b>	<b>KÄYTTÖKOhteita</b> .....	<b>15</b>
6.1	ONLINE-LÄMPÖKUVAUKSELLE OTOLLISIA LAITTEISTOJA SÄHKÖASEMILLA.....	15
6.2	JATKUVATOIMISEN LÄMPÖKUVAUKSEN KÄYTTÖSTRATEGIOITA.....	20
<b>7</b>	<b>TALOUDELLISTEN HYÖTYJEN MUODOSTUMINEN</b> .....	<b>21</b>
7.1	YLLÄPITO- JA KUNNOSSAPITOKULUJEN ALENEMINEN.....	21
7.2	KESKEYTYSKUSTANNUSTEN ALENTAMINEN.....	24
7.3	UUSINTAINVESTOINTIEN LYKKÄYS JA PÄÄOMAKULUJEN ALENTAMINEN.....	28
7.4	Uudet palvelumallit ja liiketoimintamahdollisuudet.....	29
<b>8</b>	<b>ARVIOITA KUSTANNUKSISTA</b> .....	<b>31</b>
8.1	LAITTEISTOKULUT.....	31
8.2	ANALYTIIKAN, KÄYTTÖLIITTYMÄN JA INTEGRAATION KULUT.....	33
8.3	KÄYTTÖÖNOTON KUSTANNUKSET.....	33
8.4	DATAN SIIRTO-, TALLENNUS- JA PROSESSOINTIKULUT.....	33
8.5	JÄRJESTELMÄN YLLÄPITO- JA OPEROINTIKULUT.....	34
<b>9</b>	<b>TUOTTOJEN JA KÄYTTÖKUSTANNUSTEN VERTAILU</b> .....	<b>35</b>
<b>10</b>	<b>TEKNOLOGIAN KEHITYSNÄKYMÄ</b> .....	<b>37</b>
10.1	LAITEKUSTANNUKSEN PITKÄNTÄHTÄIMEN KEHITYS.....	37
10.2	KEINOÄLYN MAHDOLLISUUDET.....	39
<b>11</b>	<b>KÄYTÄNNÖN HAVAINTOJA</b> .....	<b>40</b>
<b>12</b>	<b>LÄHTEET</b> .....	<b>42</b>

## 1 Johdanto

Sähköverkkojen kattava ja kustannustehokas ylläpito on oleellinen osa luotettavaa sähkönjakelua. Nykyaikaisilla menetelmillä on mahdollista siirtyä käyttämään entistä enemmän ajantasaista tietoa laitteistojen todellisesta kunnosta. Tämän tiedon avulla on mahdollista optimoida ylläpitotoimenpiteitä ja niistä aiheutuvia kustannuksia. Tässä hankkeessa selvitettiin jatkuvatoimisen lämpökuvauksen mahdollisuuksia ja sen tuomia hyötyjä.

Tämä selvitys on rahoitettu Energiategollisuus ry:n Sähkötutkimuspoolin rahoituksella. Hankkeen rinnalla Fingrid ja UnSeen Technologies toteuttivat kenttätestejä lämpökameraprototyypeillä käytännön kokemusten keräämiseksi. Vastuuhenkilönä UnSeen Technologies Oy:ltä hankkeessa oli Esa Alanen. Selvityksen tekoa on ohjannut ohjausryhmä, johon ovat kuuluneet seuraavat henkilöt:

Tuukka Heikkilä, Energiategollisuus ry

Sami Viiliäinen, Savon Voima Verkko Oy

Henri Niemi, Elenia Oy

## 2 Tiivistelmä

Hankkeessa tutkittiin autonomisen lämpökameran käyttöä sähköasemien kunnonvalvonnassa ja sen mahdollisuuksista. Lämmön nousu sähköverkon laitteissa saattaa indikoida mahdollisesta vikaantumisesta lähitulevaisuudessa. Ratkaisun keskeisenä elementtinä on edullinen lämpökameralaitte, joka on helppo asentaa erilaisiin kohteisiin. Se toimittaa mittausdatan suoraan verkkopalvelimelle ja toimii itsenäisesti paristovirralla. Tämän myötä on mahdollista toteuttaa jatkuvatoiminen lämpötilaseuranta erilaisiin kohteisiin ja se on siirrettävissä kätevästi paikasta toiseen.

Tutkimuksessa selvitettiin kameran kykyä tuottaa haluttua lämpötilatietoa ulko-olosuhteissa. Tehtyjen testien ja havaintojen perusteella voidaan todeta, että kamera pystyy erottelmaan lämpötilojen muutoksia halutulla tavalla. Mittaukset ovat tältä osin lupauksia herättäviä.

Toinen osuus hankkeessa oli selvittää kiinnostavia käyttökohteita, joiden seurantaan ratkaisu voisi sopia. Näiden osalta useimmin nousi esiin sähköasemilta mm. erottimet, päämuuntajat, virtamuuntajat ja kaapelipäätteet. Näiden lisäksi esiin nousi iso joukko muita laitteita, mutta niiden prioriteetti tuntui olevan edellä mainittuja alempi.

Osana käyttömallien arviointia tehtiin kustannuslaskelmia rajahinnoista ja kustannussäästöistä, joilla valvonta jatkuvatoimisilla lämpökameroilla olisi taloudellisesti kannattavaa. Laskelmien perusteella kävi ilmi, että kattavan valvonnan rajakustannus on erittäin alhainen, varsinkin matalan jännitetasen laitteistoissa. Ratkaisu soveltuu kustannustason kannalta prioriteetiltaan ja KAH-kustannuksiltaan korkeiden kohteiden valvontaan. Parhaita kohteita ovat laitteet, joissa on jo todettu lämpenemä, ovat verkon kannalta erityisen tärkeitä, käyttöikänsä päässä tai muusta syystä korkea

vikaantumistodennäköisyys. Ajantasaisella lämpövalvonnalla kertyvän tiedon avulla voidaan pidentää laitteiden käyttöikää ja lykätä huoltotoimenpiteitä ja uusintainvestointeja. Tämä alentaa pääomakustannuksia.

Ratkaisu tarjoa myös mahdollisuuden kehittää uudenlaisia palveluita jatkuvatoimisen lämpökuvauksen ympärille. Sähköverkon omistajia palvelevat yritykset voivat tarjota parempaa valvontaa ja nopeampaa reagointi-aikaa mahdollisiin ongelmiin. Näin on mahdollista synnyttää uutta liiketoimintaa.

Ratkaisun kustannustasoon vaikuttaa laitteiden hankintakulujen lisäksi myös yleiskustannuksia kuten asennus-, koulutus-, tiedonsiirto-, operointi- ja kehityskustannukset. Laitteiston kustannustason voidaan olettaa kehittyvän suotuisasti pitkällä aikavälillä. Ratkaisun keskeisimmät teknologiat kuten edullinen lämpökamera ja matalan energiankulutuksen radiomodulit ovat kehitys- ja kustannuskaarensa alkutaipaleella. Potentiaalisten käyttökohteiden määrä on iso ja ratkaisu on skaalattavissa suurille käyttömäärille. Tämä osaltaan mahdollistaa yleiskustannusten jakautumisen suuren laitejoukon yli ja alentaa kokonaiskustannuksia.

Ratkaisulla on nähtävissä paljon erilaisia käyttötapoja myös kaikkein ilmeisimpien kunnonvalvontakohteiden ulkopuolella. Sitä voidaan hyödyntää todennäköisesti mm. vesivuotojen tai ihmisen toiminnan seurantaan ilman että yksityisyyden suoja kärsii. Näitä kiinnostavia käyttökohteita tulee esiin, kun laajempi joukko ihmisiä ja yrityksiä pääsee koekäyttämään ratkaisua.

### 3 Ratkaistava ongelma

Tämän tutkimushankkeen lähtökohta on ajatus siitä, että kohonnut lämpötila voi olla oleellinen indikaatio mahdollisesta viasta sähköverkon laitteessa. Esimerkiksi erottimessa kohonnut ylimenoresistanssi saa aikaan lämpenemän, joka on havaittavissa lämpökameroilla. Pitkällä aikavälillä kohonnut resistanssi ja kuumenema voivat johtaa laitteen vaurioitumiseen ja edelleen sähkönjakelukeskeytykseen.

Haasteena kohteiden tarkempaan lämpötilan valvontaan on se, että kiinnostavia kohteita sähköasemilla ja erilaisissa laitteissa on paljon. Kohteita, joissa lämpenemiä voi ilmentyä on aivan valtava määrä: muuntajien liitännöissä, erottimissa, johtoliitoksissa, kiskoissa, konnektoreissa, katkaisimissa, reaktoreiden liitännöissä jne.



Kuva 1: Yksinkertainen esimerkki mahdollisista lämpenevistä pisteistä

Sähköverkkoyhtiöt käyttävät säännöllisesti lämpökuvauksia osana verkon kunnan valvontaa. Kuvausten tyypillinen suoritusväli on puolesta vuodesta vuoteen ja ne tehdään usein muiden tarkistus- tai huoltotoimenpiteiden yhteydessä. Seuraavassa yhteenveto mittaushaasteista ja muista reunaehdoista, joita tämäntyypisessä tilanteessa on:

- Manuaalisten lämpökuvauksen väli on suhteellisen pitkä, puolesta vuodesta vuoteen. Kuvausten välillä tapahtuvat muutokset eivät selviä ennen seuraavaa mittauskertaa.
- Lämpenemät ovat verrannollisia senhetkiseen kuormaan ja siten ongelmat eivät välttämättä erotu lämpökuvauksenhetkellä.
- Mitattavia kohteita on paljon ja niiden anturointi yksittäin on hankalaa ja kallista. Yhdellä mittauslaitteistolla pitäisi saada katettua mahdollisimman paljon
- Mittauslaitteiston asennuksen yhteydessä ei haluta tehdä sähkönjakelukeskeytystä. Asennus pitäisi onnistua jännitteellisenä.
- Yleisesti asennus tulisi olla mahdollisimman yksinkertaista ja edullista.
- Mittauksen tulisi olla säännöllistä ja merkittävästi tiheämpää kuin nyky menetelmillä. Sopiva taajuus voisi olla muutaman kerran päivässä
- Tavoitteena on siirtyä kohti laitteiden todelliseen kuntoon perustuvaa ylläpitoa, nykyisistä kalenteriaikaan tai laskennallisiin todennäköisyyksiin perustuvasta ylläpidosta
- Pitkällä aikavälillä kertyvä mittaus tieto voisi olla hyödyllinen tietolähde tilastollisten analyysien pohjaksi ja luotettavuuden ennustamisessa

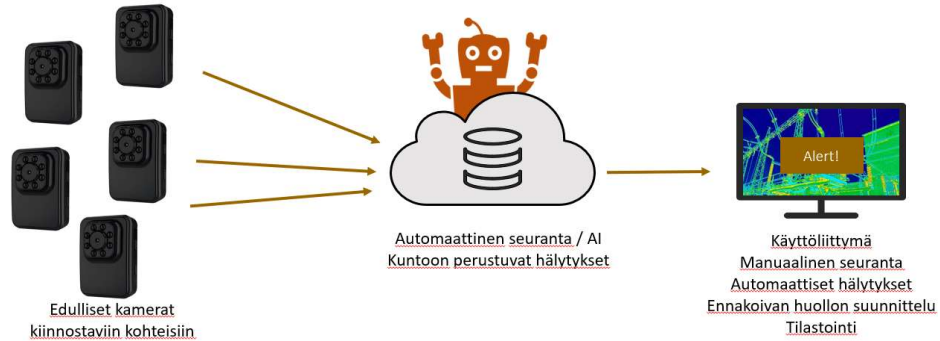
## 4 Ratkaisun kuvaus ja pidemmän aikavälin visio

Tutkimuksen kohteena oleva ratkaisu perustuu edulliseen lämpökameraan, joka olisi helppo ja nopea asentaa kiinnostavaan kohteeseen. Toinen oleellinen lähtöajatus on käyttää hyödyksi uutta tarjolle tullutta teknologiaa ja yleistä elektroniikan laskevaa hintakehitystä: elektroniikan hinnat putoavat uusien komponenttisukupolvien myötä ja voidaan olettaa, että ratkaisut voivat kasvavien volyyymien ansiosta jatkaa laskuaan.

Ratkaisun pohjana on siis edullinen lämpökameralaitte, joka voidaan asentaa helposti sähköasemalle ja suunnata haluttuun kiinnostavaan kohteeseen. Seuraavassa yhteenveto ratkaisun pidemmän aikavälin visiosta.

- Laite voi toimia paristolla tai verkkovirralla ja se välittää langattomasti lämpökuvia tietojärjestelmään halutulla taajuudella.
- Laitteiden asentaminen tulee olla helppoa. Kameran kiinnittäminen ja linkittäminen tietojärjestelmään hoidetaan yksinkertaisella puhelinsovelluksella.
- Tietojärjestelmä vastaanottaa kuvat ja tekee niille automaattisen analyysin, jonka perusteella voidaan päätellä, onko tutkittavassa kohteessa havaittavissa lämpenemiä, jotka ylittävät hälytysrajat
- Kuvattavien kohteen statustieto ja mahdolliset hälytykset välitetään käyttöliittymään, jonka kautta verkon kunnosta valvova taho voi seurata tilannetta ja reagoida vaadittavalla tavalla
- Käyttöliittymässä on erilaisia näkymiä dataan ja kohteeseen, jonka perusteella käyttäjä voi analysoida tilannetta ja varmistua statuksesta

- Järjestelmä voi toimia joko itsenäisesti oman käyttöliittymän kautta tai se voidaan integroida osaksi laajempaa kunnonvalvontajärjestelmää, joita verkkoyhtiöt ovat tottuneita käyttämään.



Kuva 2: Ratkaisun ylätasen kuvaus

Laitteen kustannus pyritään painamaan mahdollisimman alas ja sen myötä voidaan olettaa, että taloudellisesti kannattavia kuvauskohteita tulee tarjolle yhä enemmän. Oleellisimpia keinoja tässä ovat:

- Käytetään uusia, yleisesti saatavilla komponentteja, joiden voidaan olettaa halventuvan tulevaisuudessa
- Tehdään järkeviä tuotteen rakenteellisia ja arkkitehtuurisia ratkaisuja, jotka auttavat hinnan alentamisessa
- Käytetään hyväksi tuotevolyyymia, massatuotannon ja kuluttajatuotteiden valmistuksessa käytettäviä periaatteita
- Käytetään hyväksi ohjelmistoratkaisuja, jotka auttavat laitekustannusten alentamisessa

## 5 Teknisen toimivuuden arviointi

Tämän tutkimushankkeen ensimmäinen tavoite on tutkia suunnitellun ratkaisun teknistä toimivuutta sähköverkon valvonnassa. Erityinen kiinnostuksen kohde on suunnitellun lämpökamaraelementin tekninen kyvykyys mitata lämpötilaeroja erilaisissa sähköverkon käyttöympäristöissä. Kiinnostavia tietoja ovat mm.

