

Jere Aho

LÄMPÖKUVAUS PUIMURIN VIKOJEN ETSINNÄN TYÖKALUNA

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

2017

LÄMPÖKUVAUS PUIMURIN VIKOJEN ETSINNÄN TYÖKALUNA

Aho, Jere
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Automaatiotekniikan koulutusohjelma
Toukokuu 2017
Ohjaaja: Leino, Mirka
Sivumäärä: 40

Asiasanat: lämpökuvaus, leikkuupuimuri, Optris, konenäkö, koekäyttö

Opinnäytetyön tarkoituksena oli tutkia ja testata lämpökameran soveltuvuutta vikojen etsinnässä ja mahdollisten vikojen ilmoittamisesta puimurin koekäytön aikana, jotta Sampo-Rosenlew Oy voisi käyttää järjestelmää tulevaisuudessa vikojen löytämisen nopeuttamiseksi jo tehtaalla ja tämän kautta myös puimureiden laadun parantamiseksi.

Kuvattavana oli Sampo-Rosenlewin valmistamia C6- ja C10-mallin leikkuupuimureita. Leikkuupuimureista lämpökameralla tarkkailtiin laakereiden, hydraulikkaletkujen ja hihnojen lämpötiloja. Kuvauksia suoritettiin useasta eri suunnasta ja eri puolilta puimuria, jotta saatiin tutkittua useaa eri osaa puimurista ja löydettyä parhaat kuvauspaikat.

Kuvauksissa käytettiin Optris IP400-lämpökameraa ja kuvien analysointiin Optrisin IP Connect -ohjelmaa. Kerätystä datasta tehtiin Excelillä lukemista helpottavat taulukot ja diagrammit, joista on helpompi vertailla tuloksia.

Kuvauksista ei selvinnyt ainuttakaan puimuria, jonka olisi kuvien perusteella voinut todeta vialliseksi mutta kuvien avulla voidaan tulevaisuudessa seurata, jos kuvista näkyikin jotain, mikä aiheuttaisi puimurin ennenaikaisen vikaantumisen. Kuvien laadusta ja tarkkuudesta voi kuitenkin päätellä, että lämpökuvaus on luotettava tapa mitata leikkuupuimurin osien lämpötiloja ja järjestelmää voi mahdollisesti käyttää puimurin vikojen etsintään.

THERMAL IMAGING AS A TOOL FOR DETECTING FLAWS IN COMBINE HARVESTER

Aho, Jere

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Automation Engineering

May 2017

Supervisor: Leino Mirka

Number of pages: 40

Keywords: thermography, combine harvester, Optris, machine vision, test run

The purpose of this thesis was to test, if thermal imaging could be used in flaw detection of a combine harvester. The goal of this thesis was to determine if Sampo-Rosenlew Ltd could use thermal imaging in finding flaws while test-driving harvesters at the factory. That way they could improve their harvesters' quality.

With thermal imaging we monitored temperature of the combine harvester's bearings, hydraulic pipes and belts. Images were taken from Sampo-Rosenlew Ltd's C6 and C10 models. Thermal images were taken from many different directions and angles, to monitor different parts of the harvester and to find the best position to take the images.

The thermal camera that was used in this thesis was Optris IP400 and the images were analysed with Optris IP Connect software. Data was collected into charts with Excel, to make it easier to read and compare the results.

During this thesis, we couldn't find any harvesters that had any flaws shown in the images, but in the future Sampo-Rosenlew Ltd can use images to see, if there was something in the images that indicates the cause of early breakdowns. From the quality and accuracy of the images, this thesis concludes that thermal imaging is reliable way to measure the temperature of different parts in harvesters. And thermal imaging could be used in finding flaws in combine harvesters.

SISÄLLYS

1	ENSIMMÄINEN LUKU/ JOHDANTO.....	5
1.1	Työn taustat.....	5
1.2	Tavoitteet	5
2	LÄMPÖKUVAUS	6
2.1	Lämpökuvauksesta yleisesti.....	6
2.1.1	Perusteet	6
2.1.2	Emissio	7
2.1.3	Huomioitavaa.....	8
2.2	Lämpökamera	10
2.2.1	Historiaa	10
2.2.2	Tyypit	10
2.2.3	Käyttö	11
2.3	Optris.....	12
2.3.1	Optris PI400	12
2.3.2	Optris PI Connect.....	13
3	SAMPO-ROSENLEW	15
3.1	Tietoa.....	15
3.2	Leikkuupimurityypit	15
3.3	Koekäyttö.....	16
4	KUVAUKSET.....	18
4.1	Kuvaustilanne	18
4.2	Kuvattavat kohteet	20
5	ANALYSOINTI.....	23
5.1	Tulokset.....	23
5.2	Kuvien analysointi	32
5.2.1	Vertailu	36
5.3	Hinta-arvio	37
6	YHTEENVETO	38
	LÄHTEET.....	39

1 ENSIMMÄINEN LUKU/ JOHDANTO

1.1 Työn taustat

Tässä opinnäytetyössä tutkittiin ja testattiin lämpökuvauksen soveltuvuutta puimureiden vikojen etsintään jo tehtäällä suoritettavan koekäytön aikana.

Työssä suoritettiin kuvauksia usesta puimurista, joiden tuloksia verrattiin keskenään. Puimureita oli kahta eri mallia, C6 ja C10. Kuvauksia tehtiin useasta eri kulmasta ja eri puolelta puimuria, jotta saatiin tutkittua mahdollisimman useaa eri osaa puimurista. Kuvauksissa keskityttiin puimurin laakereiden, hydraulikkaletkujen ja hihnojen lämpötiloihin. Kun kuvauksia oli tehty tarpeeksi, tehtiin loppupäätelmät ja vertailut järjestelmän hyödyllisyydestä.

Työ aloitettiin tutustumalla laitteisiin, ohjelmiin ja puimureiden osiin. Kuvauksissa käytettiin Satakunnan ammattikorkeakoululta lainattua Optris IP400 -lämpökameraa. Optris PI connect -ohjelmaa käytettiin kuvauksiin ja kuvien analysointiin.

1.2 Tavoitteet

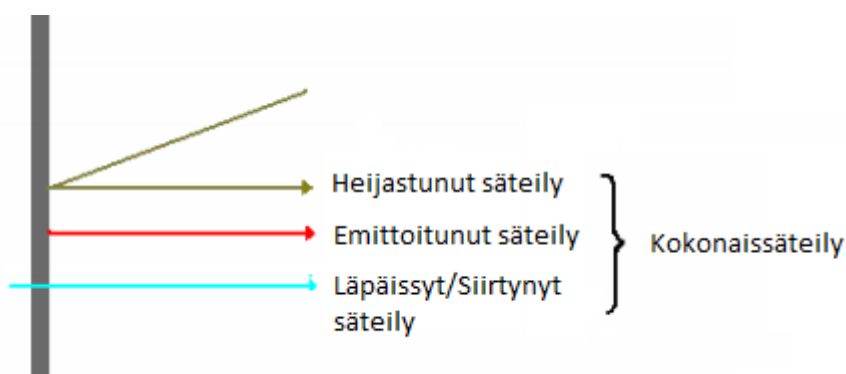
Työn tavoitteena oli suorittaa tarpeeksi kuvauksia, jotta saataisiin selville pystyisikö Sampo-Rosenlew Oy hyödyntämään lämpökuvausta tulevaisuudessa puimureiden vikojen löytämiseksi jo koekäytössä.

2 LÄMPÖKUVAUS

2.1 Lämpökuvauksesta yleisesti

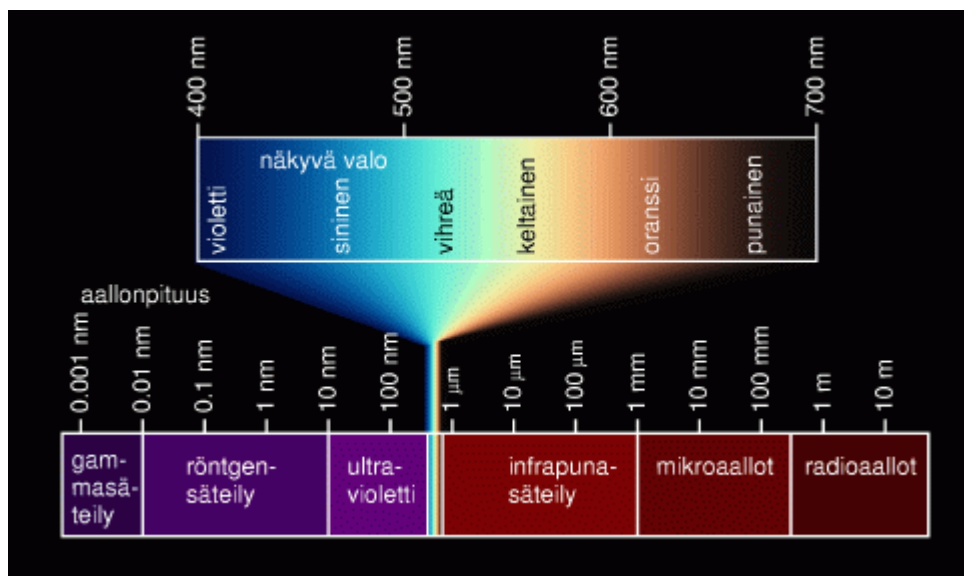
2.1.1 Perusteet

Lämpökuvaus perustuu pintojen emittoimaan eli lähettämään lämpösäteilyyn. Kaikki pinnat lähettävät säteilyä, mutta säteilyn voimakkuus riippuu pintalämpötilasta ja emissiokertoimesta. Lämpökameralla mitataan tutkittavasta pinnasta tullutta kokonaissäteilyä. Pää tarkoituksena on mitata pinnasta emittoituvaa säteilyä ja pinnan läpäissyttä säteilyä, mutta joissakin tilanteissa myös pinnasta heijastunutta säteilyä. Nämä kolme säteilyä muodostavat kokonaissäteilyn (Kuva 1). (Paloniitty 2004, 15-16)