- Pystyykö kameran tuottamasta datasta erottamaan lämpötilamuutoksia riittävän tarkasti?
- Miten pitkille etäisyyksillä kamera pystyy antamaan luotettavaa tietoa kohteen lämpötilan muutoksista?
- Kuinka suuria lämpötilaeroja kamera pystyy erottamaan tyypillisillä kuvausetäisyyksillä?
- Kuinka sääolosuhteet vaikuttavat kameraan?
- Miten paristokäyttöinen kamera toimii erilaisissa sääolosuhteissa, esimerkiksi pakkasella?
- Kuinka monta kuvaa tietynkokoisella paristolla pystyy ottamaan?

### 5.1 Testausmenetelmät

Ratkaisun testaamista varten tehtiin vaiheittainen suunnitelma, jossa käytettiin vaiheittaista ja agile-filosofiaan perustuvaa etenemistapaa. Ensimmäisenä testataan kaikkein oleellisimpia asioita, mahdollisimman fokusoituneella ja rajoitetuilla prototyypeillä, jotta tutkimuksiin käytettävä työmäärä, aika ja riskit pidetään mahdollisimman alhaisina. Kunkin vaiheen jälkeen arvioidaan, voidaanko edetä (GO/NO-GO) seuraavaan prototyyppi- ja testausvaiheeseen. Alla ylätasoinen kuvaus testausten vaiheistamisesta.



Varsinainen testaus toteutettiin eritasoisilla prototyypeillä, joita hyödynnettiin kenttätesteissä. Prototyyppien rakentamisessa käytettiin mahdollisimman suoraviivaista ja tarkoituksenmukaista etenemistapaa.



**'Handy'**  
Lämpökamera  
Normaalikamera  
[4G yhteys pilveen](#)



**Big Box**  
[Toimii paristolla - satoja kuvia](#)  
[Langaton yhteys pilveen](#)  
[Asennus erilaisiin asentoihin](#)



**Small box**  
Pienempi koko  
Pienempi energiankulutus  
[Langaton yhteys verkkoon](#)

Seuraavassa mittaustietoa ja havaintoja, joita projektin aikana tehtiin. Niiden tarkoituksena oli löytää tietoa tutkittaviin kysymyksiin.

## 5.2 Herkkyysmittaukset sisätiloissa

Ensimmäisessä testissä käytettiin Handy-prototyyppiä ja sen avulla pyrittiin saamaan tietoa kameran yleisestä kyvystä kuvata sähkölaitteita, tehdä erottelua lämpötilamuutosten ja kuvausetaisyysien suhteen.

Kuvattavana kohteena oli konektori-laatikko, johon pystyttiin ajamaan erilaisia kuormia ja aiheuttamaan keinotekoisesti vikatilanne. Kaapelien liitoksia höllennettiin niin, että ylimenoresistanssi kasvoi ja saatiin mahdollisuus havaita lämpenemiä. Mittaukset suoritettiin hallitiloissa, joissa oli vakaa 12 C asteen lämpötila.



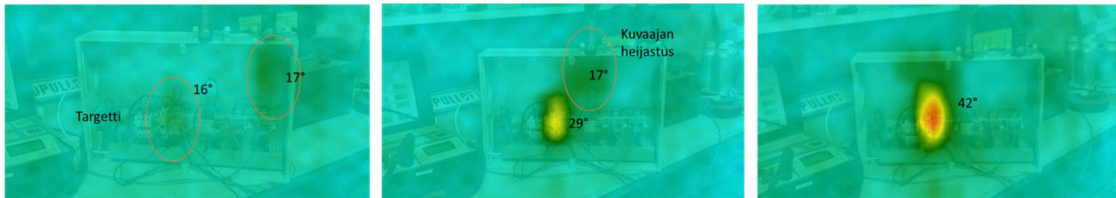
Kuva 4. Konektorilaatikko

Mittauksissa käytettiin erilaisia kuormia 10-50A välillä ja erilaisia kuvausetaisyysiksiä. Näiden perusteella voitiin tehdä päätelmiä kameran herkkyydestä. Alla kuvasarja lämpötilan muutoksista n. 1.6 metrin



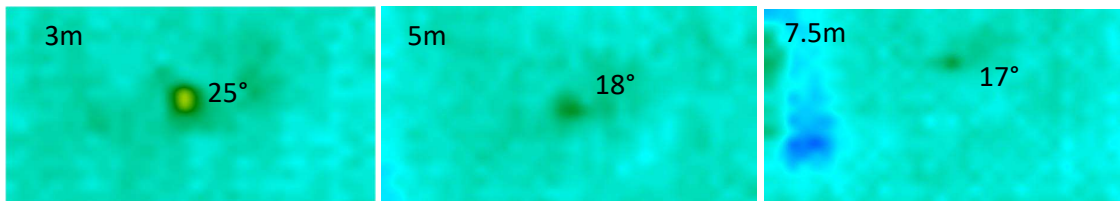
kuvausetäisyydellä. Lämpötilan muutokset näkyvät selvästi lämpökameradatassa. Jo ensimmäisellä 10A kuormalla lämpenemä on havaittavissa mittatassa.

Mielenkiintoinen yksityiskohta on kuvassa mainittu heijastus, joka aiheutui kameraa käyttäneen henkilön lämpösäteilyä. Se heijastuu takapaneelina olevasta metallilevystä. Lämpökamera pystyi havaitsemaan myös tämän lämpölähteen.



Kuva 5: Konnektorilaatikon lämpötilamuutokset

Seuraavaksi kameraa vietiin kauemmaksi kohteesta ja pyrittiin arvioimaan kameran mittaustuloksia etäisyyden suhteen. Seuraava kuvasarja esittää mittaustuloksia eri etäisyyksiltä. Lämpenemä on edelleen selkeästi havaittavissa jopa 7.5m etäisyydeltä. Tämän perusteella voidaan päätellä, että kameran voisi olla mahdollista mitata lämpötiloja tavoitteenmukaisilla <10m etäisyyksillä kohteesta. Näiden tulosten perustella voitiin päättää etenemisestä seuraavaan tutkimusvaiheeseen.



Viimeisessä kuvassa näkyvä kylmä alue kohdistuu testitilassa olevaan nosto-oveen ja sieltä tulevaan kylmään ilmaan. Lämmön puute voi olla myös luonnollisesti tutkimuksen kohteena.



## 5.3 Mittaukset sähköasemaympäristössä

Seuraavassa vaiheessa tarkoituksena oli tutkia kameran käyttäytymistä kenttäolosuhteissa, ulkona sähköasemalla. Käytännön asennukset ja mittaukset tehtiin yhteistyössä Fingridin kanssa. Mittalaitteena käytettiin 'Big box' prototyyppiä, joka varustettiin käännettävällä jalalla ja pallonivelillä. Lisäksi laitteeseen tehtiin magneettikiinnitys ja 'säälippa' pahimman vesisateen turvaksi. Lopuksi laite vielä tiivistettiin vesivaurioiden estämiseksi. Laitteessa oli mukana myös langaton datayhteys, jonka avulla kuvat saatiin lähetettyä suoraan kentältä pilveen tietovarastoon talletettavaksi.

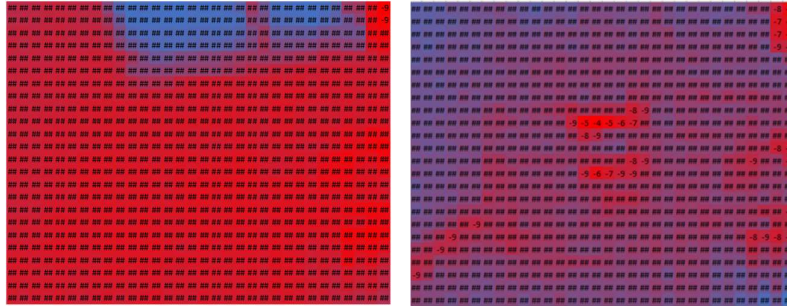


Ensimmäisenä mittauskohteena oli muuntajan vieressä oleva erotinlaitteisto. Kyseisen erottimen kautta kulkee loisivirran kompensointiin liittyvää kuormaa säännöllisen epäsäännöllisesti. Tämän vuoksi mittauspaikka oli hyvä lämmönmuutosten havainnointiin.

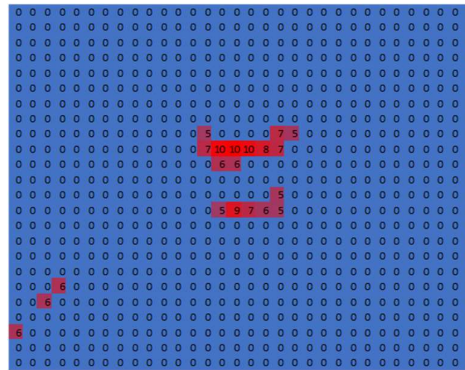


Testissä kuvien ottamisen välinen aikaväli oli 4 tuntia. Etäisyyttä kuvauskohteeseen on n. 6.5 metriä. Alla esimerkkinä on kahden peräkkäisen kuvan lämpökartat. Vasemmanpuoleisessa kuvassa ei erottimessa kulje virtaa ja sen vuoksi mitattu lämpötila osoittaa suurelta osalta ympäristön lämpötilaa -14.5 astetta. Taivas erottuu muusta kuvasta kylmempänä, koska sieltä ei tule lämpösäteilyä kameraan. Jälkimmäisessä

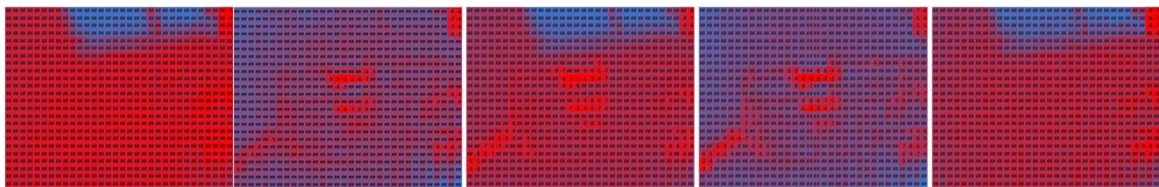
kuvarissa erottimessa on kuorma ja lämpenemät erottuvat selvästi kuvassa keskellä. Lisäksi oikeassa reunassa erottuu säteilyä, joka tulee vieressä olevasta muuntajasta. Kuvia tulkitessa kannattaa huomata, että niiden välinen väriasteikko ei ole yhtenevä, vaan kuvastaa lämpötilaeroja kyseisen kuvan sisällä.



Kun kuvien välistä lämpötilamuutoksia analysoidaan, voidaan erottaa selkeästi kohdat, jotka ovat lämmenneet eniten. Suurin lämpötilan muutos paikantuu juuri kohteena olevain kahteen lähimpään erottimeen. Myös erottimelta lähtevä kaapeli kuvan vasemmassa laidassa erottuu lämpenemänä.

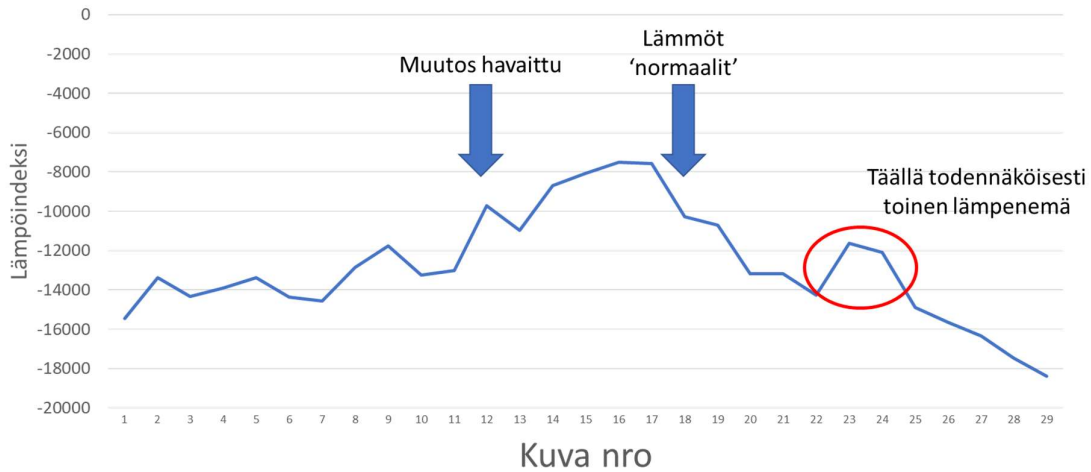


Seuraavassa kuvasarjassa näkyy hyvä esimerkki, miten lämpökameran avulla voitiin havaita lämmön muutos ajanjakson yli. Ensimmäisessä kuvassa ei ole kuormaa, sen jälkeen erottimeen syntyy kuorma, joka tietyn ajan jälkeen loppuu. Viimeisessä kuvan oikeassa laidassa näkyy vielä jäänteitä muuntajan lämpenemästä, joka poistuu laitteen isomman massan vuoksi hitaammin kuin erottimesta.

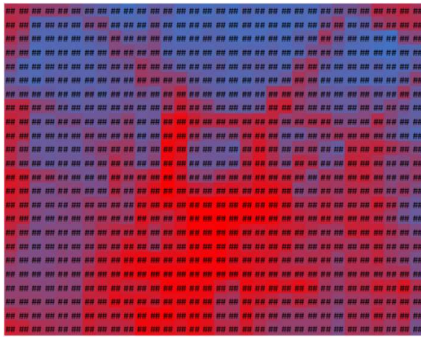


Alla olevassa kuvaajassa on nähtävillä havaittu lämpötilaindeksi, joka on laskettu kerätystä kuvasarjasta. Tämän perusteella voidaan päätellä esimerkiksi, milloin kohteessa on ollut kuormaa. Kun kuvaaja verrattiin Fingridin verkon käyttötietoihin, voitiin todeta muutosten ajankohdan vastaan todellisuutta mittaustarkkuuden (=kuvanottotaajuuden) rajoissa. Alla olevasta kuvaajassa ei ole otettu huomioon ympäristön lämpötilan muutoksia. Mikäli se tehtäisiin, mittaustulos olisi todennäköisesti kuvaisi kuorman vaikutusta entistä tarkemmin.

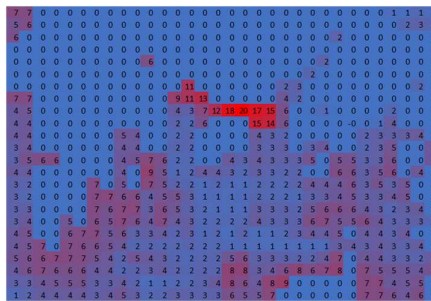
Kuvan 'keskilämpötila'



Toinen mittaus suoritettiin ulkokentällä, jossa ei ole lumelta, tuulelta ja auringolta suojaavaa bunkkeria kameran ja mittauskohteen ympärillä. Kohteena tässäkin tapauksessa oli erotin ja ympärillä olevat kaapelit ja kiskot. Tässä tapauksessa mittausetäisyyttä on n. 8 metriä.

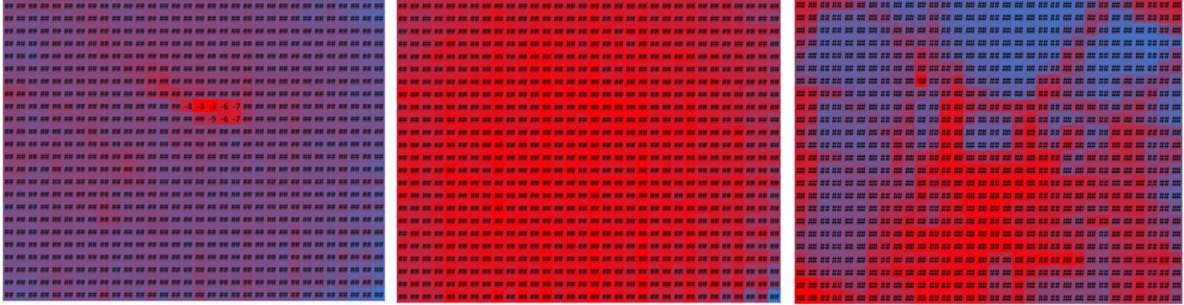


Myös tässä tapauksessa mittaustuloksista pystyttiin erottamaan selkeät lämpenemä tarkastelukohteena olevassa erottimessa



Tämän mittauksen yhteydessä nähtiin myös kameran 'tukkeutuminen' lumen vaikutuksesta. Kyseiselle ajankohdalle sattui vuorokauden mittainen lumituisku. Kamera tukkeutui ja lopulta vapautuu lumesta parin päivän kuluttua. Tämä on todennettavissa myös prototyypissä olevan normaalin kameran kautta. Veden pitävyyden kannalta prototyyppi on toiminut luotettavasti ja merkkejä vioittumisesta ei ole näkynyt.

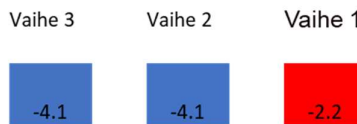
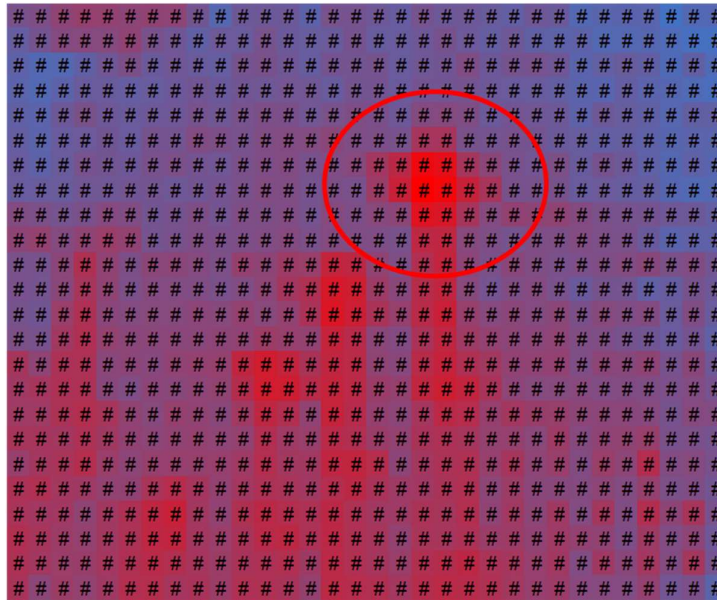
Tämä oli yksi toivotuista tutkimustuloksista, joita haluttiin testillä selvittää. Laitteen lopullisessa suunnittelussa on otettava tarkasti huomioon ympäristöolosuhteiden vaikutus, niin että lumi- tai vesisade ei pysty heikentämään tai estämään mittauksia.



Kolmas mittausjärjestely pyri havainnoimaan pieniä lämpötilaeroja. Tässä tapauksessa kohteeksi otettiin virtamuuntaja, jossa oli todettu perinteisellä lämpökuvauksella muutaman asteen lämpenemä. Tutkimushaasteena oli selvittää tutkittavan edullisen lämpökameran avulla, erottuuko kyseinen muuntaja ja pystytäänkö se paikallistamaan. Haasteena tässä oli erityisesti pieni lämpötilaero eri vaiheiden välillä.



Mittauksen tuloksena voitiin havaita pieni, mutta datassa selkeästi erottuva lämpenemä. Alla olevassa kuvassa lämpötilaero näkyy ensimmäisessä virtamuuntajassa. Alla olevissa laatikossa kunkin muuntajan keskiarvolämpö. Tämän perusteella voidaan todeta, että kameralla näyttäisi pystyvän mittaamaan suhteellisen pieniäkin lämpötilaeroja, kunhan vertailukohta on riittävän luotettava.



Vastaava mittaus tehtiin myös toisessa kohteessa, jossa samanlainen lämpenemä paikantui keskimääräiseen virtamuuntajaan. Tämän perusteella voidaan päätellä, että havaittu ero ei johdu vaiheiden välisestä etäisyserosta.



## 5.4 Yhteenveto kenttämittauksista

Tulosten perusteella voidaan todeta, että kameran avulla voidaan tehdä mittauksia kenttäolosuhteissa. Sen tarkkuus riittää havainnoimaan tyypillisiä laitteissa tapahtuvia lämpötilamuutoksia ja jopa suhteellisen pieniä, 1-2 asteen, eroja eri kohteiden välillä.

Prototyypissä käytetty elektroniikka ja patteri eroavat lopullisesta ratkaisusta merkittävästi. Tämän vuoksi tarkkoja loppupäätelmiä ei voida tehdä siitä, miten kauan patterin tuottama jännitetaso riittää todellisessa käytössä. Mutta havaintojen perusteella voidaan todeta, että käytetty patteriteknologia ja elektroniikka osoittautui luotettavaksi. Prototyypit toimivat luotettavasti ilman minkäänlaisia ongelmia usean kuukauden ajan. Lisäksi käytetty, suhteellisen korkea 4h kuvanottotaajuus näyttää toimineen hyvin.

Tämän perusteella voidaan arvioida, että patterikäyttöisellä laitteella pystytään pääsemään tuhansien kuvien määriin, ilman että kylmät pakkassäät aiheuttavat suurta ongelmaa. Tällä kuvamäärällä ja esimerkiksi 4h kuvanottotaajuudella päästään helposti muutaman vuoden käyttöaikaan. Tarkemman arvion tekeminen vaatii lopullisen elektroniikka-arkkitehtuurin suunnittelua ja prototyyppien testaamista erityisesti kylmissä olosuhteissa.

Ratkaisun jatkosuunnittelussa pitää kiinnittää erityistä huomiota sääsuojaukseen, jotta se ei heikentäisi käytettävyyttä ja luotettavuutta todellisissa olosuhteissa. Lopulliseen ratkaisuun päästään vain tekemällä pitkäkestoisia luotettavuustestejä kentällä. Näiden tulosten valossa näyttää järkevältä edetä eteenpäin hankkeessa.

Kamerakomponentin kyvyssä tuottaa tarvittavaa lämpödataa ovat tulokset lupauksia antavia. Testissä ei vielä tullut vastaan merkittäviä puutteita esimerkiksi herkkyuden tai kuvan resoluution suhteen. Testissä ei vertailtu erilaisia kameramalleja erilaisine resoluutioineen tai hintoineen. Joissain tapauksissa voi olla mahdollista, että korkeampiresoluutioinen kamera voisi tuottaa tarkempaa tietoa.

## 6 Käyttökohteita

Hankkeessa kohteena oleva ratkaisu tuo tarjolle uusia mahdollisuuksia sähköverkkoyhtiöiden kunnossapidon työkalupakkiin. Kunnossapito on kohteen käyttöiän aikana tehtäviä toimenpiteitä, joilla ylläpidetään tai palautetaan kohteen toiminta halutuksi. Yleisesti kunnossapidon merkitys sähköverkkoyhtiöillä on suuri. Laiterikoista ja keskeytyksistä aiheutuvat kustannukset voivat olla merkittäviä, ja ulottuvat aina satoihin tuhansiin tai miljooniin euroihin saakka.

Ratkaisu toimii luonnollisesti ehkäisevän kunnossapidon alueella, jossa pyritään varmistamaan paras mahdollinen tilannekuva laitteistoista ja niiden ylläpitotarpeesta. Ratkaisevan tärkeää on ylläpidon oikea mitoittaminen. Ylimitoitettu huolto ei tuo toivotulla tavalla tuottoja siihen sijoitetulle rahalle. Hypoteesina on, että aktiivinen lämpökamerakuvaus mahdollistaa siirtymisen entistä enemmän aikaperusteisesta valvonnasta kohti tosiasialliseen kuntoon ja jatkuva-aikaisiin mittauksiin perustuvaa ylläpitoa.

Hyvä tapa esittää asia on Fingridin edustajan kommentti tälle alueelle: Lämpökameran tapauksessa kaikista kolmesta statustiedosta on hyötyä:

- a) "Ei lämpenemää" → Tiedetään että laitteisto toimii oikein ja ylläpitotoimille ei ole tarvetta. Voidaan luottaa, että mittausjärjestelmä tuottaa nopeasti hälytyksen, mikäli tilanteessa tapahtuu muutos.
- b) "Pieni lämpenemä" → Päästään kiinni nopeasti ongelmakohteeseen ja voidaan miettiä korjaavia toimenpiteitä rauhassa, ennen kuin vakavampia vaurioita syntyy. Huoltotoimenpiteet voidaan suunnitella optimaalisesti, esimerkiksi suunniteltujen käyttökatkojen yhteyteen ja näin voidaan minimoida kustannukset. Voidaan luottaa siihen, että järjestelmä tuottaa tiedon, mikäli tilanne muuttuu äkisti vieläkin pahemmaksi.
- c) "Suuri lämpenemä" → Voidaan reagoida nopeasti merkittävään ongelmatilanteeseen ja estää pahemmat tuhot tai käyttökatkot esimerkiksi muuttamalla sähkönjakelun järjestelyä väliaikaisesti toiselle reitille. Pysytään tekemään korjaavat toimenpiteet mahdollisimman nopeasti.

### 6.1 Online-lämpökuvaukselle otollisia laitteistoja sähköasemilla

Sähköasemilla on paljon erilaisia primäärlaitteita kuten kiskostot, kojeistot ja päämuuntajat. Lisäksi asemilla on runsaasti apulaitteistoja kuten ohjaus- ja automaatiojärjestelmät, sekä kiinteistöjärjestelmiä kuten LVI-, palovarointuslaitteistot ja telekommunikaatiojärjestelmät. Lisäksi asemilla on vielä rakenteita kuten kiinteistöt, aidat ja puomit.

Laitteiden ja kohteiden suuresta määrästä johtuen, tässä tarkastelussa keskityttiin lähinnä primäärlaitteistoihin. Voidaan kuitenkin todeta, että muun sähköasematekniikan osalta voi edulliselle online-lämpökameralle löytyä monenlaista potentiaalista käyttökohdetta.

Keskustelujen ja haastattelujen kautta nousi esiin toistuvasti tiettyjä kiinnostavia mittauskohteita. Näistä tärkeimpiä käytettiin ensimmäisinä kuvauskohteina kun kameraprototyyppäjä testattiin kenttäkäytössä. Testien tuloksia on kuvattu aiemmin tässä raportissa.



**Erottimet**



**Virtamuuntajat**



**Muuntajat**



**Kaapelipäätteet**



Näiden kohteiden lisäksi asemilla on paljon muitakin kohteita, joissa lämpenemät voivat indikoida mahdollisia vikaantumisia. Myös näiden kohteiden kuvaaminen voidaan olla hyödyllistä, mutta kyseisen kohteen kuvaamisesta saatava suhteellinen hyöty on todennäköisesti alempi kuin yllä mainituilla kohteilla.

- Sähköasemaliittimet
- Eristimet
- Reaktorit: liitännät, reaktorikelat, reaktorikiskotukset
- Katkaisijat: liitännät, katkaisupäät
- Kondensaattorit: liitännät
- Kenttien ja pääteportaaleiden kiskotus- ja johtoliitokset, Kokoojakiskot
- Suurjännitekaapelipäätteet, seinäläpiviennit
- Ylijännitesuojat
- Tasa- ja vaihtosuuntaajat, UPSit

## Erottimet

Erottimia seurataan ja huolletaan tyypillisesti aikaperusteisesti muutamien vuosien välein. Erottimien huolto ja testaus vaatii käyttökätkon. Huollossa testataan virtatiet ja ylimenoresistanssi. Lämpökameralla voidaan seurata ylimenoresistanssista aiheutuvaa lämmön nousua ja sen perusteella päättää huoltotoimenpiteiden tarpeellisuudesta. Fingrid:llä suosituksena (Kuosa, 2007) on, että 5–10 °C lämpenemä hoidetaan seuraavassa huollossa, 10–35 °C lämpenemä seuraavassa keskeytyksessä ja yli 35 °C lämpenemä mahdollisimman nopeasti.

On-line lämpökameroista saatavaan mittaustietoon voidaan yhdistää todellinen kuormatieto. Tällöin mittaustieto olisi paljon tarkempaa ja saatavilla jatkuvasti. Vertailukohtana on harvaan tehtävien manuaalisten lämpökuvausten tuottama tieto. Tällöin voitaisiin toteuttaa todelliseen kuntoon perustuvaa ylläpitoa.

Esimerkinomaisesti yhden kentän erottimien huollon kustannukset 3 henkilötyöpäivää x 33€/h = ~750€. Lisäksi kustannuksiin tulee vielä mukaan pientarvikkeiden, kaluston ja työnjohdon kustannusten kaltaisia eriä. Mikäli erottimen huoltoa voi siirtää esimerkiksi vuodella-parilla, voidaan laskea toteutuvia säästöjä, joita online-lämpökamera voi tuoda.

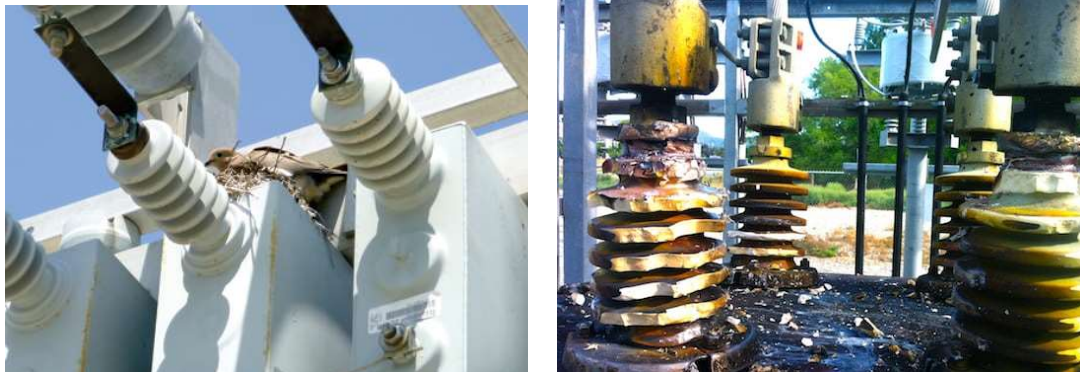
Alla olevassa taulukossa (Piironen 2015) on annettu esimerkki potentiaalisista säästöistä, joita erottimien huoltovälin pidentäminen viidestä vuodesta seitsemään tai yhdeksään vuoteen tarkoittaisi. Pohjatietona on Vantaan Energia Sähköverkot Oy:n laitteistokanta.