Kuva 1. Kokonaissäteily, jota lämpökamera mittaa

Sähkömagneettinen säteily on jaettu seitsemään eri kaistaan: gammasäteily (aallonpituus alle 0.01nm = nanometriä), röntgensäteily (0.01 nm – 10 nm), ultravioletti (10 nm – 400 nm), näkyvä valo (400 nm – 700 nm), infrapunasäteily (700 nm – 1 mm = millimetri), mikroaallot (1 mm – 200 mm) ja radioaallot (+200 mm). Jokaista kaistaa koskee täysin samat fysiikan lait ja kaistojen ainoa ero toistensa kanssa on aallonpituus. Lämpökameralla mittaaminen tapahtuu infrapunasäteilyn aallonpituuksilla (Kuva 2). (Astro)



Kuva 2. Sähkömagneettisen säteilyn eri aallonpituusalueet

Lämpökameralla kuvatessa täytyy ottaa huomioon useita kuvaukseen vaikuttavia tekijöitä, jotka voivat vaikeuttaa kuvien tulkintaa tai pahimmassa tapauksessa jopa vääristää tuloksia. Opinnäytetyössä käydään myöhemmin tarkemmin läpi kuvauksiin vaikuttavat tekijöitä, jotka pitää huomioida, jotta saatava data on todenmukaista.

2.1.2 Emissio

Emissiolla eli emissiivisyydellä tarkoitetaan kappaleen luovuttamaa säteilyä tietyssä lämpötilassa suhteutettuna täydelliseen säteilijään eli mustaan kappaleeseen, jonka emissiivisyys on aina 1. Kaikkien kappaleiden emissiokerroin on arvolla 0-1. (Paloniitty 2011, 17-18)

Emissiokerroin saadaan laskettua kaavalla:

$$\frac{\text{Mitattu lämpötila}}{\text{Oikea lämpötila}} = \text{Emissiokerroin}$$

Emissiivisyyteen vaikuttavat neljä asiaa:

- Säteilyn aallonpituus
- Pintalämpötila
- Materiaali

- Kuvauskulma

Kun analysoidaan lämpökameralla otettuja kuvia ja jos halutaan saada absoluuttiset lämpötilat, niin tarvitsee kohteelle määrittää emissiokerroin. Jos kuvassa on monta kohdetta, joita halutaan tarkkailla, niin jokaiselle eri materiaalille tarvitsee määrittää oma emissiokerroin. Emissiokerroin voi vaihdella kiillotetusta alumiinista (0.05) ihmisen ihoon (0.99) (Taulukko 1). (Leino 2016)

Taulukko 1. Esimerkkejä eri materiaalien ja pintojen emissiokertoimista (VTT 2005)

Materiaali	Emissiokerroin (ϵ)
Teräs	0,35
Teräs (oksidoinut)	0,85
Ruostumaton teräs	0,30
Ruostumaton teräs (vähän oksidoinut)	0,40
Ruostumaton teräs (oksidoinut)	0,80
Kupari	0,06
Kupari (oksidoinut)	0,80
Alumiini	0,13
Alumiini (oksidoinut)	0,40
Tiili	0,85
Asfaltti	0,85
Iho	0,99
Vesi (syvyys yli 50 mm)	0,95
Puu	0,85

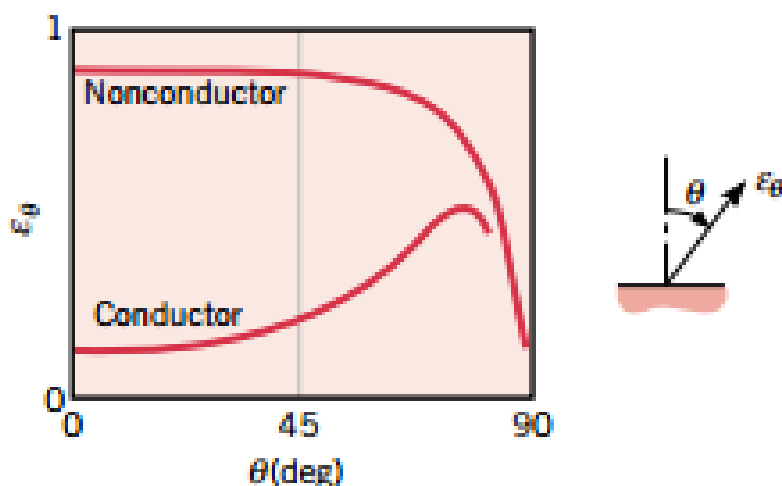
2.1.3 Huomioitavaa

Lämpökuvauksissa on useita tekijöitä, jotka tarvitsevat huomioida, jotta saadaan mahdollisimman tarkat ja oikeat kuvat analysointia varten. Jos näitä tekijöitä jättää huomioimatta, voi se johtaa tulosten tulkittamiseen vaikeutumiseen tai jopa niiden vääristymiseen. Suurimmat vaikuttavat tekijät ovat pinnan emissiivisyys, kuvauskulma pintaa kohden ja sää- ja sisäilmaolosuhteet ennen mittauksia sekä mittaushetkellä. (Paloniitty 2004, 18)

Varsinkin pinnan emissiokertoimen vaihtelu voi johtaa helposti vääristyneisiin tuloksiin. Tämän takia jokaiselle mitattavalle pinnalle tarvitsee määrittää oma emissiokerroin, jotta saadaan jokaisesta pinnasta absoluuttinen lämpötila. Myös kuvauskulma ja –etäisyys vaikuttavat paljon mittauksen lopputulokseen ja niiden tulkintaan. Jos kuvauskulma ei ole suoraan mittattavaan kappaleeseen kohden, niin

mittaus vääristyy aina sitä enemmän kun kulma suurenee. Eli kuvaukset pitäisi aina suorittaa melko kohtisuoraan kappaletta kohden ja mahdollisimman läheltä, että saadaan kaikki mitattavat kohteet mukaan ja kuvasta saadaan selvä. Kuvauksia ei kuitenkaan kannata tehdä aivan kohtisuoraan kappaletta kohden, koska silloin kuvaaja ja kamera saattavat aiheuttaa kuvaan lämpötilan vääristymää. (Leino 2016)

Kuvauskulman muuttuessa myös pinnan emissiivisyys muuttuu. Jos kohdetta ei kuvata kohtisuoraan vaan vinosta kulmasta, niin emissiivisyys laskee jopa materiaaleilla, joilla on korkea emissiokerroin. Ja samalla näennäisesti laskee myös pintalämpötila. Kuvauskulman kasvaessa yli 45° , alkavat taustan heijastukset vaikuttaa mittaustulokseen oleellisesti (Kuva 3). (Paloniitty 2011, 18-20)



Kuva 3. Kuvauskulman vaikutus emissiokertoimeen (Incropera 2007, 746)

Yksi tärkeä huomioitava on mahdolliset heijastumat. Heijastumaa ei aina näe paljaalla silmällä vaan heijastukset huomataan vasta kuvatessa. Heijastumat voivat johtaa virheisiin ja jos on mota kohdetta, joita mitataan, niin heijastukset voivat vaikeuttaa kuvien analysointia. Helpommin heijastuksen saa poistettua asettamalla eristävää materiaalia kuvauskohteen ja säteilyä heijastavan lähteen välille. Mutta jos eristävän materiaalin asettaminen kohteen lähelle on mahdotonta, on myös muita vaihtoehtoja heijastuksen poistamiseksi, kuten kuvaussuunnan ja etäisyyden muuttaminen. (Leino 2016)

2.2 Lämpökamera

Lämpökamera on lämpösäteilyn vastaanotin, joka mittaa kuvauskohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameran ilmaisimien muuttama kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti reaaliajassa. (Kuva 4) (Paloniitty 2004, 19).



Kuva 4. Kännykällä ja lämpökameralla otettu kuva samasta paikasta

2.2.1 Historiaa

Lämpökuvauksen periaatteen keksi 1840-luvulla John Herschel. Hän sai ensimmäisen kuvan haihduttamalla alkoholia hiilipäällysteiseltä pinnalta. Mutta lämpökamerat tulivat siviilimarkkinoille vasta 1960-luvulta alkaen. Vielä 1980-luvulle asti lämpökamerat olivat suuria, painavia ja erittäin kalliita, joten niiden käyttö oli paljon vaikeampaa (Paloniitty 2004, 15).

Lämpökameroiden kehitys on edistynyt suurin harppauksin 1990-luvulta eteenpäin. Suurimmat muutokset kameroissa ovat olleet kameroiden tarkkuuden ja kuvauskäsittelyominaisuuksien paraneminen sekä kehitys laitteen koossa ja painossa. Nämä tekijät ja myös hintatason laskeneminen ovat mahdollistaneet lämpökuvauksen käytön yleistymisen usealla eri alalla (Paloniitty 2004, 15).