	Laitteet (kpl)	Huoltoväli (a)	Huolto-aika (h/p)	h/vuosi	Työtunnin kust. (€/h)	Muut kust. €/kerta	Kustannukset €/vuosi
110 kV erotinhuollot	49	5	3	225	32,00 €		7 197,12 €
110 kV erotinhuollot	49	7	3	161	32,00 €		5 140,80 €
110 kV erotinhuollot	49	9	3	125	32,00 €		3 998,40 €

Taulukko 1. Piironen 2015

## Muuntajat

Muuntajien valvonta nousee keskusteluissa usein esiin. Muuntajat ovat kalliita laitteita ja niiden kuntoa tarkastellaan lähtökohtaisesti aina asematarkastusten yhteydessä. Paikalla tehtävissä tarkastuksissa tutkitaan öljyvuoja, eristeiden, ilmankuivaimen kuntoa jne. Online-lämpökameralle kiinnostavia mittauskohteita, joita keskusteluissa nousee esiin, on erityisesti muuntajien läpivientien lämmönseuranta. Lisäksi eläinten kuten lintujen ja oravien liikkuminen muuntajan päällä voisi olla hyödyllinen havainnointikohde. Eläimet voivat aiheuttaa oikosulkuja, vaurioita ja keskeytyksiä muuntajien yhteydessä.



Muuntajien yhteydessä käytetään kaasuanalysaattoreita kunnon valvontaan. Näiden hinta vaihtelee muutamasta tuhannesta eurosta kymmeneen tuhansiin. On-line lämpökameralla ei voida kuitenkaan korvata kaasuanalysaattoria. Kamera voi kuitenkin tuoda tarjolle hyödyllistä mittaustietoa, jonka avulla voidaan paremmin estää vikaantumista tai lykätä huoltotoimenpiteitä. Alla olevassa taulukossa on esimerkki muuntajan vikaantumista aiheutuvista vuosikustannuksista eri ikäisille muuntajille.

Muuntajan ikä	Vikataajuus	Kustannus/vuosi		
		KAH 20 000 €	KAH 40 000 €	KAH 200 000 €
0-15	0,5 %	100	200	1000
16-24	1,0 %	200	400	2000
25-34	1,5 %	300	600	3000
35-50	2,0 %	400	800	4000
> 50	3,0 %	600	1200	6000

Taulukko 2: Piironen 2015

## **Virtamuuntajat**

Virtamuuntajissa toisinaan havaitaan lämpenemiä, jotka erottuvat normaaleilla lämpökameroilla. Laitteet sijaitsevat korkealla ja sen vuoksi ne ovat otollisia havaintokohteita lämpökameralle, joka voi mitata kohdetta etäältä. Toinen merkittävä kenttätesteissä havaittu etu on se, että yhdellä kertaa saadaan kuvaan kaikki kolme vaihetta. Sen lisäksi, että kuvaamiseen riittää yksi kamera, voidaan eri vaiheiden lämpötilaa verrata keskenään. Tällöin voitiin todentaa, että edullisella lämpökameralla voidaan havaita hyvinkin pieniä, parin asteen lämpötilaeroja eri vaiheiden välillä. Tällä analysointimenetelmällä voi siis päästä kiinni jo hyvin aikaisessa vikaantumisvaiheessa oleviin ongelmiin käsiksi.

## **Kaapelipäätteet**

Kaapelipäätteissä ongelmana on niiden mahdollinen kuumeneminen, joka johtuu väärin tehdystä työstä. Näitä ongelmia tuntui ilmenevän erityisesti uusien asennusten yhteydessä. Tämä tietysti on luonnollista, kun uuden laitteiston asennuksen 'lastentaudit' tulevat esiin pian käyttöönoton jälkeen. Online-lämpökameran voisi jättää kuvaamaan tärkeimpiä kohteita väliaikaisesti.

Kaapelipäättevikojen syyt voivat olla myös hitaasti kehittyviä, esimerkiksi kaapelin vaipan vetäytyminen, kutisteeseen tulevat halkeamat tai päätteestä kuuluva sirinä ja näitä havaitaan yleensä normaalien huolto-ohjelmien yhteydessä silmämääräisesti arvioituna. Näin ollen ei ole todennäköistä, että lämpökameralla voisi saada kiinni kaikkia erilaisia vikaantumistyyppisiä vaan ainoastaan osan niistä.

Kaapelipäätteet sijaitsevat suojattujen metallikoteloiden sisällä ja tämä asettaa luonnollisesti vaatimuksen, että kamerassa mukana oleva radioyhteys saadaan toimimaan luotettavasti. Metallinen kotelointi aiheuttaa faradin häkin, joka estää radiosignaalien kulun. Tätä ongelmaa voi ratkoa käyttämällä kamerassa ulkoista lisäantennia, joka voi johtaa suojakoteloinnin ulkopuolelle hyvään radiokenttään.

## **Kulunvalvonta**

Lämpökameraa voidaan hyödyntää myös kulunvalvonnassa. Lämpödatan perusteella voidaan havaita, mikäli asemalla liikkuu henkilöitä tai eläimiä riippumatta vuorokaudenajasta. Tehdyissä testeissä havaittiin, että ihmisen aiheuttama lämpösäteily näkyy hyvin kamerassa ja sen perusteella voidaan luoda automatiikkaa myös tähän tarkoitukseen. Lämpökameran etu henkilövalvonnassa on sen tarjoama yksilönsuoja. Kuvasta ei ole mahdollista tunnistaa henkilöä.

## **Muut kohteet ja käyttötavat**

Edellä mainittujen, lähinnä kunnonvalvontaan liittyvien käyttökohteiden lisäksi lämpökameraa voi käyttää todennäköisesti myös monenlaiseen muuhun valvontaan. Kunhan kohteessa on havaittavissa lämpötilaeroja tai -muutoksia, menetelmä pystyy havaitsemaan ne suhteellisen etäältä. Tästä esimerkkinä voi olla vesivuoto.

## 6.2 Jatkuvatoinimisen lämpökuvauksen käyttöstrategioita

Kuvatunlaista jatkuvatoinimista lämpökuvausta voidaan käyttää muutamalla erilaisella käyttöstrategialla. Yksinkertaistaen ne voidaan jakaa kahteen päätapaan. viittaa näihin tässä termeillä "Kattava valvonta" ja "Prioriteettikohteiden valvonta"

**Kattavalla valvonnalla** tarkoitetaan ajattelumallia, jossa pyritään tiettyä laiteryhmää tai asemakokonaisuutta valvomaan mahdollisimman kattavasti, niin että kaikki tärkeimmät vikakohteet tulevat jatkuvan etävalvonnan piiriin. Esimerkkinä tällaisesta kattavasta valvonnasta on kauko-ohjattavien erottimien etävalvonta. Niiden käytöstä voidaan saada erilaisia tietoa mm ohjauksen onnistumisesta tai epäonnistumisesta. Lisäksi kehittyneimmistä laitteista saadaan tieto ohjaukseen tarvittavasta liike-energiasta. Näiden tietojen perusteella voidaan päätellä erottimien koko populaatio toimintakunnon tilaa hyvinkin kattavasti.

Lämpökuvauksen kohdalla voidaan ajatella, että kattavalla valvonnalla pystytään havaitsemaan mihin tahansa laitteeseen syntyvät lämpenemät luotettavasti ja voidaan reagoida ajoissa korjaavin toimenpitein. Heikkoutena tässä on luonnollisesti se, että vikaantumisia on tyypillisesti harvoin ja anturointilaitteistot kuvaavat 'turhaan' pitkiä aikoja. Kustannukset kattavassa valvonnassa ovat korkeat.

**Prioriteettikohteiden valvonta** tarkoittaa ajattelumallia, jossa jatkuvatoinimista valvontaa kohdennetaan laitteisiin, joiden voidaan olettaa vaurioituvan korkeammalla todennäköisyydellä. Tämä prioriteettikohteiden valinta perustuu erilaisiin menetelmiin, esimerkiksi elinkaaren päässä oleviin laitteisiin tai kohteisiin, jotka muuten tiedetään ongelmallisiksi. Kohde on voinut nousta esiin manuaalisissa lämpökuvauksissa ja se halutaan tarkemman seurannan piiriin.

Toisaalta laitteiden käyttöönoton jälkeen voidaan ajatella olevan ajanjakso, jolloin on keskimääräistä todennäköisempää, että törmätään ongelmiin. Tässä tilanteessa laitteelle voidaan toteuttaa online-lämpökuvauksia väliaikaisesti, esimerkiksi puolen vuoden ajanjaksolla. Tällöin voidaan luottaa siihen, että asennusten jälkeiset lastentaudit saadaan varmemmin kiinni ja pystytään estämään vakavammat häiriöt. Seuranta-ajan jälkeen kameralaitteistot voidaan siirtää toiseen paikkaan.

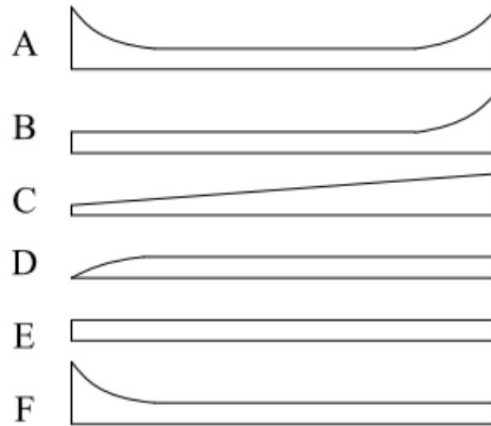
## 7 Taloudellisten hyötyjen muodostuminen

Jatkuva-aikainen lämpökuvaus voi tuoda hyötyjä monella erilaisella tavalla. Koska vastaavaa menetelmää ei ole aikaisemmin käytössä, ei ole olemassa vakiintuneita toimintamalleja tai tapaa laskea hyötyjä suoraviivaisesti. Jotta erilaisia tapoja tuottaa arvoa voi arvioida ja verrataan toisiinsa, luodaan alustava luokittelu / malli. Käytän näistä termiä hyödynkertymismallit.

Tarkastelun alle on kerätty erilaisia hyödynkertymismalleja ja käyttöstrategioita, joita on arvioitu käymällä keskusteluja eri asiantuntijoiden kanssa. Tämän lisäksi on osasta malleista tehty laskelmia, joiden perusteella on arvioitu, voiko kyseinen toimintamalli olla kannattava suhteessa alustaviin kustannuksiin.

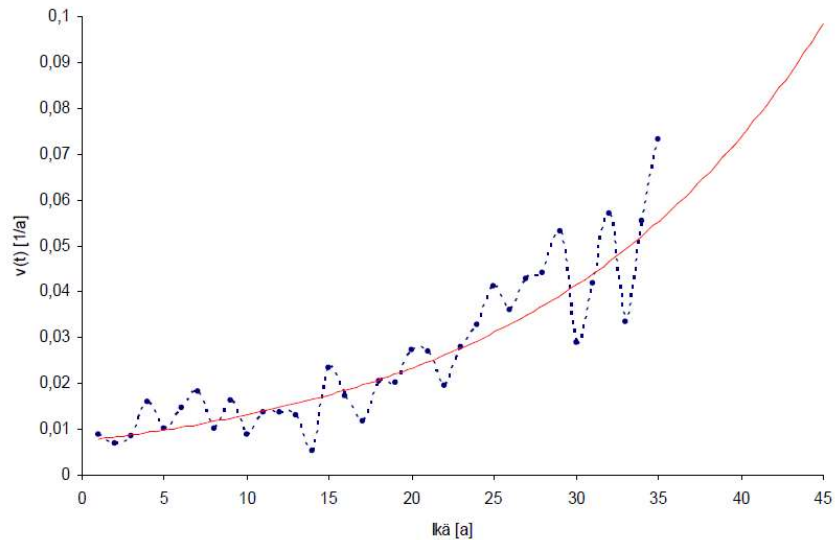
### 7.1 Ylläpito- ja kunnossapitokulujen aleneminen

Jatkuvatoimisen lämpökuvauksen keskeinen ajatus on, että siirrytään aikaperusteisesta huollosta todellisen kunnan perusteella tehtävään ylläpitoon. Aikaan perustuva seuranta on tuttua sähköverkkojen kunnonvalvonnassa. Sen perusmallina voi ajatella olevan vikaantumisen 'ammekäyrä'. Tässä mallissa laitteille tulee keskimääräistä enemmän vikaantumisia juuri asennusten jälkeen elinkaaren alussa ja vastaavasti käyttöiän loppupuolella. Tämän ajattelumallin pohjaksi Nolan ja Heap esittelivät vuonna 1978 kuusi erilaista laitteen vikaantumismallia.



Laitteiden vikaantumismalleja

Tätä mallia tukee esimerkiksi Kuosan havaintoaineisto, johon on kerätty erottimien vikaantumistaajuuksia Fingrid:in tilastoihin perustuen. Kuva alla. Kohdelaitteen huoltotoimenpiteitä voidaan siirtää myöhäisemmälle, mikäli voidaan todeta luotettavasti, että se on edelleen hyvässä kunnossa. Siirtyminen esimerkiksi 5 vuoden huoltovälistä tarpeen mukaan tehtäviin huoltoihin säästää kustannuksia. Vastaavasti huoltoa voidaan aikaistaa, mikäli se osoittautuu tarpeelliseksi ja näin estää yllättäviä vikaantumisia ennen suunniteltua huoltoa. Luonnollinen hyöty tästä kohdentamismenetelmästä on matalammat kustannukset ja sitä kautta parempi vaikuttavuus.



Ikääntymisen vaikutus erottimen vikataajuuteen (Kuosa 2007)

### Asematarkastusten vähentäminen

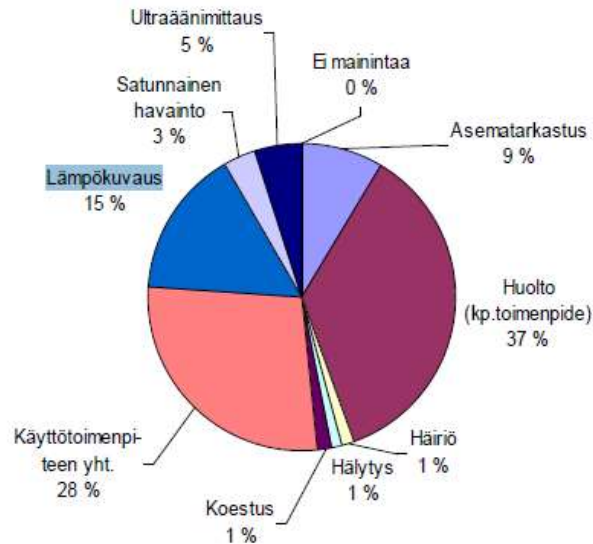
Voiko asematarkastuksia vähentää jatkuvatoimisella lämpökuvauksella? Asematarkastuksia tehdään sähköasemille tyypillisesti muutaman kerran vuodessa. Eri tavoin tehtävien mittausten lisäksi etsitään silminnähtäviä puutteita, joita etävalvontamenetelmillä ei pystytä havaitsemaan. Asematarkastusten yhteydessä kiinnitetään huomiota monenlaisiin asioihin primäärilaitteiden kunnon lisäksi, esimerkiksi aseman siisteyteen, ovien lukitukseen, kohdetta ympäröivien aitojen kuntoon, kiinteistötekniisiin asioihin, paloturvallisuuslaitteisiin.

Yhteenvetona asematarkastuksista voidaan todeta, että tutkimuksen kohteena olevan kaltaisella on-line lämpökuvausmenetelmällä ei voida yksinään korvata tai siirtää asematarkastuksia. Ei ole realistista olettaa, että kameroilla voitaisiin havaita kaikkia asematarkastusten yhteydessä varmistettavia seikkoja. Jatkuvatoiminen lämpökuvaus tuo tarjolle lisätietoa etävalvonnan tueksi mutta yksinään sillä ei ole merkittävää vaikutusta asematarkastusten tekemiseen.

### Manuaalisten lämpökuvausten väheneminen

Asematarkastuksiin voidaan laskea myös manuaaliset lämpökuvaukset, joita tehdään tyypillisesti kerran-kaksi vuodessa. Lämpökuvauskäynnillä kuvataan suuri joukko erilaisia kohteita, erilaisista kuvakulmista. Lämpökuvauksia varten on olemassa yksityiskohtaiset tarkistuslistat kuvattavista kohteista.

Alla olevassa kaaviossa on tilastoa erotinvikojen havaitsemistavan mukaan (Kuosa 2007) ja siinä lämpökuvausten osuus on suhteellisen pieni. Manuaalisten lämpökuvausten heikkoutena voidaan pitää niiden harvaa toteutusväliä. Nopeasti etenevä vika, joka voisi paljastua lämpenemästä, löytyy aikaisintaan seuraavalla mittauskerralla. Toinen ongelma on vaihteleva kuorma verkossa. Matalalla kuormitustasolla lämpenemät eivät erotu samalla tavalla kuin korkean kuormituksen aikaan. Nämä voivat osaltaan vaikuttaa siihen, että manuaalisilla kuvauksilla saadaan suhteellisen vähän ongelmia kiinni.



Erotinvikojen jakautuminen havaintotavan mukaan (Kuosa 2007)

Manuaalisen lämpökuvauksen ohjeistuksessa kuvattuja kohteita per sähköasema on paljon ja sen vuoksi online-kameroita tarvittaisiin paljon yhtä hyvän kattavuuden saamiseksi. Tämän toteutumiseen vaikuttaa luonnollisesti ratkaisun kustannus. Käytyjen keskustelujen perusteella voi todeta, että manuaalisten lämpökuvauksen kustannukset nähdään suhteellisen matalina muuhun ylläpitoon kuluviin kustannuksiin verrattuna. Tämän vuoksi voidaan todeta, että manuaalisten kuvausten väheneminen yksinään ei tuo sinällään merkittäviä säästöjä pitkällä tähtäimellä.

Jatkuvatoiminen kamera muuttaa lämpökuvauksen luonnetta ja sen tuottaman datan määrä moninkertaistuu ja tieto muuttuu ajantasaisemmaksi. Online-lämpökuvauus ja manuaaliset lämpökuvaukset nähdään rinnakkaisena toimintatapana täydentämässä toisiaan.

### Käytännön kokemuksista ei vielä tarpeeksi tietoa

Edellä on esitetty erilaisia malleja, joiden kautta voidaan saada taloudellisia säästöjä sähköverkon ylläpitokustannuksissa. Jatkuvatoimista lämpökuvausta ei ole vielä testattu laajassa mittakaavassa ja sen vuoksi on vaikeaa arvioida kuinka paljon se tuo säästöjä kokonaisen verkkoyhtiön tasolla. Näiden hyötyjen selvittämiseksi tarvitaan kattavia testejä, joiden myötä päästään kiinni käytännön sovelluskohteisiin ja euromääräisiin tuloksiin.

Fingrid on investoinut viime vuosina aktiivisesti älykkään anturoinnin ja tiedonkeruun kehittämiseen. Keskeisenä tavoitteena on ollut siirtyä todellisen kunnon perusteella tehtävään ylläpitoon. Fingridin heidän esittämät arviot tukevat uuden teknologian hyödyntämistä. Yhtiötason ylläpitokustannukset ovat kääntyneet laskuun ja heidän mukaansa toteutetulla kehitystyöllä on ollut tähän merkittävä vaikutus.



## 7.2 Keskeytyskustannusten alentaminen

Sähköasemien ja niihin liittyvien laitteistojen kunnonvalvonnalla ja -ylläpidolla pyritään luonnollisesti estämään keskeytyksiä ja niistä aiheutuvia haittoja asiakkaille ja yhteiskunnalle. Voidaan ajatella, että autonominen lämpökameran perimmäinen tavoite auttaa tässä tehtävässä ja alentaa siten keskeytyksistä aiheutuvia haittoja.

Keskeytyksistä aiheutuvia kuluja kuvataan KAH-kustannuksilla (keskeytyksestä aiheuttava haitta). Yksinkertainen tapa laskea keskeytyksestä aiheutuva haitta voidaan laskea euroina mallilla:

$$\text{KAH} = [\text{keskeytysaika}] \times [\text{toimittamatta jäänyt keskiteho}] \times [\text{energian hinta}]$$

Yksittäisen laitteen kohdalla laskennalliseen KAH kustannukseen vaikuttaa myös todennäköisyys, joka ko. laite vaurioituu aiheuttaen keskeytyksen. Tällöin yksittäisen laitteen KAH kustannuksen kaavaan lisätään myös vikataajuuden parametri:

$$\text{KAH} = [\text{Vikataajuus}] \times [\text{keskeytysaika}] \times [\text{toimittamatta jäänyt keskiteho}] \times [\text{energian hinta}]$$

Yleisesti ottaen yksittäisten laitteiden vikataajuudet ovat tänä päivänä hyvin pieniä. Vikaantumisen todennäköisyys kuitenkin kasvaa, kun kutakin laitetta verkostoissa on tuhansia ja tuhansia kappaleita. Pienikin yksikkökohtainen todennäköisyys kumuloituu merkittäväksi, kunhan pisteitä on paljon.

### 7.2.1 Esimerkilaskelma kattavasta valvonnasta ja KAH-kustannuksista

Seuraavassa on esimerkilaskelmia, joiden avulla voidaan arvioida, minkälaisilla reunaehdoilla autonominen lämpökamera voisi olla taloudellinen ratkaisu. Ratkaisun keskeytyksestä aiheutuvaan laskennalliseen haittaan (KAH -kustannus ja siten ratkaisun kannattavuuteen vaikuttaa luonnollisesti vikataajuus, jolla häiriöitä esiintyy, keskeytyksen kesto-aika ja siirtämättä jäänyt teho. Laskelmaan huomioidaan myös KAH-parametri indeksikorjaimena 2005-2018 rahan arvon muutokselle.

Tämän lisäksi laskelmassa kannattaa ottaa huomioon jollain tavalla myös se todennäköisyys, jolla autonomisella lämpökameralla voidaan havaita ja estää kyseinen ongelma. Koska käytössä ei ole vielä yksityiskohtaista mittausdataa lämpökameran kyvystä, on käytettävä arviota. Alla olevassa esimerkissä käsitellään kaapelipäätteiden vikojen havainnointia 20kV verkostossa vuositasolla. Koska osa kaapelipäätteiden vioista kuten vaipan vetäytyminen tai kutisteen halkeilu ei tuota lämpösäteilyä, on oletettava, että kaikkia vikoja ei pystytä havainnoimaan lämpökameran avulla. Tässä esimerkissä käytetään arviona 50% lämpökameran havaintotarkkuudelle. Erilaisissa kohdelaitteissa ja vikaantumismalleissa tämä havaintotarkkuus luonnollisesti vaihtelee.

Esimerkilaskelma perustuu kaavaan: vikataajuus/laitte x havaittavuus-% x keskiteho x keskeytysaika x KAH-parametri. Alla olevassa esimerkilaskelmassa on esitetty rajahinta, mitä lämpökamera voi maksaa kaapelipäätteiden valvonnassa erilaisten vikaantumistaajuuden suhteessa.

## 20kV maakaapeliverkon rakenneviat

Havaittavuus	50%	%
Keskiteho	500	kW
Keskeytysaika	0.5	h
KAH-Parametri 2018	13.42	€/kWh

Vikataajuus Vikaa/laite	Rajahinta lämpökameran kustannukselle € / johtolähtö / vuosi
0.00000	0.00
0.00050	0.84
0.00100	1.68
0.00150	2.52
0.00200	3.36
0.00250	4.19
0.00300	5.03
0.00350	5.87
0.00400	6.71
0.00450	7.55
0.00500	8.39
0.00550	9.23

Johtolähtöjen kennon 20kV kaapelipäätevikoja on yleisesti hyvin vähän ja keskeytyvä lähtevä teho on matala. Tällöin myös kustannukset jäävät alhaisiksi. Referenssiaineistossamme erään sähköverkkotoimijan tilastollinen vikaantumistaajuus tässä laitekategoriassa oli noin 0.0011 vikaa / vuosi. Tällä arvolla rajakustannus olisi ainoastaan n. 1.6€ / syöttölähdön kenno.

Jos oletetaan tarvittavien lämpökuvauslaitteiden ja tarvittavan taustajärjestelmän kustannukseksi esimerkiksi 300-400 euroa, voidaan nopeasti arvioida, että näin alhaisilla vikaantumistaajuuksilla kattava valvonta ei ole tuottava toimintatapa tai investointi 20kV kaapelipääteiden valvonnassa. Vikaantumistaajuuksista liikkeelle lähtevä tavoitekustannustaso on yksinkertaisesti muutamaa kertaluokkaa liian alhaalla.

### Kattava valvonta 110kV sähköasemilla

Seuraavassa erimerkkilaskelmassa tarkastellaan kattavan valvonnan raja-arvoja korkeamman siirtotehon 110kV sähköasemilla. Tarkoituksena on ymmärtää minkäkokoinen kustannustaso voisi olla realistinen, kun jakelukatkoksen aiheuttamat siirtämättä jääneet energiat ovat korkeampia.

Esimerkkilaskelmassa käytetään keskitehona 8MW ja esitetään vikataajuus sähköasematasolla. Eli edellisestä laskelmasta poiketen ei tarkastella yksittäistä laitetta ja sen vikaantumistaajuutta.

## 110kV sähköasema

Havaittavuus	50%	%
Keskiteho	8	MW
Keskeytysaika	0.5	h
KAH-Parametri 2018	13.42	€/kWh

Vikataajuus Vikaa/asema	Rajahinta lämpökameroiden kustannukselle € /asema / vuosi
0.00000	0.0
0.00125	33.6
0.00250	67.1
0.00375	100.7
0.00500	134.2
0.00625	167.8
0.00750	201.3
0.00875	234.9
0.01000	268.4
0.01125	302.0
0.01250	335.5
0.01375	369.1
0.01500	402.6
0.01625	436.2
0.01750	469.7
0.01875	503.3
0.02000	536.8

Tässä tapauksessa voidaan havaita korkeampien siirtotehojen nostama KAH-kustannuksen kerrannaisvaikutus lämpökameraratkaisun rajahintoihin. Ne ovat selkeästi korkeampia verrattuna 20kV hintapisteisiin. Sähköasemien vikataajuudet ovat tyypillisesti hyvin alhaisia. Esimerkkinä: jos verkon omistajalla on 5 vikaa 10 vuoden aikana ja asemaa on 50, vikataajuus on 0.01.

Tämä laskelma olettaa, että lämpökamera pystyy havaitsemaan 50% aseman vaurioitumiseen johtavista ongelmista. Tämä tarkoittaa, että koko asema tulisi olla erittäin kattavasti valvottu lämpökameroin. Tämä tarkoittaa helposti kymmenien kameroiden asennuksia. Esimerkitapauksessa 0.01 vikataajuudella ja taulukkoa hyödyntämällä tämä tarkoittaisi n. 268€ rajakustannusta. Jos oletetaan optimistisesti, että asema voidaan kattaa esimerkiksi 25 kameralla, tämä tarkoittaisi n. 10.7 € rajakustannusta yhdelle kameralle. Tämä on merkittävästi enemmän kuin 20kV esimerkissä, mutta edelleen selvästi alle todennäköisen kustannuksen, jonka kamera aiheuttaa.

Tämän lisäksi epävarmuutta aiheuttaa vaadittava kameroiden todennäköinen määrä. On epäselvää, kuinka monta kameraa vaaditaan antamaan riittävän hyvä kattavuus ja luotettavuus vikojen havaitsemisessa. Suurempi kameramäärä luonnollisesti vie kustannuksia ylöspäin.

Näiden esimerkkien valossa näyttää selvältä, että ainakaan alkuvaiheessa ei ole taloudellista käyttää kattavaa valvontastrategiaa lämpökameroiden yhteydessä. Vikaantumistaajuudet ovat yksinkertaisesti niin alhaisia, että ne eivät puolla kameroiden laajamittaista käyttöä, niin että kutakuinkin kaikki mahdolliset laitteet ja kohteet olisivat luotettavan valvonnan alla.

## 7.2.2 Esimerkilaskelma kohdennetusta valvonnasta

Edellisessä kohdassa olevien laskelmien perusteella voidaan arvioida, että kohdennettu valvontastrategia voisi olla selkeästi tuottavampi tapa käyttää autonomista lämpökameraa. Ajatuksena on tietenkin kohdentaa tarkempaa valvontaa sellaisiin kohteisiin, joiden tiedetään olevan erityisen vikaantumisherkkiä, elinkaarensa päässä tai muuten korkealla prioriteetilla. Tällöisiä voivat olla esimerkiksi laitteet, jotka ovat jo osoittaneet pientä lämmön nousua manuaalisissa lämpökuvauksissa ja siten kasvanutta vikaantumistodennäköisyyttä. Näille voidaan järjestää nopeampi autonominen lämpöseuranta. Ajatuksena on luonnollisesti se, että laitteen tilan mahdollinen nopea edelleen heikentyminen voidaan saada kiinni ennen kuin se aiheuttaa suunnittelemattoman jakelukatkoksen. Vastaavalla tavalla valvontaa voidaan keskittää yksittäiseen laitteeseen, jonka keskeytyksistä aiheutuvat haitat ovat erityisen korkeita.