2.2.2 Tyypit

Lämpökameroissa on yleisesti käytössä kahta eri tyyppistä matriisi-ilmaisinta (FPA), jäädytetty ja jäädyttämätön. Ja kameran tyyppi on huomioitava kuvauksia tehdessä,

jotta saadaan oikeat tulokset. Molemmilla tyypeillä on oma erikoisuus, joka sopii tilanteeseen toista paremmin. (Leino 2016)

Jäähdytetyissä matriisi-ilmaisimissa käytössä on yleisesti heliumkiertopumppu, jonka avulla saadaan toimintalämpötila noin -200°C , kun jäähdyttämättömillä vastaava on -40°C . Jäähdytetyillä on myös lyhyempi vasteaika ja tämän avulla voidaan kuvata nopeita lämpöilmiöitä. Jäähdyttämättömän matriisi-ilmaisemisen suurin hyöty on se, ettei niissä ole jatkuvasti liikkuvia mekaanisia osia, joten niitä voidaan käyttää ympärivuorokautiseen valvontaan. Mutta jäähdyttämättömillä lämpökameroilla tarvitsee olla tarkka kuvauksia aloittaessa, koska kameran täytyy olla vähintään 10 minuuttia kuvausympäristön lämpötilassa ennen kuvausten aloittamista. Tällä varmistetaan, että kameran ja ympäristön lämpötilaerot ovat mahdollisimman pienet eivätkä ne näin ollen vaikuta tuloksiin vääristävästi. (Leino 2016)

Nykyisin lämpökameroissa on jo enemmän käytössä kolmas eri tyyppinen ilmaisim. Se on nimeltään kvanttikaivodetektor ja tämän ilmaisimen avulla pystytään erottamaan jopa $0,02^{\circ}\text{C}$ erot lämpötilassa. (Leino 2016)

2.2.3 Käyttö

Lämpökuvauksen käyttö on yleistynyt yhä useammalle alalle ja monenlaiseen eri tarkoitukseen. Yleistymistä ovat vauhdittaneet lämpökameroiden hintojen laskeminen, käytön helpottuminen ja fyysisen koon pieneneminen. (Paloniitty 2004, 9)

Lämpökuvauksia on käytetty paljon sotateollisuudessa ja ihmisten pelastamisessa. Sotateollisuudessa lämpökameroiden käyttö on monipuolista, kuten etsimisessä, valvonnassa, ansojen havaitsemisessa ja ohjusten opastuksessa. Sotateollisuuden ulkopuolella lämpökameraa on käytetty pelastustehtävissä, kuten ihmisten etsinnässä ja rakennuspaloissa. Palomiehet ovat käyttäneet lämpökuvauksia mahdollisten avuntarvitsijoiden paikantamiseen ja seinien sisällä olevien tulipesäkkeiden löytämiseksi. (Leino 2016)

Muita käyttökohteita on lääketieteessä, teollisuudessa ja rakennuksilla. Näillä aloilla lämpökuvauksen käyttö vaihtelee erittäin paljon. Lääketieteessä lämpökameraa voidaan esimerkiksi käyttää mahdollisten tulehdusten löytämiseen, kun taas teollisuudessa lämpökuvasta käytetään analysointiin ja laadun valvontaan. Rakennuksilla lämpökameralla voidaan tutkia montaa erilaista asiaa, kuten lämmöneristeiden kuntoa, ulkovaipan vikoja ja puutteita, homevaurioita ja muita vaurioita. (Leino 2016)

2.3 Optris

Optris on peustettu Saksassa vuonna 2003. Optris on yksi johtavia yhtiöitä kontaktittomassa lämpötilan mittaamisessa, käyttäen infrapunäsäteilyä. (Optris www-sivut)

2.3.1 Optris PI400

Opinnäytetyössä käytetty lämpökamera on Optris PI400 (Kuva 5). PI400 on mallisarjansa pienin lämpökamera ja juuri pienen koon takia sen käyttäminen ja kuljettaminen on erittäin kätevää. PI400 pystyy kuvaamaan 80 Hertzin nopeudella ja resoluutio on 382 x 288 pikseliä ja lämpötilan mittausalue on $-20\text{ °C} - +900\text{ °C}$, mutta mittausalueen saa halutessaan laajennettua tilausvaiheessa myös alueelle $-20\text{ °C} - +1500\text{ °C}$. Tämä lisäksi mittausalueeseen tietenkin maksaa enemmän. Mittausalue on jaettu 3-4:ään osaan, joista voi valita tilanteeseen sopivimman alueen. Työssä käytettiin alhaisinta aluetta, joka on $-20\text{ °C} - +100\text{ °C}$. Tätä aluetta käytettiin siitä syystä että tiedettiin ettei lämpötilat tule nousemaan yli 100 °C :n, ja todellisuudessa tämän alueen maksimi on 124 °C , joten alue oli tähän työhön aivan riittävä. Tästä korkeammat lämpötilan alueet ovat: $0\text{ °C} - +250\text{ °C}$, $+150\text{ °C} - +900\text{ °C}$ ja lisäalueen hankkiessa viimeinen alue on $+200\text{ °C} - +1500\text{ °C}$. (Optris IP400 www-sivut)

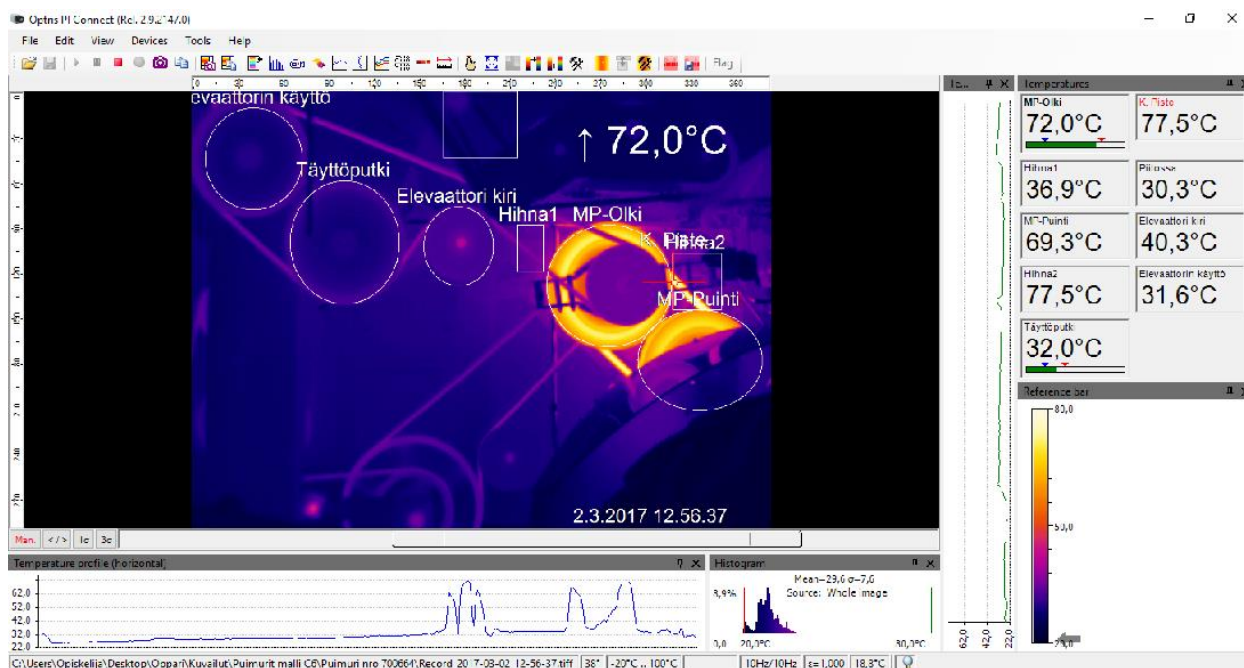


Kuva 5. Optris IP 400/IP 450-kamera

PI400:n käyttöön ei tarvita monimutkaisia laitteita vaan itse PI400-kameran lisäksi tarvitsee vain tietokoneen, johon on asennettu kameran kanssa sopiva ohjelma ja tässä työssä ohjelmana käytettiin Optris PI Connect -ohjelmaa. Kamera kytkettiin tietokoneeseen USB 2.0:n kautta, joten kameran kytkeminen on erittäin helppoa ja kamera saa myös USB:n kautta tarvitsemansa virran toimiakseen.

2.3.2 Optris PI Connect

Kuvien tallennukseen ja analysointiin opinnäytetyössä käytettiin Optris PI Connect –ohjelmaa (Kuva 6). Ohjelmassa on erittäin paljon erillaisia ominaisuuksia ja kuvauksiin saa asetettua halutun konfiguraation, jonka avulla saa tutkittua erillaisia kohteita erillisissä tiloissa ja olosuhteissa.



Kuva 6. PI Connect-ohjelma kuvattessa

Ennen kuvauksien aloitusta konfiguraatiossa valitaan miten dataa haluaa tallentaa. Vaihtoehtoina on videon tallennus tai kuvien ottaminen. Videon tallennuksessa saa asetettua ajan, kuinka kauan haluaa kuvaamista jatkaa. Ja videon tallennukselle vastaavasti on asetukset kuvien ottamiselle, eli saa määritettyä kuinka kauan ja kuinka usein kuvia otetaan. Tässä työssä asetuksina oli aina 2,5 minuutin välein otetaan kuvia ja 50 kuvaa otetaan, jolloin kuvauksen ajaksi tulee kaksi tuntia ja viisi minuuttia, mikä riitti joka kerta. Ja jos asetukseen laittaa liian pitkän keston niin kuvien ottamisen voi pysäyttää milloin vain. Konfiguraatiossa saa myös Measure areas -valikosta määrittää mittausalueita kiinnostaviin kohtiin. Alueita saa lisättyä ainakin yli 60 ja jokaiseen alueeseen saa määritettyä oman emissiokertoimen, nimen, muodon ja sen haluaako alueelta maksimi-, minimi- vai keskiarvotiedon lämpötilasta.