Alla esimerkilaskelma, joka antaa kuvaa siitä, miten yhden prioriteettilaitteen valvonta muuttaa lämpökuvauksen rajahintaa. Esimerkissä nostetaan 110kV laitteen vikaantumistaajuutta paria kertaluokkaa korkeammaksi. Samalla havaittavuus-% nostetaan korkeammalle tasolle; voidaan otaksua, että yhden laitteen lämpöseuranta voidaan kohdistaa hyvinkin tarkasti, tarvittaessa lisäämällä yhden kameran rinnalle 1-2 kameraa kuvaamaan kohdetta eri suunnasta.

### Korkean prioriteetin laitteen valvonta

Havaittavuus	90%	%
Keskiteho	8	MW
Keskeytysaika	0.5	h
KAH-Parametri 2018	13.42	€/kWh

Vikataajuus Vikaa/asema	Rajahinta lämpökameroiden kustannukselle € /asema / vuosi
0.00	0.0
0.05	2415.6
0.10	4831.2
0.15	7246.8
0.20	9662.4
0.25	12078.0
0.30	14493.6

Laskelman perusteella voidaan todeta, että vikaantumistaajuuden vaikutus on lopputuloksen kannalta erittäin merkityksellinen. Samoin korkeampi havaitsemistodennäköisyys nostaa tuottoa nopeasti. Tässä havaitaan suuri ero kattavan ja kohdennetun valvonnan hyödyistä. Tämä vie ajattelumallia kohti todelliseen kuntoon perustuvaa ylläpitoa.

### 7.3 Uusintainvestointien lykkäys ja pääomakulujen alentaminen

Tietyn laitteen uusintainvestointia voidaan ajatella lykättävän, mikäli sen tilasta saadaan aikaisempaa parempaa ja ajantasaisempaa tietoa. Voidaan luottaa siihen, että mahdollisessa vikatilanteessa saadaan hälytys ajoissa, ja voidaan ryhtyä toimenpiteisiin ennen vakavaa laiterikkoa tai keskeytystä. Tällä tavalla laitteita voidaan käyttää pitkäänkin normaalin laskennallisen käyttöajan yli.

Online-lämpökuvaukset voi tuottaa selkeästi tarkempaa tietoa verrattuna manuaalisiin lämpökuvauksiin verrattuna. Todennäköinen toimintamalli voi olla se, että manuaalisissa kuvauksissa havaitaan jonkin laitteen lämpenemä. Kyseinen laite siirretään tarkempaan seurantaan jättämällä paikalle autonominen lämpökamera. Tällä tavalla käytönvalvontaan voidaan saada nopeasti tieto, mikäli lämpenemä alkaa muuttua pahemmaksi.

Pääomakulujen alentamisella voidaan nähdä olevan iso merkitys kokonaisinvestoinnin kannalta. Mikäli laitteiston käyttöikä voidaan pidentää esimerkiksi 5 tai 10 vuodella, potentiaalinen säästö on merkittävä. Laskelmia arvioitaessa on huomioitava, että tässä vaiheessa on vielä hankala määrittää, pystytäänkö kuvattua ratkaisulla yksinään havainnoimaan ratkaiseva tieto laitteiden vikaantumisesta.

Seuraavassa esimerkissä on laskelmia pääomakulujen säästöstä, mikäli ratkaisun avulla voidaan siirtää laitteiston uusintainvestointia esimerkiksi 1, 5 tai 10 vuotta. Tarkasteluajankohtana käytetään ajanhetkeä, jolloin laitteen keskimääräinen käyttöikä alkaa olla täynnä ja voidaan olettaa, että vaurioiden todennäköisyys alkaa nousta.

Pohja-ajatuksena tässä laskelmassa pidetään yksinkertaistettua tilannetta, jossa verkkoyhtiöllä on kaksi vaihtoehtoista etenemistapaa;

- a) Verkkoyhtiö voi joko investoida uuteen laitteeseen esimerkiksi 50000€
- b) Laitetta päätetään käyttää vuosi kerrallaan pidempään, koska voidaan luottaa tarkemman valvonnan hälyttävän, mikäli ongelmia ilmaantuu. Tässä tapauksessa 50000€ voidaan sijoittaa muuhun kohteeseen ja saada sitä kautta tuottoa.

Laskelmassa käytetään 5% korkokantaa vaihtoehtoisen tuoton / pääomakulusäästöjen laskentaan. Näitä säästöjä verrataan lämpökameraratkaisun käyttökuluihin kappaleessa 9.

Esimerkin laitteistojen hinnat perustuvat Energiaviraston verkkokomponenttien yksikköhintoihin vuosille 2016-2023. Ne pitävät sisällään varsinaisen laitteiston hinnan lisäksi myös suunnittelun ja asennuksen kuluja.

Energiaviraston yksikköhintoja	Korkokanta	Yksikköhinta €	Keskim. Käyttöaika V	Pääomakustannus €/v	Pääomakustannuksen säästön nykyarvo € käyttäjän pidentyessä, vuotta:			
					1	3	5	10
2016-2023	5%							
<b>Yksittäisiä laitteita</b>								
20/0.4kV 1-pylväsmuuntamo		5100	40	255	243	765	1 104	2 550
20/0.4kV Muuntaja 1600 kVA		21800	40	1090	1 038	3 270	4 719	10 900
110kV Johtoerotin: kauko-ohjattu		49 400	45	2470	2 352	7 410	10 694	24 700
110kV Päämuuntaja 10 MVA		257 800	55	12890	12 276	38 670	55 807	128 900
<b>110 kV sähköaseman 1-kiskokojeistot</b>								
Ilmaeristeinen 1-kiskokojeisto: peruskojeisto		95 800	45	4790	4 562	14 370	20 738	47 900
Ilmaeristeisen 1-kiskokojeiston lähtö- tai syöttökenttä		199 300	45	9965	9 490	29 895	43 143	99 650
				0				
Kaasuieristeinen 2-kiskokojeisto: peruskojeisto		343 300	45	17165	16 348	51 495	74 315	171 650
Kaasuieristeisen 2-kiskokojeiston lähtö- tai syöttökenttä		361 300	45	18065	17 205	54 195	78 212	180 650

Taulukko 3: Pääomakustannusten säästöjä käyttäjän pidentyessä

Laskelman perusteella voidaan todeta, että pääomakulujen säästön kautta voidaan saavuttaa merkittäviä etuja, mikäli uusintainvestointia voidaan lykätä vaikkapa vain yhdellä vuodella. Sähköaseman laitteistot ovat kalliita ja niiden käyttöiän pidentyessä säästöt kumuloiduvat nopeasti. Nämä säästöt ovat huomattavasti suurempia kuin muut edellä läpikäytyt hyödynkertymismallit. Luonnollisesti tätä säästöä on verrattava kameralaitteiston hankinta- ja käyttökustannuksiin, jonka jälkeen voidaan arvioida kokonaiskannattavuutta. Näistä tarkemmin kappaleessa 9.

#### 7.4 Uudet palvelumallit ja liiketoimintamahdollisuudet

Edellä kuvattujen hyödynkertymismallien lisäksi tutkimuksen kohteena olevalla ratkaisulla voidaan luoda myös uudenlaisia palveluita. Sähköverkkojen omistajat hankkivat nykyään palveluita varsinaiseen ylläpitoon siihen erikoistuneilta yrityksiltä. Autonominen lämpökamera, joka on helppo asentaa voi antaa tällaisille yrityksille mahdollisuuden uusien palveluiden kehittämisen ja tuotteistamisen. Perinteisen asematarkastuksen lisäksi paikalle voidaan jättää jatkuvatoiminen valvontalaite mittaamaan kiinnostavaa kohdetta.

Tällä tavalla voidaan tarjota mm. palvelutasosopimuksia ja muita innovatiivisia palveluita verkon omistajille. Voidaan luvata kattavampi valvonta ja nopeampi reagointiaika mahdollisiin ongelmiin. Tämä taas luo uusia liiketoimintamahdollisuuksia palveluntarjoajille.

#### Online-lämpökameradata osana muuta mittaustietoa ja data-analytiikan hyödyntäminen

Tässä hyödynkertymismallissa lämpökuvadata nähdään yhtenä tietovirtana, joka täydentää muuta sähköasemalta saatavaa mittaustietoa. Lähtökohdana ajatellaan, että lämpökuvatieto ei ole yksittäinen ratkaisevassa asemaassa kustannusten alentamisessa mutta osana kokonaisuutta se auttaa alentamaan ylläpitokustannuksia.

Fingrid'in edustajan mukaan tämä on todennäköinen tapa löytää hyödyllisiä käyttökohteita on-line lämpökuvauksille. Fingrid investoi merkittäviä panoksia entistä paremman on-line tiedon keräämiseen



sähköasemilta. Lämpökuvaukset ovat yksi uusi datalähde muiden uusien mittausmenetelmien rinnalla. Tällaisia tutkittavia menetelmiä ovat esimerkiksi ääni- ja radiotaajuushäiriöiden seuranta.

Lähtökohtana on kerätä anturoitu tieto keskitettyyn järjestelmään, jossa data-analyysin keinoin kehitetään ohjelmistoalgoritmeja, jotka auttavat ennakoimaan eteen tulevia ongelmia. Vaikka moni hanke on vielä kehitysvaiheessa, työn myötä syntyneistä säästöistä on Fingridillä olemassa konkreettisia tuloksia.

## 8 Arvioita kustannuksista

Tutkimuksen kohteena oleva ratkaisu koostuu kuvauslaitteistoista, tiedonsiirtoteknologiasta ja pilvipalvelujärjestelmästä, joka tuottaa käyttäjälle käyttöliittymän ja sen tarvitseman data-analyysin. Valmiin ratkaisun käyttökustannuksia on tässä vaiheessa vaikea arvioida tarkasti, koska tarvittavia kehitysinvestointeja ei tiedetä kokonaisuudessaan. Seuraavassa arvioita eri kustannusten tärkeimmistä vaikuttimista. Kun ajatellaan ratkaisusta aiheutuvia kuluja, tulee huomioida sen laitteistokulujen lisäksi muita kokonaiskustannuksiin vaikuttavat tekijöitä, joita kuvattu alla:

- Laitteistokulut
- Ratkaisun analytiikan, käyttöliittymän sekä järjestelmäintegraation kehitys- ja ylläpitokulut
- Käyttöönoton ja asentamisen kulut
- Datan siirto-, tallennus- ja prosessointikulut
- Järjestelmän ylläpito- ja operointikulut

### 8.1 Laitteistokulut

Järjestelmän runkona toimii autonominen kameralaitte, jonka keskeinen elementti on luonnollisesti lämpökamerakomponentti. Tämän lisäksi laitteessa tarvitaan yksinkertaista seuraavanlaisia komponentteja: prosessori muisteineen, radiomodeemi, virransyöttöelektronikka, paristo, piirilevy, antenni, muu elektronikka, koteloointi ja kiinnitysmekanismit.

Näistä kalliimpia osia ovat ensin mainitut. Tyypillisesti elektronisilla laitteilla tapahtuu hintaeroosiota, johon vaikuttaa erityisesti komponenttien hinnan yleinen aleneminen, valmistusmäärien ja massatuotannon tuomat skaalaedut, tuotettavan laadun paraneminen ja uudet innovaatiot esimerkiksi koteloinnissa. Hintaerosioon vaikuttaa oleellisesti kyseisen komponenttialueen maturiteetti teknologiana. Pitkän kehityskaaren eläneillä osa-alueilla kuten elektronikan peruskomponenteilla hintakehitys on hidasta ja isot pudotukset harvinaisia. Uudella komponenttialueella aktiivinen kehitystyö ja valmistajien investoinnit tuotantomenetelmiin ja -määriin pudottavat hintoja nopeampaa tahtia. Laitteistojen hintaeroosiosta tarkemmin seuraavassa kappaleessa.

Laitteiston odotettavissa olevat materiaalikulut voidaan ajatella olevan alkuvaiheessa 100-150€/laite, mutta tähän tulee laskea mukaan valmistus- ja testauskulut, pakkauskulut, kuljetuskustannukset sekä valmistajan kate.

#### **Laitteiden tarve**

Yksittäinen kameralaitte pystyy kuvaamaan useaa pistettä kerrallaan. Tämä on hyödyllinen ominaisuus sähkölaitteistojen valvonnassa, koska kiinnostavia mittauspisteitä on usein monta samalla alueella. Yksittäisen kameran järkevällä sijoittelulla voidaan parhaassa tapauksessa valvoa esimerkiksi kolmen eri vaiheen virtamuuntajat tai erottimet yhdellä kertaa. Toisaalta lisäämällä toinen kamera samaan kohteeseen hieman eri kulmassa parantaa kerättävän datan kattavuutta ja luotettavuutta.





Sähköaseman kohtuullisen kattavan valvonnan toteuttaminen vaatii useita kameroita, riippuen siitä kuinka laajasti laitteita halutaan seurantaan. Alla olevassa kuvassa on sähköasema, jossa on 2-kiskojeisto ja 6 syöttö- ja lähtökenttää. Kamera-anturoinnin kanssa voi lähteä liikkeelle ensin yksittäisistä kiinnostavista pisteistä tai muuntajien tarkemmasta seurannasta. Tällöin pärjätään muutamilla kameroilla. Mikäli tämänkaltainen asema halutaan anturoida kattavasti, se vaatii arviolta 25-40 kameraa. Fingridin sähköasemat ovat laajempia kuin jakeluverkkoyhtiöillä ja heidän arvio merkittävimpien sähköasemien kameratarpeesta on 50-60 kpl.



(Kuva: Savon Voima Verkko Oy ©)

## 8.2 Analytiikan, käyttöliittymän ja integraation kulut

Ratkaisu perustuu kerättävän lämpödatan pohjalta tehtävään analytiikkaan ja tiedon esittämiseen ylläpidon henkilöstölle. Tämä vaatii oman kehitysinvestointinsa, joka on osa kokonaiskuluja. Lisäksi ratkaisu on mahdollista pitkällä tähtäimellä mahdollista integroida sähköverkkoyhtiöiden toiminnanohjausjärjestelmiin. Nämä kehitysinvestoinnit jakautuvat käytössä olevien laitteiden kesken ja siten niiden suhteellinen osuus käyttömäärien kasvaessa laskee nopeasti.

## 8.3 Käyttöönnoton kustannukset

Laitteiston käyttöönnotosta, asentamisesta ja käyttäjien kouluttamisesta aiheutuu kustannuksia. Tutkittavana olevassa ratkaisussa on lähtökohtaisesti pyritty tekemään asennustöistä mahdollisimman nopeita ja yksinkertaisia, niin että ei tarvita käyttökatoja. Edullisimmillaan asennustyöt voidaan aikatauluttaa normaalien asematarkastusten ja -vierailuiden yhteyteen niin, että lisäkustannukset ovat siltä osin pieniä.