Kuvatessa asetuksia pystyy muuttamaan koska vain ja asetukset tulee heti käyttöön, kun asettaa ne ohjelmassa. Ohjelmassa on myös hälytystoiminto, jossa saa määritettyä jokaiselle erilliselle mittausalueelle omat raja-arvot.

Kuvien analysointi PI Connect -ohjelmalla on helppoa ja joustavaa. Kuvan konfiguraatiota voi muuttaa tallennetusta kuvasta, kun sitä analysoi. Kuvista voi muuttaa lämpötilaskaalaa, emissiokerrointa koko kuvalle tai jokaiselle tarkkailtavalle alueelle erikseen, lisätä uusia tarkkailualueita ja säätää montaa muuta asetusta tarpeen mukaan.

3 SAMPO-ROSENLEW

3.1 Tietoa

Sampo-Rosenlew Oy on perustettu vuonna 1991, mutta yritys on aloittanut toimintansa jo vuonna 1853 Porissa. Ennen vuotta 1991 yritys oli nimeltään Oy W. Rosenlew Ab ja se oli perheyritys. Yritys on toiminut samalla tontilla jo yli 150 vuotta vaikka nimi onkin vaihtunut vuosien aikana (Kuva 7). (Sampo-Rosenlew Oy 2013)



Kuva 7. Sampo-Rosenlewin tehdas Porissa

Leikkuupuimureita yritys alkoi valmistaa vuonna 1957. Ensimmäisen kuudenkymmenen vuoden aikana puimureita oli toimitettu yli 50 000 kappaletta 50 eri maahan. Keskeisimmät markkina-alueet ovat Pohjoismaat, Eurooppa, Pohjois-Afrikka ja IVY-maat. Yhtiöllä on kokoonpanotehtaita Suomessa ainoastaan Porissa, mutta sillä on kaksi tytäryhtiötä, Jyväskylässä Sampo Hydraulics Oy, joka on vaihtanut nimeksi Black Bruin Oy 21. marraskuuta 2016 ja Nakkilassa Sampo Components Oy, joka perustettiin vuonna 2005. Ulkomailla kokoonpanotehtaita sijaitsee Pohjois-Afrikassa ja Kazakstanissa. (Sampo-Rosenlew Oy 2013)

3.2 Leikkuupuimurityypit

Sampo-Rosenlew Oy myy kahden eri kokoluokan leikkuupuimureita. Molemmissa kokoluokissa on useampi vaihtoehto. Pienemmissä leikkuupuimureissa on kolme toisistaan poikkeavaa vaihtoehtoa Comia C4, C6 (Kuva 8) ja C8. Kuvattavana näistä malleista oli vain C6-mallin leikkuupuimureita. Erot näiden kolmen mallin välillä ovat pieniä ja suurimmat erot ovat vain hevosvoimien määrässä, leikkuupöydän leveydessä

ja viljasäiliön tilavuudessa, joissa C4 on pienin, kun taas C8 isoin. (Sampo-Rosenlew Oy C6, 2013)



Kuva 8. Comia C6-mallin leikkuupuimuri

Isomman kokoluokan leikkuupuimurimalleja Sampo-Rosenlew tarjoaa kahta eri vaihtoehtoa, Comia C10 (Kuva 9) ja C12. Näiden mallien erot löytyvät myös hevosvoimien määrässä, leikkuupöydän koossa ja viljasäiliön tilavuudessa. Kuvattavana näistä isommista puimurimalleista oli C10, eli pienempi kahdesta isommasta leikkuupuimurimallista. (Sampo-Rosenlew Oy C10, 2013)



Kuva 9. Comia C10-leikkuupuimuri

3.3 Koekäyttö

Sampo-rosenlew Oy suorittaa jokaiselle puimurille koekäytön, jolla varmistetaan, että tehtaalta lähtevä puimuri on toimiva ja käyttöön valmis. Koekäytössä on aina neljä henkilöä sitä suorittamassa, kaksi valmistelee puimurit koekäytön käyttö-osuudelle ja toiset kaksi suorittavat puimurin käytön ja tarkkailevat puimurin toimivuutta. Puimurit

ovat koekäyttö-tilassa noin neljä tuntia, josta puimuri on käynnissä on noin kaksi tuntia.

Aluksi puimuri valmistellaan koekäytön käyttöä varten, eli varmistetaan että puimurin käyttö täysillä kierroksilla on turvallista. Valmistelussa käydään läpi koneisto, polkimien nesteet ja sähkölaitteet. Jos jotain poikkeavaa löytyy ne korjataan joko heti tai merkitään puimurin tietoihin, jolloin koekäytön jälkeen poikkeavuudet korjataan. Yleensä korjaukset tehdään koekäytön jälkeen, jos ne eivät haittaa puimurin käynnissä olemista tai muiden toimintojen testausta.

Koekäytön käyttövaiheessa puimuria tarkkaillaan ja puimurin eri toimintoja testataan. Tarkkailussa on koneistossa hihnojen kireys ja hihnapyörien toiminta, eli varmistetaan että hihnat ovat kunnolla paikallaan eivätkä hankaa mihinkään. Jos koekäytön aikana huomataan jotain korjattavaa, niin se tehdään mahdollisuuden mukaan jo koekäytön aikana, mutta jos se ei ole mahdollista, niin korjaukset tehdään koekäytön loputtua, kun puimuri ei ole enää käynnissä.

4 KUVAUKSET

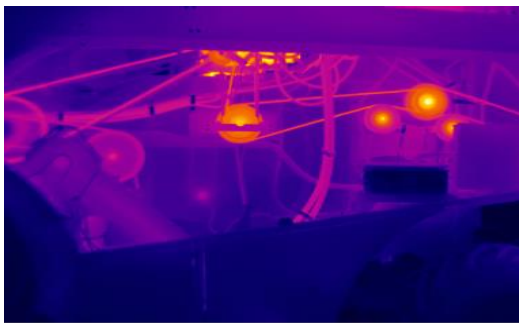
4.1 Kuvaustilanne

Kuvaukset suoritettiin Sampo-Rosenlewin tehtaalla olevassa koekäytön tilassa. Tilassa ei tehdä muuta kuin puimureiden koekäyttö ja sen valmistelut. Tila sopii hyvin lämpökuvaukseen koska tilan lämpötila ei vaihdellut ja puimuri ajetaan aina samaan kohtaan, joten kameraa ei tarvinnut liikuttaa lainkaan.

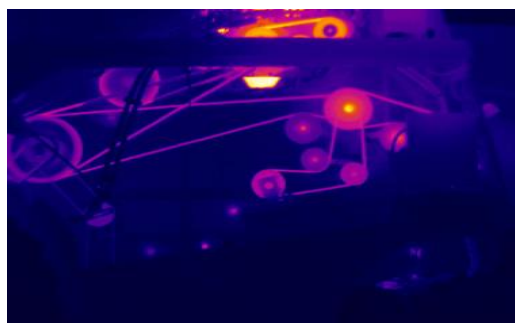
Lämpökuvausten aloitus oli joka kerta erittäin helppoa ja nopeaa, koska kamera oli aina kuvauspaikalla, joten ei tarvinnut odottaa että kameran ja kuvaustilan lämpötila on sama. Kuvausten aloituksessa ei tarvinnut kuin kytkeä kamera tietokoneeseen USB:n kautta ja avata käytettävä ohjelma (Optris PI Connect), joka haki automaattisesti kytketyn kameran. Kun kamera oli löytynyt, tarvitsi asettaa konfiguraatiot sopiviksi mutta ohjelmassa oli muistissa edellisen kuvauksen tai avatun kuvan konfiguraatio, joten konfiguraatioasetuksiin ei aina tarvinnut muuttaa mitään.

PI400-kameralla ja PI Connect -ohjelmalla pystyi valitsemaan, halutaanko kuvaus suorittaa kuvaamalla video vai ottamalla kuvia. Tässä työssä käytettiin datan tallennukseen kuvia. Koekäytön videokuvaaminen olisi ollut turhaa koska lämpötiloista ei tarvittu tietoa reaaliajassa, vaan lämpötilamuutoksia pystyi seuraamaan ottamalla kuva 2,5 minuutin välein. Ja videon tallentaminen reilun tunnin ajalta olisi täyttänyt tietokoneen muistin muutaman puimurin jälkeen.

Kuvauksissa pyrittiin saamaan tietoa monesta eri puimurin osasta, joten kameran paikka piti vaihtaa eri puolelle puimuria. Kuvia otettiin eniten takaapäin katsottuna puimurin vasemmasta kyljestä (Kuvat 10 ja 11). Tämä johtui siitä, että tällä puolella oli eniten Sampo-Rosenlewia kiinnostavia kohteita ja tältä puolelta saatiin parhaiten hyvää tietoa. Puimurin vasemmalla puolella oli kuvausten suorittamiseen hyvin tilaa, jotta saatiin koko kylki kuvaan, eikä kameran paikka häirinnyt puimuria tarkastavia työntekijöitä.