Kamerat voidaan asentaa suoraan olemassa oleviin rakennelmiin käyttämällä yleisesti saatavilla olevia action-kameroiden, jalustoja, kiinnikkeitä ja magneetteja. Asennus onnistuu ilman jakelukatkoksia. Lisäksi asennusten tueksi voidaan toteuttaa matkapuhelinsovelluksia, joiden avulla laitteen rekisteröinti ja käyttöönottotoimenpiteet pystytään tekemään mahdollisimman yksinkertaisiksi. Tämä vähentää käyttöönottoon ja tarvittavaan koulutukseen vaadittavaa aika ja siten vaikuttaa kokonaiskustannuksiin merkittävästi.

Ratkaisun ollessa vielä prototyyppiasteella, ei vielä voida määritellä optimaalista toimintatapaa. Käytännön testien ja arkisen käytön kautta päästään käsiksi kaavailtujen ratkaisujen esiin tuomiin haasteisiin ja näitä asioita voidaan parantaa. On oletettavaa, että käytännön oppien myötä myös käyttöönottokustannuksia pystytään alentaa entistä paremman käyttökokemuksen ja tehokkaampien toimintatapojen avulla.

## 8.4 Datan siirto-, tallennus- ja prosessointikulut

Autonomisen lämpökameran yksi perusrakennuspalikka on langaton yhteys suoraan tietoverkkoon. Tässä tapauksessa tarkoituksena on käyttää pitkän kantaman radioteknologioita, joita on tullut viime aikoina laajalti tarjolle. Englannin kielellä käytetään termiä LPWAN (Low Power Wide Area Network). Näiden teknologioiden tärkeimpiä uusia ominaisuuksia ovat:

- Pitkä kantama (kymmeniä kilometrejä)
- Pieni virrankulutus (mahdollistaa paristo- ja akkukäyttöiset laitteet vuosien käyttöajalla)
- Pieni tiedonsiirtonopeus
- Hyvä kuuluvuus ja signaalin tunkeutumiskyky esimerkiksi rakennusten sisään
- Edulliset komponenttikustannukset (merkittävästi edullisempia kuin esimerkiksi 4G LTE komponentit)
- Verkkojen suuri yhteyspisteiden kapasiteetti (yksi verkon tukiasema pystyy tukemaan kymmeniä tuhansia laitteita)

Tämä kehitys osaltaan auttaa komponenttikustannusten alentamisessa kuten yllä kuvattiin, mutta myös tiedonsiirron kustannusten alentamisessa. Kun verkko-operaattori saa käyttöönsä teknologian, joka

pystyy tukemaan kymmeniä tuhansia laitteita yhdellä tukiasemalla, myös laitekohtainen tiedonsiirron kustannus voidaan tuoda merkittävästi alemmaksi. Esimerkitapauksena voidaan ottaa matkapuhelinoperaattoreiden käyttämät NB-IoT ja LTE-M -teknologiat, jotka ovat hiljattain tulleet markkinoille. Näiden liittymäkohtainen kuukausihinta painuu alimmillaan alle yhden euron.

Tutkimushankkeessa käytettävä lämpökamera tuottaa datamäärältään hyvin pieniä kuvia. Tämä sopii mainiosti yhteen näiden uusien datasiirtoteknologioiden kanssa. Kapeakaistainen tiedonsiirto on optimaalinen pienille lämpökuville. Tämä alentaa niin tiedonsiirtomääriä, operaattorien dataveloituksia ja toisaalta vähentää prosessoinnin tarvetta niin laitteessa kuin pilvipalvelussa. Tämän myötä tarvittava tietovarastokapasiteetti ja kerätyn datan prosessointi vaatii vain vähän resursseja. Tämän perusteella voidaan olettaa, että tästä aiheutuvat kokonaiskulut, varsinkin laitemäärien kasvaessa, ovat erittäin alaisia

Nykypäivän elektroniikan tehokkuuden ja pilvipalveluiden myötä voisi ajatella, että prosessoinnin määrällä ei ole juuri merkitystä mutta tämä ei täysin pidä paikkaansa. Datan prosessointi tulee nähdä kuluna erityisesti virrankulutuksen näkökulmasta. Mitä enemmän prosessointia joudutaan tekemään laitteessa ja tiedonsiirrossa, sitä enemmän kuluu energiaa. Ja laitteessa oleva jännitelähde tyhjenee nopeammin. Ja virtalähteen vaihtaminen tai lataaminen taas aiheuttaa kustannuksia. Mitä tehokkaammin datan käsittelyä voidaan vähentää, sitä alhaisemmat ovat kokonaiskustannukset.

## 8.5 Järjestelmän ylläpito- ja operointikulut

Laitteiston ja pilvipalvelun operointiin vaikuttaa erityisesti käytettävien laitteiden virtalähteet. Akku- tai paristokäyttöisen laitteen jännitelähde tyhjenee jossain vaiheessa ja se on vaihdettava tai ladattava uudelleen täyteen. Tämä aiheuttaa luonnollisesti kustannuksia, mutta niitä voidaan minimoida hyödyntämällä esimerkiksi välttämättömiä asematarkastuksia ja vierailuita sähköasemille. Laite voidaan vaihtaa uuteen kätevästi ja napata uupumassa oleva laite mukaan toimistolle ladattavaksi tai vaihtaa paristo saman tien. Myös laitteen pariston kokovalinnalla voidaan optimoida huoltoväliä vs. pariston hinta.

Jos jättää varsinaisen ratkaisun käyttötyön pois kokonaiskuluista, operointikulu muodostuu pääasiassa jo aikaisemmin mainituista datansiirtokuluista ja pilvipalvelun pyörittämiseen tarvittavista investoinneista. Nykypäivänä tyypillinen toimintamalli on, että palvelu pyörii joko asiakkaan omassa tai kokonaispalvelun tarjoajan pilvipalvelussa ja sillä on jokin hinta. Koska ratkaisu perustuu erittäin pienten datamäärien tuottamiseen ja siirtämiseen, voidaan myös näiden tietovarasto- ja prosessointikustannusten olevan suhteellisen alhaisia verrattuna ratkaisun laite- ja analytiikkakustannuksiin.

## 9 Tuottojen ja käyttökustannusten vertailu

Ratkaisun kautta syntyviä hyötyjä voidaan verrata arvioituihin käyttökustannuksiin:

$$\text{Investoinnin tuotto} = \text{Ylläpitokustannusten aleneminen [€]} + \text{säästöt pääomakuluissa [€]} + \text{KAH-kustannusten aleneminen [€]} - \text{ratkaisun käyttökustannukset [€]}$$

Käyttökustannuksissa dominoivina tekijöinä ovat laitekustannukset sekä analytiikan ja tiedonkäsittelyn kulut. Kannattavuuslaskelmien tekemiseksi tehdään alustava arvio edellisen kappaleen pohjalta. Alla olevassa taulukossa on referenssiarvot, joita käytetään laskelmien pohjana. On hyvä huomata, että todelliset käyttöönotto-, tiedonsiirto- ja operointikulujen arviointi on etukäteen epävarmaa ja ne luvut tarkentuvat vasta todellisen käyttökokemusten myötä. Kokonaiskäyttökuluja arvioitaessa tulee ottaa huomioon myös kameroiden määrä, joka tarvitaan kunkin valvontakohteen kattamiseen. Näitä on käyty läpi kappaleessa 7.1.

Laitteisto, analytiikka ja tiedonkäsittely	Käyttöönotto	Tiedonsiirto	Operointi ja ylläpito
400€	50€/laite	20€/v	50€/v

Taulukko 4: Arvioidut käyttökulut jatkuvatoimiselle lämpökuvaukselle

Laskelmaan on otettu huomioon myös kameroiden jäännösarvo seuraavasti:

	1 v	3v	5v	10v
Laitteen jäännösarvo	70%	50%	20%	0%

Taulukko 5: laitteiden jäännösarvot

Laskelman yksinkertaistamiseksi KAH- ja ylläpitokustannusten aleneminen jätetään pois. Niiden mukaan tuominen aiheuttaisi nykyisillä tiedoilla merkittävää epävarmuutta lopputulokseen. Voidaan kuitenkin olettaa, että ne toisivat toteutuessaan laskelmaan positiivisia muutoksia. Ylempänä on tarkasteltu KAH-kustannusten säästöpotentiaalia kappaleessa 6.2. Laskennallisten KAH-kustannusten vaikutus vaihtelee voimakkaasti vikaantumistodennäköisyyden, erilaisten laitekategorioiden, tyyppin ja iän mukaan. Tämän huomioon ottaminen tämän selvityksen alla luotettavalla tasolla ei ole mahdollista ja sen vuoksi ne jätetään alla olevasta laskelmasta pois. Voidaan kuitenkin olettaa, että KAH-kustannusten huomioon ottaminen parantaisi laskelmien kannattavuutta. KAH kustannusten suuruusluokasta saa esimerkin kohdan 7.21. laskelmien perusteella. Mikäli ikääntyneellä 110kV:n sähköasemalla arvioidaan olevan 20% todennäköisyys vaurioitua, sen laskennallinen KAH kustannus on 9600€.

Myös ylläpitokustannusten alenemisen huomioon ottaminen on hankalaa tässä vaiheessa. Niistä ei ole käytännön kokemuksia ja luotettavia laskelmia. Lähtökohtaisesti voidaan olettaa keskimääräisten ylläpitokustannusten alenevan ja sitä kautta parantavan laskelman kannattavuutta.

Alla olevassa taulukossa on laskettu kamerainvestoinnin nykyarvoa erilaisille esimerkki laitteille tai laitekokonaisuuksille. Laskennan pohjana käytetään yllä olevaa arvioita käyttökuluista sekä montako kameraa kunkin kohteen valvominen voisi tarvita. Näitä kuluja verrataan pääomakulujen säästöistä syntyviin hyötyihin 1, 3, 5 ja 10 vuotta pidemmällä käyttöajalla. Pääomakulujen säästöinä on käytetty taulukossa 3 esitettyjä lukuja

Energiaviraston yksikköhintoja 2016-2023	Korkokanta 5%	Yksikkö- hinta €	Keskim. Käyttöaika V	Pääoma- kustannus €/v	Kamera- tarve kpl	Investoinnin tuotto nykyarvo € käyttöajan pidentyessä, vuotta:			
						1	3	5	10
<b>Yksittäisiä laitteita</b>									
20/0.4kV 1-pylväsmuuntamo		5100	40	255	1	28	232	370	918
20/0.4kV Muuntaja 1600 kVA		21800	40	1090	1	823	2 506	3 985	7 365
110kV Johtoerotin: kauko-ohjattu		49 400	45	2470	1	2 137	6 264	9 960	18 021
110kV Päämuuntaja 10 MVA		257 800	55	12890	3	11 630	33 715	53 605	96 379
<b>110 kV sähköaseman 1-kiskokojeistot</b>									
Ilmaeristeinen 1-kiskokojeisto: peruskojeisto		95 800	45	4790	5	3 486	10 732	17 068	31 730
Ilmaeristeisen 1-kiskokojeiston lähtö- tai syöttökenttä		199 300	45	9965	6	8 199	24 363	38 739	70 638
				0					
Kaasueristeinen 2-kiskokojeisto: peruskojeisto		343 300	45	17165	12	13 765	41 196	65 507	119 926
Kaasueristeisen 2-kiskokojeiston lähtö- tai syöttökenttä		361 300	45	18065	20	12 900	39 948	63 532	118 464

Taulukko 6: Jatkuvatoimisen lämpökuvauksen tuotto eri kohdelaitteilla ja kameramäärillä.

Laskelmien perusteella voidaan todeta, että pääomakulujen säästö dominoi investoinnin tuottoastetta laskettaessa. Laskelmaa arvioitaessa on hyvä huomata, että tässä vaiheessa ei ole tarkkaa mittaustietoa siitä kuinka luotettavasti jatkuvatoiminen lämpökamera pystyy todentamaan erilaisten laajojen laitteistojen vikoja. Tätä ongelmaa voi pienentää lisäämällä kameramäärää tiheimmän mittausverkon aikaansaamiseksi.

Herkkyystarkastelun näkökulmasta voidaan todeta, että esimerkkilaskelman 110kV sähköasemilla kameramäärän tuplaaminen laskee tuottoja muutamilla tuhansilla euroilla, riippuen kunkin kohteen perusinvestoinnin suuruudesta. Kunkin investointi kuitenkin pysyy tukevasti positiivisena. Toisaalta kameralaitteistojen hinnan aleneminen tulevaisuudessa vaikuttaa kaksijakoisesti. Isoilla asemilla säästö on marginaalista, mutta putoava hinta tuo tarjolle entistä enemmän taloudellisesti järkeviä käyttökohteita esimerkiksi pienten edullisten pylväsmuuntamoiden tai yksittäisten laitteiden alueelta. Näin mittauskattavuutta voidaan kasvattaa voimakkaasti.

## 10 Teknologian kehitysnäkymiä

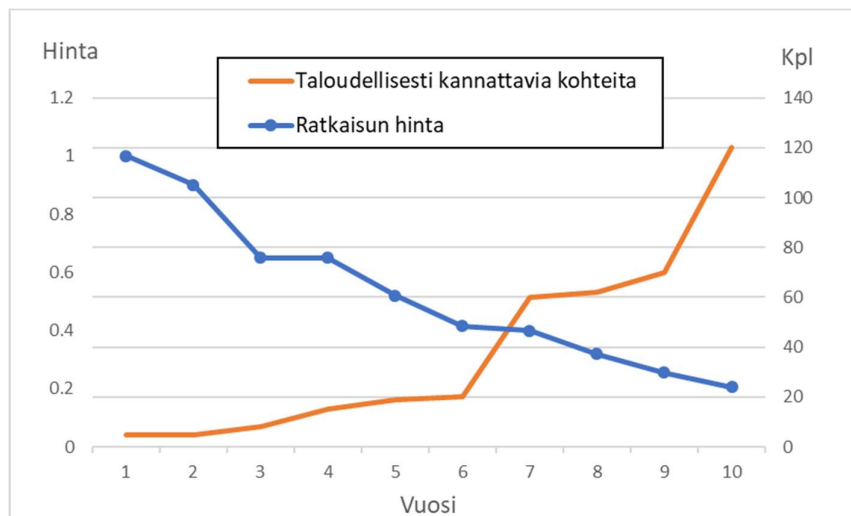
Tutkimuskohteena olevan järjestelmän voidaan ajatella olevan kehityskaarensa alkuvaiheessa. Monet sen keskeisimmistä rakennusosista ovat tulleet tarjolle vasta aivan viime aikoina ja siten ratkaisu on ylipäättään mahdollista toteuttaa. Kun rakennetaan uusi kokonaisuusjärjestelmä, ei kannata keskittyä ainoastaan nykyhetken kustannuksiin, vaan on hyödyllistä hahmottaa potentiaalinen kehityskaari vähintään viisi vuotta eteenpäin.

### 10.1 Laitekustannuksen pitkäntähtäimen kehitys

Hahmottelun pohjana voi käyttää innovaatioiden omaksumiskäyrämallia, johon viitataan esimerkiksi [hockey stick](#)-efektillä tai [innovation adaptation s-curve](#) -malleilla. (linkeissä pari esimerkkiä). Nämä mallit kuvaavat usein uusien innovaatioiden tai tuotteiden leviämistä yleiseen käyttöön. Käytännössä aina niihin liittyy useita erilaisia tekijöitä, jotka saavat yhteisvaikutuksena aikaan valtavan kasvun tuotteen tai ratkaisun suosiossa. Tässä tapauksessa tarkastellaan ainoastaan ratkaisun hintaa ja sen vaikutusta ratkaisun menestykseen.

Alla olevassa kuvassa on esimerkki, miten innovaation elinkaaren aikana tapahtuvat edistysaskeleet kustannusten alentamisessa tekee mahdolliseksi aivan uusien käyttökohteiden löytymisen. Aluksi on hyvin tyypillistä, että on ainoastaan kourallinen käyttökohteita, joissa ratkaisun hyödyntäminen on taloudellisesti tai esimerkiksi asiakastyytyväisyyden kannalta niin suotuisaa, että se kannattaa ottaa käyttöön. Kuitenkin ajan kuluessa yhä uusia taloudellisesti fiksua käyttökohteita tulee lisää. Jossain pisteessä tullaan rajalle, jonka jälkeen otollisten kohteiden määrä kasvaa suurin harppauksin ja syntyy 'hockey stick' käyrää muistuttava muutos.

Esimerkiksi alkuvaiheessa on todennäköistä, että sähköasemien laitteistoissa on järkevää valvoa tarkemmin vain tiettyjä korkean prioriteetin tai riskiluokituksen laitteita, mutta mikäli kustannukset alenevat ajan kuluessa, valvontaa kannattaa ulottaa laajemmalle. Seuraavissa kappaleissa on arvioita eri osa-alueiden potentiaalista kustannusten osalta

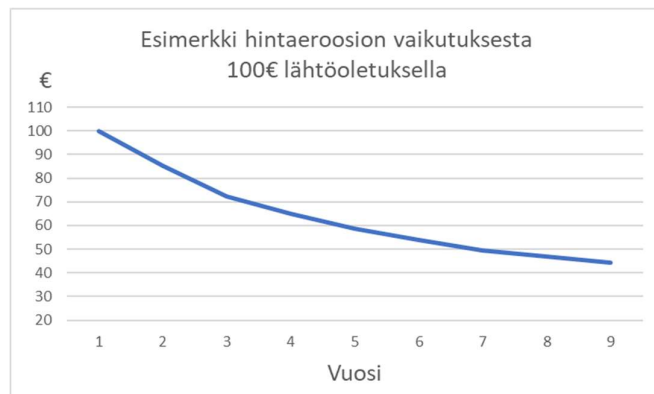


Tässä tutkimuksessa kohteena olevassa ratkaisun kanssa on hyvä huomata, että sen keskeisimmät (ja samalla kalleimmat) komponentit ovat kehitys- ja innovaatiokäyränsä alkutaipaleella. Ne ovat tulleet markkinoille vasta vähän aikaa sitten, n. vuoden sisällä. Niiden kehitys ja tuotantovolyymien kasvun voidaan olettaa olevan vasta lähdössä liikkeelle ja sen vuoksi myös hintakehitykselle voidaan olettaa rivakkaa laskua. Lämpökamerakomponentteja on ollut jo pitkään saatavilla mutta vasta viime aikoina on syntynyt uusi, kertaluokkaa edullisempien komponenttien kategoria. Alla esimerkkejä, joka kuvaa karkeasti eri osa-alueiden hintaeroosion suhteita.

Komponentti	Teknologian maturiteetti / hintaeroosion nopeus	Esimerkkejä
Lämpökamera	Matala – nopea eroosio	20%
Pitkän kantaman radiomoduli (LPWAN)	Matala – nopea	20%
Proessori	Korkea - keskinkertainen	14 %
Virrankäsittely	Korkea – hidas	3%
Paristo	Korkea – hidas	3%
Piirilevy, antenni ja muu elektroniikka	Korkea – hidas	3%
Kotelointi	Matala – nopea	10-30%
Kiinnikkeet	Matala - nopea	10-50

Kun arvioidaan tutkittavan ratkaisun laitteistokustannuksia, tämä näkökulma tulee ottaa huomioon. Massatuotannon kautta syntyvät edut vaikuttavat merkittävästi kokonaisuuteen ja vuosien aikana laitteiston hinnan voidaan olettaa putoavan merkittävästi. Alla olevassa taulukossa ja kaavioissa on esimerkki miten tämäntyyppinen hintaeroosio vaikuttaa esimerkiksi lähtöhinnaltaan 100€ arvoiseen laitteeseen. Esimerkistä on hyvä huomata, että se kuvaa laitteiston bill-of-material -hintaa eli komponenttikuluja ja siitä puuttuu esimerkiksi sen valmistajan kate.

Vuosi	Hintaeroosio %	Bill-of-material €
0	0%	100
1	15%	85
2	15%	72
3	10%	65
4	10%	59
5	8%	54
6	8%	50
7	5%	47
8	5%	44

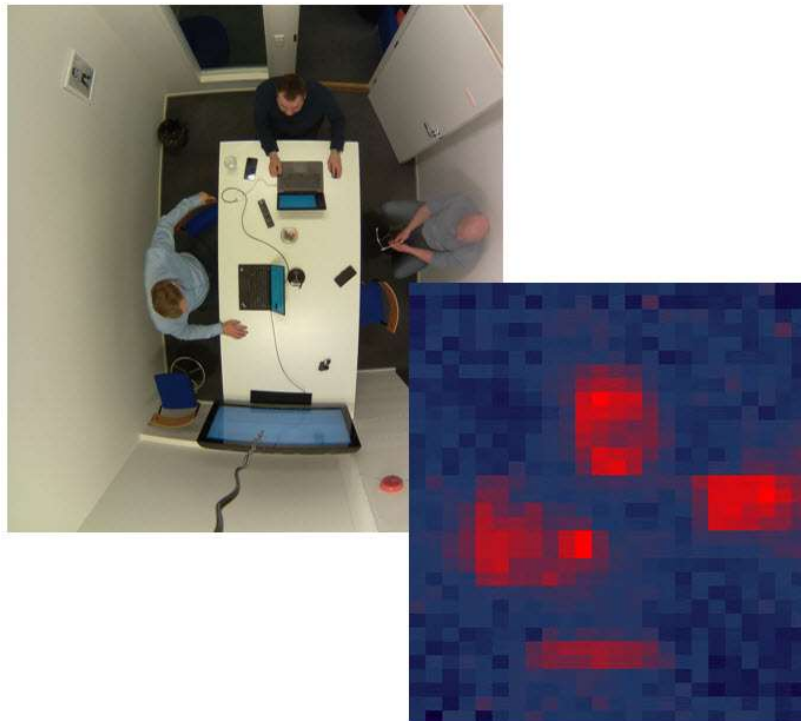


## 10.2 Keinoälyn mahdollisuudet

Viime vuosina keinoälyn ja koneoppimisen hyödyntäminen on lisääntynyt laajasti ja sitä voidaan suurella todennäköisyydellä hyödyntää myös tämänkaltaisissa sovelluksissa. Perinteisen laskennallisen analytiikan rinnalla voidaan käyttää neuroverkkoja ja muita vastaavia menetelmiä tuomaan lisää joustavuutta ratkaisujen toteuttamiseen. Toimintatapana tässä on kerätä mahdollisimman paljon mittaustuloksia halutusta käyttökohteesta ja sen perusteella rakentaa sovelluksia koneoppimisen keinoin.

Koneoppimisen avulla voidaan lämpökameradataa yhdistää muuhun tietoon, jota sähköverkkoyhtiöllä on saatavilla muiden järjestelmien kautta. Tänä päivänä etävalvontadataa on runsaasti saatavilla. Yhdessä uuden lämpödatan pohjalta voidaan luoda entistä parempia ennustemalleja ja tilannekuvaa. Eri lähteistä saatavan tiedon syy-seuraus-suhteita analysoimalla lopputulema voi olla arvokkaampaa kuin osatekijöidensä summa. Tällä alueella voidaan nähdä paljon mahdollisuuksia.

Lämpökameran mittaustuloksia voidaan hyödyntää myös entistä laajempaan kirjoon erilaisia sovelluksia. Erilaisten laitteiden lämpötilamuutosten lisäksi tällä tavalla voidaan järjestelmä opettaa tunnistamaan myös muunlaisia tapahtumia sähköasemilla. Lämpökameraa voisi hyödyntää esimerkiksi ihmisten tai eläinten tunnistamiseen ja siten estää vaaratilanteita tai turhia käyttökatkoksia. Alla olevassa kuvassa on esimerkki henkilöiden tuottamasta lämpöjäljestä neuvotteluhuoneessa. Sähköasemilla kamera voisi tunnistaa esimerkiksi muuntajan päällä liikkuvan oravan ja nopealla reagoinnilla voidaan estää oikosulku, käyttökatkos ja eläimen menehtyminen. Vastaavalla tavalla laitetoissa voidaan havaita esimerkiksi ovien aukiolo, luvattomat tunkeutumiset tai mahdolliset vesivuodot. Tällä tavoin jatkuvatoimisella lämpökuvaksella voidaan tuottaa myös alkuperäisen tavoitteen ulkopuolelta uudenlaisia hyötyjä.



Kuva: UnSeen Technologies ©



## 11 Käytännön havainnot

Hankkeen rinnalla tehtiin yhteistyötä Fingridin kanssa pilottihankkeiden muodossa. Kameralaitteita vietiin Fingridin sähköasemalle erilaisiin kohteisiin mittaamaan lämpötilamuutoksia. Edellä kuvattujen teknisten testien lisäksi tässä joitain päällimmäisiä huomioita käytännön testeistä.

- Kameran pystyivät mittaamaan yllättävänkin hyvin havaittuja kohteita ja lämpötilamuutoksia. Ratkaisussa on selvästi potentiaalia niin, että sitä kannattaa viedä eteenpäin.
- Ensivaiheessa prioriteettikohteiden valvonta on se kaikkein todennäköisin toimintamalli.
- Kattavaan valvontaan perustuva malli ja todennäköisyyksien laskenta tuo kustannustason auttamattoman alas ja se toimintamalli ei näytä järkevältä.
- Mahdollisia käyttökohteita tuntui löytyvän paljon ja niistä useimmin esiin nousseita on käyty edellä läpi. Näppituntuma on, että näiden kohteiden lisäksi on myös monta muuta uutta käyttökohdetta ja -tapaa, jotka tulevat esiin vasta kokeilujen kautta.
- Ratkaisu voi mahdollistaa uusien palvelumallien kehittämisen.
- Kehitetty asennustapa magneeteilla ja moninivelisillä kiinnikkeillä oli helppo ja kätevä. Kameran saatiin helposti haluttuun asentoon. Asennuksissa ei tarvittu erikoisjärjestelyitä kuten käyttökatkoja.
- Laitteet ja kamerakomponentit selviytyivät hyvin talven säistä ja pakkasista. Kylmimmillään oli yli -25C pakkasta. Kameran menivät lumituiskusta tukkoon pari kertaa, mutta suoja-aijalla näkyvyys palautui normaaliksi.
- Kokonaisuutena laitteen asentamisen toimintaprosessiin ei jalustaa lukuun ottamatta kiinnitetty tässä vaiheessa paljoa huomiota ja siihen on kehitettävissä kätevämpiä toimintatapoja.
- Fingrid näkee jatkuvatoimisen lämpökuvauksen yhtenä keinona tuottaa kuntodataa ylläpidon kokonaiskuvan parantamiseksi. Se on yksi mahdollinen työkalu, kun pyritään kohti todelliseen kuntoon perustuvaa ylläpitoa

### Jatkotutkimuskohteita

Jatkotutkimuskohteina nähdään selvitys siitä, minkälaisia vikaantumisia voidaan tunnistaa jatkuvatoimisella lämpökameralla. Onko joitain tiettytyyppisiä ongelmia, joihin ei ole muita käteviä tai taloudellisia keinoja ja lämpökamera voisi tuoda ratkaisevan lisätiedon. Peruslähtökohtana voi käyttää aikaisempia tutkimuksia manuaalisen lämpökuvauksen hyödyntämisestä mutta tätä tietoa voidaan täydentää käytännön kenttäkokeiden avulla. Näiden havaintojen perusteella voitaisiin paremmin arvioida vikojen havaittavuuden ja vältettävyyden todennäköisyyksiä.

Toinen mielenkiintoinen tutkimusalue on laitteiden pidempiaikaisen kenttäkäytön kautta saatavat käytännön opit siitä, miten ratkaisu toimii ja kuinka se sopeutuu sähköyhtiöiden jokapäiväiseen toimintaan. Tässä nousee esiin erityisesti käytännön asiantuntijoiden näkemykset ja ideat, joiden avulla käyttökohteita ja -menetelmiä voidaan tunnistaa. Lisäksi tässä työssä nousee esiin tarpeet laitteiden asentamisen helpottamiseksi ja nopeuttamiseksi. Tämän myötä saadaan tärkeää tietoa koko ratkaisun käytettävyydestä ja luotettavuudesta.

Lisäksi on hyödyllistä kerätä tarkempaa tietoa laitteistojen tarkkuudesta ja kyvystä tuottaa tarvittavaa tietoa mahdollisista todellisista ongelmatilanteista. Näiden kautta päästään tarkempaan, mitattuun tietoon valvonta- ja ylläpitokustannusten todellisista euromääräisistä muutoksista. Samalla kertyy tietoa säästöistä, joita jatkuvatoimisella valvonnalla on saavuttu.

Tekniseen tutkimustietoon osaltaan kuuluu laitteiston virrankulutuksen ja kuvanottomäärien mittaaminen. Tämän kautta saadaan ymmärrystä todellisista datatarpeista, jotka vastaavasti ohjaavat pidemmän aikavälin ratkaisusuunnittelua. Sen myötä ratkaisun laite- ja operointi kuluja voidaan painaa alemmalle tasolle käyttötarpeiden kärsimättä. Teknisiin tutkimuksiin liittyy myös ympäristöolosuhteiden suhteen tehtävä kattavat testit ratkaisun kestävydestä pitkällä tähtäimellä. Sen avulla voidaan löytää ideoita, jotka parantavat edelleen luotettavuutta ja alentavat kustannuksia.

## 12 Lähteet

Järviö, Piispa, Parantainen, Åström, "Kunnossapito", KP-Media Oy, 4. painos. Helsinki 2007. s

Piironen Mikko, "Sähköasemien kunnossapitoprosessin kehittäminen", Diplomityö Aalto-yliopisto, Espoo 2015,

Kuosa Daniel, Vika- ja kunnossapitotietojen hyödyntäminen suurjännitekytkentöjen kunnonhallinnassa, Diplomityö Teknillinen Korkeakoulu 2007