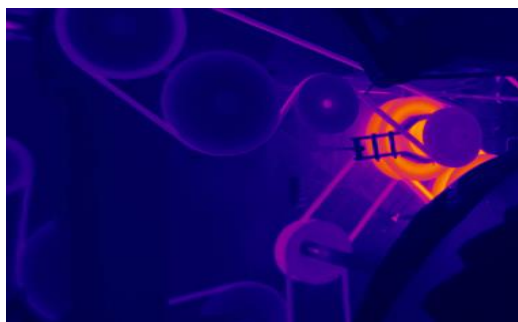


Kuva 10. Lämpökameralla otettu kuva C10-puimurin vasemmalta puolelta

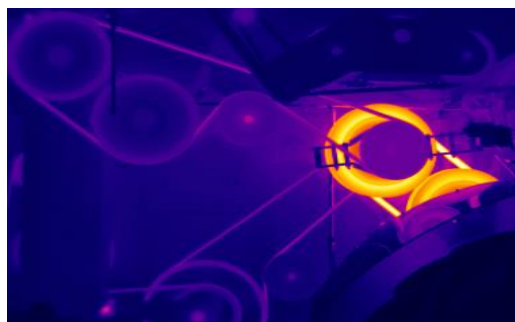


Kuva 11. C6-puimurin vasen kylki

Toisella puolella oli puimurin ja seinän välillä paljon vähemmän tilaa, jolloin kuvat otettiin erittäin läheltä puimuria ja kamera oli hiukan muiden työntekijöiden tiellä. Ongelmaa aiheutti myös osien sijainti, minkä takia kuvausta ei voinut suorittaa kohtisuoraan puimuria vastaan vaan hiukan viistosta, mikä aiheutti sen, että kuvat eivät olleet yhtä selviä kuin ne olisivat olleet, jos olisi kuvattu kohtisuoraan ja kuvat voivat vääristää lämpötiloja kuvauskulman takia (Kuvat 12 ja 13).



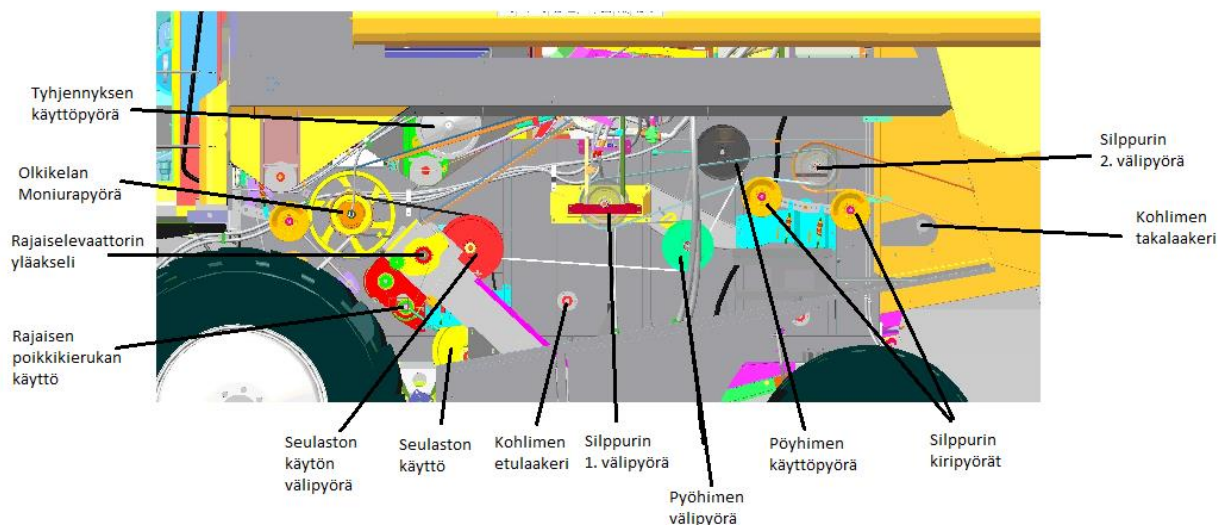
Kuva 12. Lämpökuva C10-puimurin oikealta puolelta



Kuva 13. C6-puimurin oikea kylki

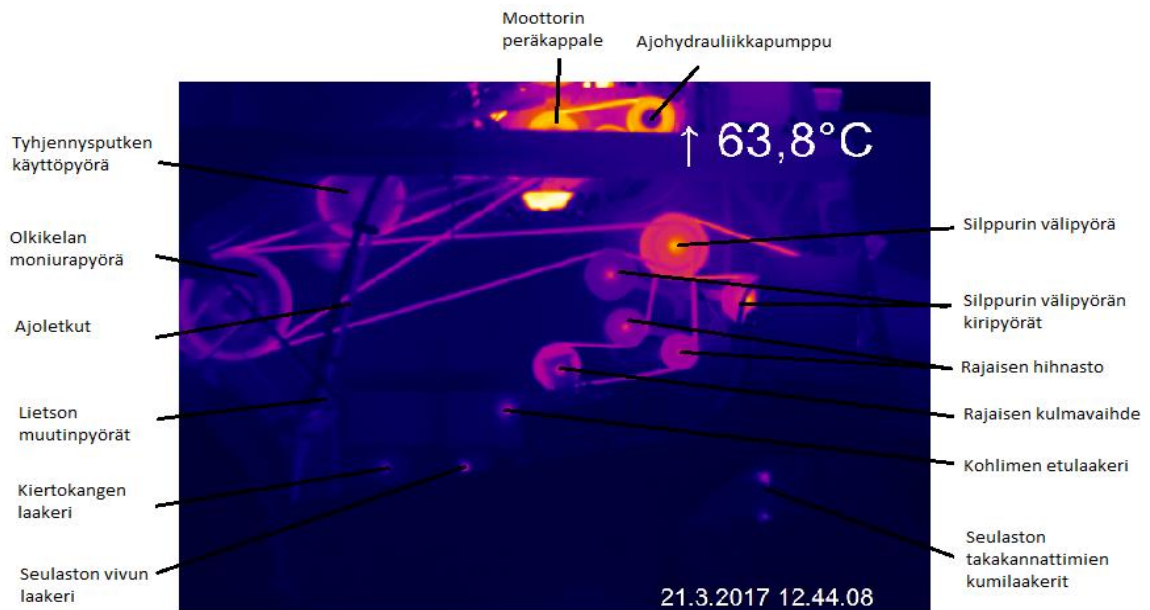
4.2 Kuvattavat kohteet

Kuvattavia kohteita, joiden lämpötiloja tarkkailtiin, oli puimureissa useita. Molemmissa malleissa varsinkin puimurin vasemmalla kyljellä oli useita kiinnostavia kohteita, kun taas oikealla puolella ei ollut niin montaa kuvattavaa kohdetta. Jotkin kohteet, kuten silppurin välipyörien laakerit, olivat tarkemmassa tarkkailussa kuin toiset kohteet. Tämä johtui siitä, että ne lämpenivät kaikista eniten, varsinkin silppurin 2. välipyörän laakeri.



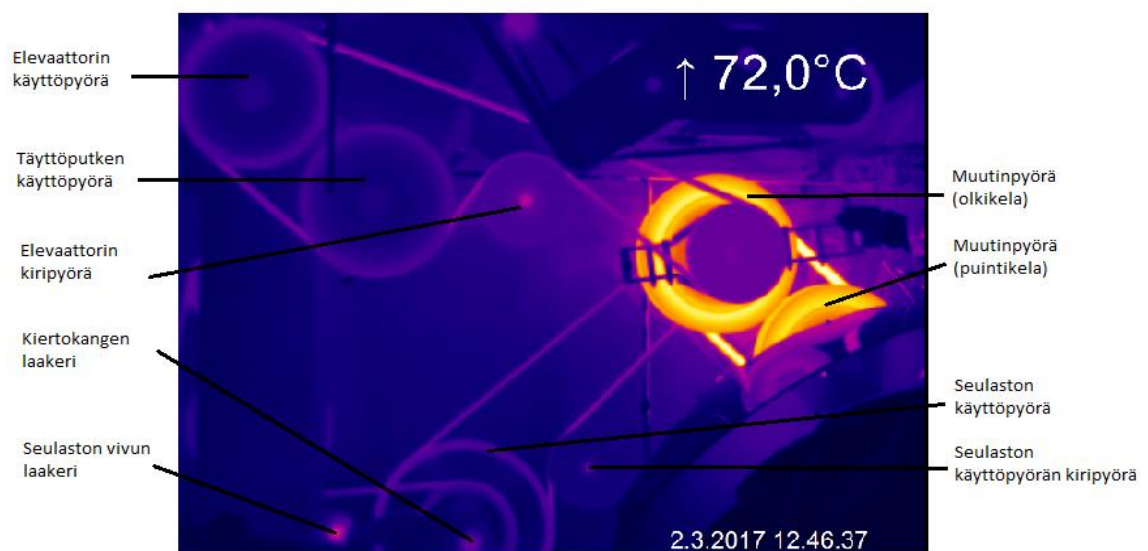
Kuva 14. C10-puimurin osat nimetty vasemmasta kyljestä (Muunnelma Sampo-Rosenlewin kuvasta)

Kuten kuvasta 14 näkyy, niin osia on useita, joten kaikkia ei tarkkailtu yhtä tarkasti. Tottakai kaikkien osien lämpöjä seurattiin kuvista ja niistä raportoitiin, jos oli jotain poikkeavuutta normaaliin, mutta pääasiassa keskityttiin muutamiin osiin kuten silppurin laakereihin ja niiden hihnapyörien välillä oleviin hihnoihin ja ajoletkuihin. Näiden osien lämpötiloista tehtiin myös taulukot ja lämpötilavertailuja.



Kuva 15. C6-puimurin vasemman kyljen osat nimetty

Pienemmässä C6-mallin puimurissa oli tarkkailussa enemmän osia kuin C10-mallissa vasemmassa kyljessä. C6-mallin vasemmalla kyljellä tarkkailussa olivat silppurin ja rajaisen laakerit, hihnat ja tällä mallilla näkyi myös moottoristosta ajohydrauliikkapumppu ja moottorin peräkappale (Kuva 15).



Kuva 16. C6-puimurin oikean kyljen osat nimetty

C6-mallin puimureiden oikean puolen kyljessä tarkkailtavana olkikelan ja puintikelan muutinpyörät ja niiden välillä oleva hihna. Muiden osien lämmöt pysyivät melko alhaisina, kuten kuvasta 16 näkee. Ja C6-mallin kuvauksissa otettiin tältä puolelta

puimuria vain loppulämpötila juuri ennen koekäytön lopetusta. C10-mallin oikeassa kyljessä oli muutama ero C6-malliin verrattuna, kuten lietsion muutinpyörät ovat C10-mallissa puimurin oikeassa kyljessä, kun C6-mallissa ne ovat vasemmalla puolella. Ja C10-mallissa seulaston käyttö on vasemmalla puolella puimuria, kuten näkyy kuvassa 14.

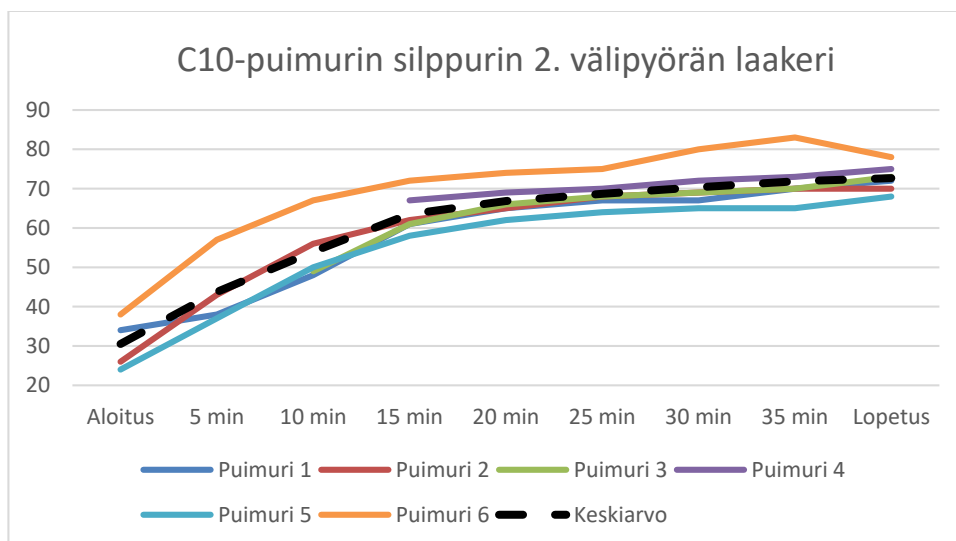
5 ANALYSOINTI

5.1 Tulokset

Taulukosta 2 näkyy C10-puimureiden silppurin 2. välipyörän laakerin lämpötilat koekäytön aikana ja kuviossa 1 näytetään lämpötilojen muutokset diagrammina.

Taulukko 2. C10-puimurin silppurin 2.välipyörän laakerin lämpötilat ajan mukaan

Silppurin 2. välipyörän laakeri							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	34°C	26°C	-	-	24°C	38°C	30,5°C
5 min	38°C	43°C	-	-	37°C	57°C	43,8°C
10 min	48°C	56°C	49°C	-	50°C	67°C	54,0°C
15 min	61°C	62°C	61°C	67°C	58°C	72°C	63,5°C
20 min	65°C	65°C	66°C	69°C	62°C	74°C	66,8°C
25 min	67°C	68°C	68°C	70°C	64°C	75°C	68,7°C
30 min	67°C	69°C	69°C	72°C	65°C	80°C	70,3°C
35 min	70°C	70°C	70°C	73°C	65°C	83°C	71,8°C
Lopetus	72°C	70°C	73°C	75°C	68°C	78°C	72,7°C

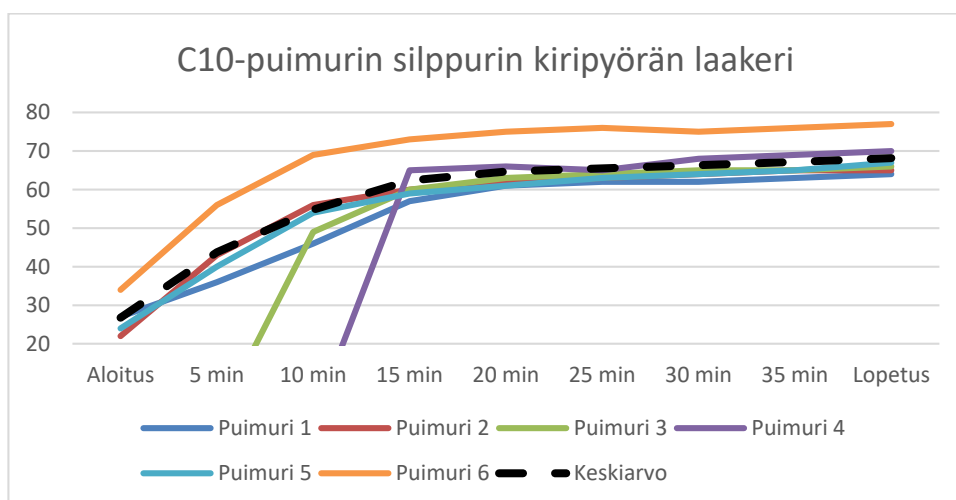


Kuvio 1. C10 –puimureiden silppurin 2. välipyörän laakerin lämpötilamuutokset

Seuraavasta taulukosta (Taulukko 3) näkyy C10-puimureiden silppurin kiripyörän laakereiden lämpötilat ja kuvioista (Kuvio 2) näkee muutokset diagrammina

Taulukko 3. C10 -puimurien silppurin kiripyörän laakereiden lämpötilat

Silppurin kiripyörän laakeri							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	27°C	22°C	-	-	24°C	34°C	26,8°C
5 min	36°C	43°C	-	-	40°C	56°C	43,8°C
10 min	46°C	56°C	49°C	-	54°C	69°C	54,8°C
15 min	57°C	60°C	60°C	65°C	59°C	73°C	62,3°C
20 min	61°C	62°C	63°C	66°C	61°C	75°C	64,7°C
25 min	62°C	63°C	64°C	65°C	63°C	76°C	65,5°C
30 min	62°C	64°C	65°C	68°C	64°C	75°C	66,3°C
35 min	63°C	65°C	65°C	69°C	65°C	76°C	67,2°C
Lopetus	64°C	65°C	66°C	70°C	67°C	77°C	68,2°C

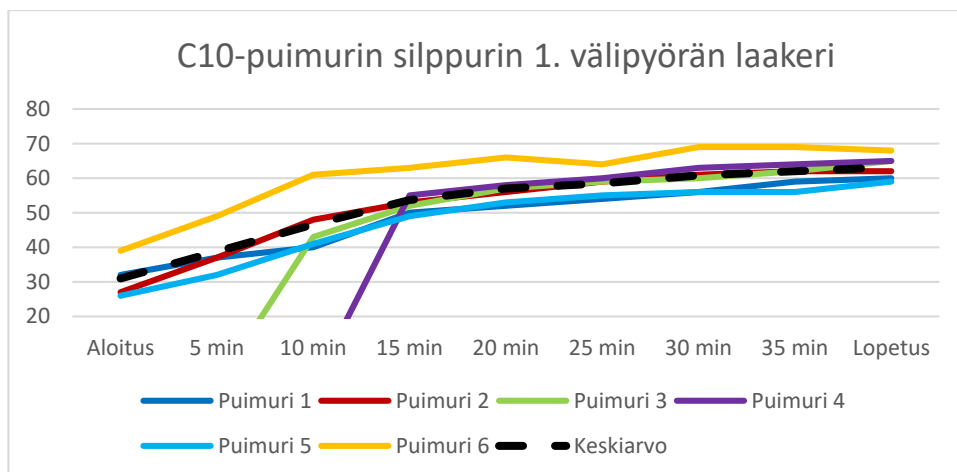


Kuvio 2. Silppurin kiripyörän laakereiden lämpötila muutokset C10-puimureilla

Taulukossa (Taulukko 4) näytetään C10-puimureiden silppurin 1. välipyörän laakereiden lämpötilat koekäytön eri vaiheissa. Ja kuviosta (Kuvio 3) näkee muutokset diagrammissa.

Taulukko 4. Silppurin 1. välipyörän laakerin lämpötilat C10-puimureista

Silppurin 1. välipyörän laakeri							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	32°C	27°C	-	-	26°C	39°C	31,0°C
5 min	37°C	37°C	-	-	32°C	49°C	38,8°C
10 min	40°C	48°C	43°C	-	41°C	61°C	46,6°C
15 min	50°C	53°C	52°C	55°C	49°C	63°C	53,7°C
20 min	52°C	56°C	57°C	58°C	53°C	66°C	57,0°C
25 min	54°C	59°C	59°C	60°C	55°C	64°C	58,5°C
30 min	56°C	61°C	60°C	63°C	56°C	69°C	60,8°C
35 min	59°C	62°C	62°C	64°C	56°C	69°C	62,0°C
Lopetus	60°C	62°C	65°C	65°C	59°C	68°C	63,2°C

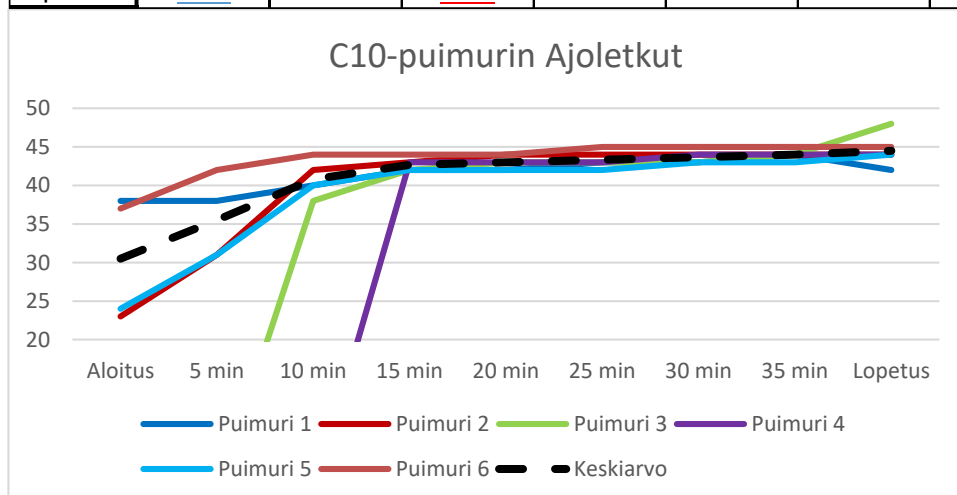


Kuvio 3. Diagrammi C10 –puimurien silppurin 1. välipyörän laakerin lämpötila muutoksista

C10-puimurien ajoletkujen lämpötilat koekäytön ajalta näkyy taulukossa 5 ja lämpötilan muutokset ovat näkyvillä kuviossa 4.

Taulukko 5. Ajoletkujen lämpötilat C10-puimureilla

Ajoletkut							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	38°C	23°C	-	-	24°C	37°C	30,5°C
5 min	38°C	31°C	-	-	31°C	42°C	35,5°C
10 min	40°C	42°C	38°C	-	40°C	44°C	40,8°C
15 min	42°C	43°C	42°C	43°C	42°C	44°C	42,7°C
20 min	42°C	44°C	43°C	43°C	42°C	44°C	43,0°C
25 min	43°C	44°C	43°C	43°C	42°C	45°C	43,3°C
30 min	43°C	44°C	43°C	44°C	43°C	45°C	43,7°C
35 min	44°C	44°C	44°C	44°C	43°C	45°C	44,0°C
Lopetus	42°C	44°C	48°C	44°C	44°C	45°C	44,5°C

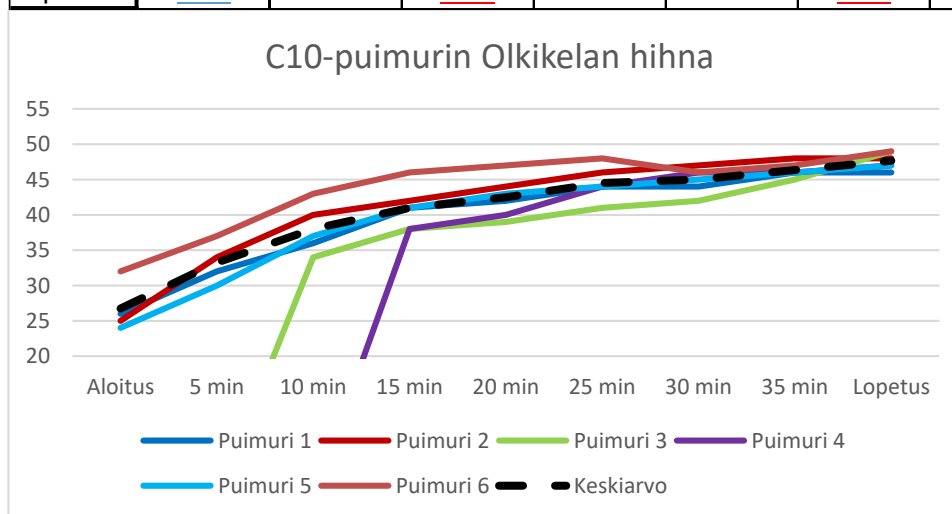


Kuvio 4. C10-puimurien ajoletkujen lämpötila muutokset viivadiagrammissa

Seuraavaksi esitetään C10-puimureiden olkikelan moniurapyörän hihnan lämpötilat (Taulukko 6) (Kuvio 5).

Taulukko 6. C10-puimureiden olkikelan moniurapyörän hihnan lämpötilat

Olkikelan hihna							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	26°C	25°C	-	-	24°C	32°C	26,8°C
5 min	32°C	34°C	-	-	30°C	37°C	33,3°C
10 min	36°C	40°C	34°C	-	37°C	43°C	38,0°C
15 min	41°C	42°C	38°C	38°C	41°C	46°C	41,0°C
20 min	42°C	44°C	39°C	40°C	43°C	47°C	42,5°C
25 min	44°C	46°C	41°C	44°C	44°C	48°C	44,5°C
30 min	44°C	47°C	42°C	46°C	45°C	46°C	45,0°C
35 min	46°C	48°C	45°C	46°C	46°C	47°C	46,3°C
Lopetus	46°C	48°C	49°C	47°C	47°C	49°C	47,7°C

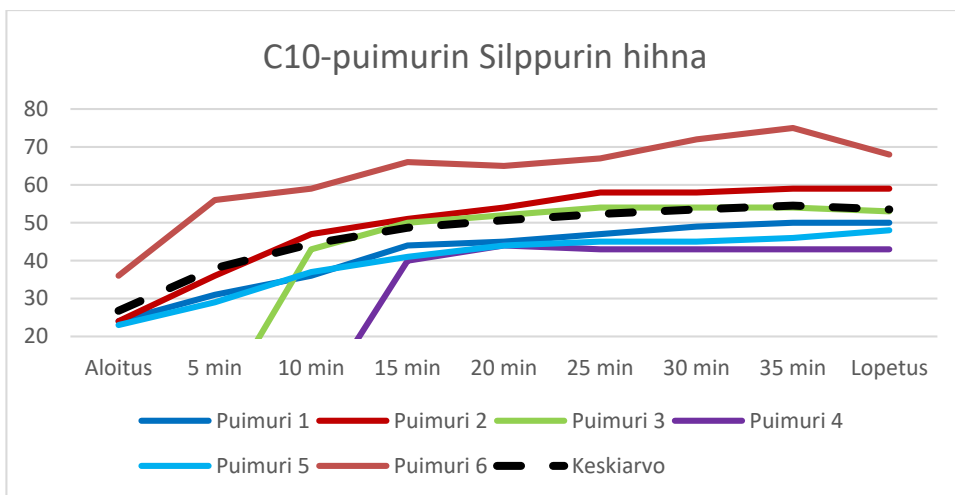


Kuvio 5. C10 –puimurien olkikelan moniurapyörän hihnan lämpötila muutokset

Taulukko 7 ja kuvio 6 osoittavat C10-puimurien silppurin hihnan lämpötilat koekäytön ajalta.

Taulukko 7. Silppurin hihnan lämpötilat C10-puimureissa

Silppurin hihna							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	24°C	24°C	-	-	23°C	36°C	26,8°C
5 min	31°C	36°C	-	-	29°C	56°C	38,0°C
10 min	36°C	47°C	43°C	-	37°C	59°C	44,4°C
15 min	44°C	51°C	50°C	40°C	41°C	66°C	48,7°C
20 min	45°C	54°C	52°C	44°C	44°C	65°C	50,7°C
25 min	47°C	58°C	54°C	43°C	45°C	67°C	52,3°C
30 min	49°C	58°C	54°C	47°C	45°C	72°C	53,5°C
35 min	50°C	59°C	54°C	50°C	46°C	75°C	54,5°C
Lopetus	50°C	59°C	53°C	51°C	48°C	68°C	53,5°C

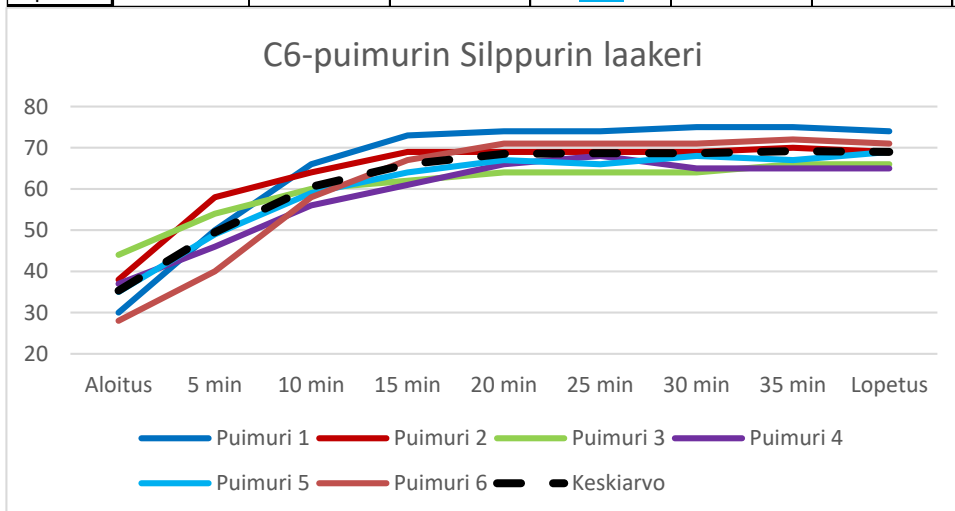


Kuvio 6. C10-puimurien silppurin hihnan lämpötilat viivadiagrammina

Seuraavasta taulukosta (Taulukko 8) näkee C6-puimurien silppurin laakereiden lämpötilat koekäytön eri vaiheilta. Ja kuvio 7 näyttää muutokset diagrammissa.

Taulukko 8. C6-puimureiden silppurin laakereiden lämpötilat

Silppurin laakeri							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	30°C	38°C	44°C	37°C	35°C	28°C	35,3°C
5 min	50°C	58°C	54°C	46°C	49°C	40°C	49,5°C
10 min	66°C	64°C	60°C	56°C	59°C	58°C	60,5°C
15 min	73°C	69°C	62°C	61°C	64°C	67°C	66,0°C
20 min	74°C	69°C	64°C	66°C	67°C	71°C	68,5°C
25 min	74°C	69°C	64°C	68°C	66°C	71°C	68,7°C
30 min	75°C	69°C	64°C	65°C	68°C	71°C	68,7°C
35 min	75°C	70°C	66°C	65°C	67°C	72°C	69,2°C
Lopetus	74°C	69°C	66°C	65°C	69°C	71°C	69,0°C



Kuvio 7. Silppurin laakerien lämpötilamuutokset C6-puimureilla

Taulukosta 9 näkee silppurin kiripyörien lämpötilat C6-puimureilla. Silppurin kiripyörien lämpötila muutoksista ei tehty diagrammia koska laakereita oli useita, joita on merkitty samaan taulukkoon.

Taulukko 9. Silppurin kiripyörien laakereiden lämpötilat C6-puimureissa

Silppurin kiripyörän laakeri						
Aika	Puimuri1	Puimuri2	Puimuri3	Puimuri4	Puimuri5	Puimuri6
Aloitus	27°C - 29°C	26°C - 27°C	36°C - 50°C	30°C - 34°C	27°C - 39°C	22°C - 24°C
5 min	38°C - 44°C	43°C - 44°C	43°C - 60°C	35°C - 42°C	35°C - 48°C	29°C - 32°C
10 min	45°C - 54°C	47°C - 47°C	46°C - 64°C	43°C - 54°C	43°C - 59°C	44°C - 46°C
15 min	48°C - 58°C	48°C - 49°C	48°C - 65°C	46°C - 61°C	46°C - 63°C	47°C - 50°C
20 min	48°C - 58°C	48°C - 50°C	49°C - 66°C	46°C - 63°C	47°C - 64°C	49°C - 51°C
25 min	49°C - 58°C	49°C - 51°C	50°C - 67°C	47°C - 66°C	48°C - 65°C	49°C - 51°C
30 min	49°C - 59°C	48°C - 51°C	50°C - 67°C	47°C - 65°C	48°C - 65°C	49°C - 51°C
35 min	49°C - 59°C	48°C - 51°C	50°C - 67°C	47°C - 65°C	48°C - 65°C	50°C - 51°C
Lopetus	50°C - 59°C	47°C - 52°C	51°C - 68°C	48°C - 65°C	49°C - 65°C	50°C - 51°C

Taulukko 10 osoittaa C6-puimurien rajaisen laakereiden lämpötilat koekäytössä.

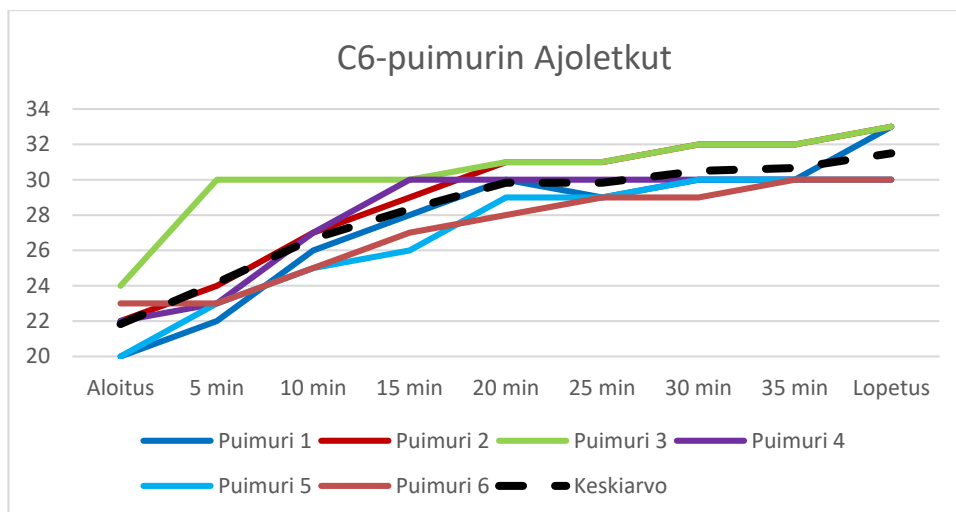
Taulukko 10. Lämpötilat C6-puimureiden rajaisen laakereissa

Rajaisen laakeri						
Aika	Puimuri1	Puimuri2	Puimuri3	Puimuri4	Puimuri5	Puimuri6
Aloitus	22°C - 24°C	22°C - 26°C	23°C - 35°C	23°C - 28°C	21°C - 27°C	20°C - 25°C
5 min	25°C - 32°C	28°C - 40°C	30°C - 42°C	25°C - 32°C	28°C - 35°C	25°C - 30°C
10 min	31°C - 41°C	33°C - 44°C	34°C - 45°C	30°C - 40°C	31°C - 41°C	29°C - 37°C
15 min	37°C - 45°C	36°C - 46°C	37°C - 47°C	34°C - 44°C	36°C - 44°C	34°C - 41°C
20 min	39°C - 46°C	38°C - 48°C	38°C - 48°C	36°C - 45°C	38°C - 46°C	37°C - 43°C
25 min	39°C - 46°C	40°C - 48°C	41°C - 49°C	38°C - 46°C	40°C - 47°C	39°C - 44°C
30 min	40°C - 46°C	40°C - 48°C	41°C - 49°C	39°C - 46°C	40°C - 47°C	40°C - 44°C
35 min	41°C - 47°C	41°C - 49°C	42°C - 50°C	39°C - 46°C	41°C - 47°C	41°C - 45°C
Lopetus	42°C - 47°C	43°C - 49°C	43°C - 51°C	40°C - 47°C	42°C - 47°C	42°C - 45°C

C6-puimureiden ajoletkujen lämpötilojen muutokset koekäytön aikana näkyy taulukossa 11 ja kuviossa 8.

Taulukko 11. C6-puimureiden ajoletkujen lämpötilat

Ajoletkut							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	20°C	22°C	24°C	22°C	20°C	23°C	21,8°C
5 min	22°C	24°C	30°C	23°C	23°C	23°C	24,2°C
10 min	26°C	27°C	30°C	27°C	25°C	25°C	26,7°C
15 min	28°C	29°C	30°C	30°C	26°C	27°C	28,3°C
20 min	30°C	31°C	31°C	30°C	29°C	28°C	29,8°C
25 min	29°C	31°C	31°C	30°C	29°C	29°C	29,8°C
30 min	30°C	32°C	32°C	30°C	30°C	29°C	30,5°C
35 min	30°C	32°C	32°C	30°C	30°C	30°C	30,7°C
Lopetus	33°C	33°C	33°C	30°C	30°C	30°C	31,5°C

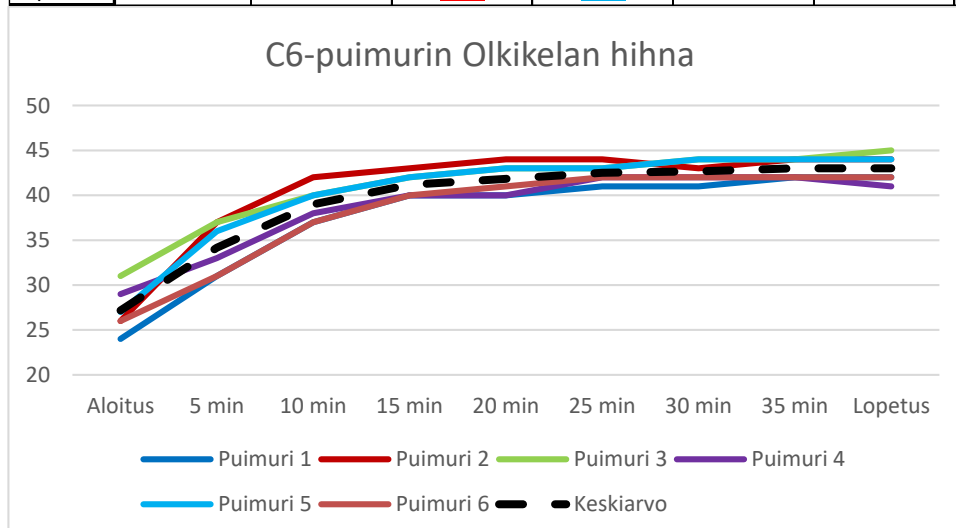


Kuvio 8. C6-puimureiden ajoletkujen lämpötilat

Seuraavasta taulukosta (Taulukko 12) ja kuviosta (Kuvio 9) näkee C6-puimurien olkikelan moniurapyörän hihnan lämpötilat.

Taulukko 12. Olkikelan moniurapyörän hihnan lämpötila C6-puimureissa

Olkikelan moniurapyörän hihna							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	24°C	26°C	31°C	29°C	27°C	26°C	27,2°C
5 min	31°C	37°C	37°C	33°C	36°C	31°C	34,2°C
10 min	37°C	42°C	40°C	38°C	40°C	37°C	39,0°C
15 min	40°C	43°C	42°C	40°C	42°C	40°C	41,2°C
20 min	40°C	44°C	43°C	40°C	43°C	41°C	41,8°C
25 min	41°C	44°C	43°C	42°C	43°C	42°C	42,5°C
30 min	41°C	43°C	44°C	42°C	44°C	42°C	42,7°C
35 min	42°C	44°C	44°C	42°C	44°C	42°C	43,0°C
Lopetus	42°C	44°C	45°C	41°C	44°C	42°C	43,0°C

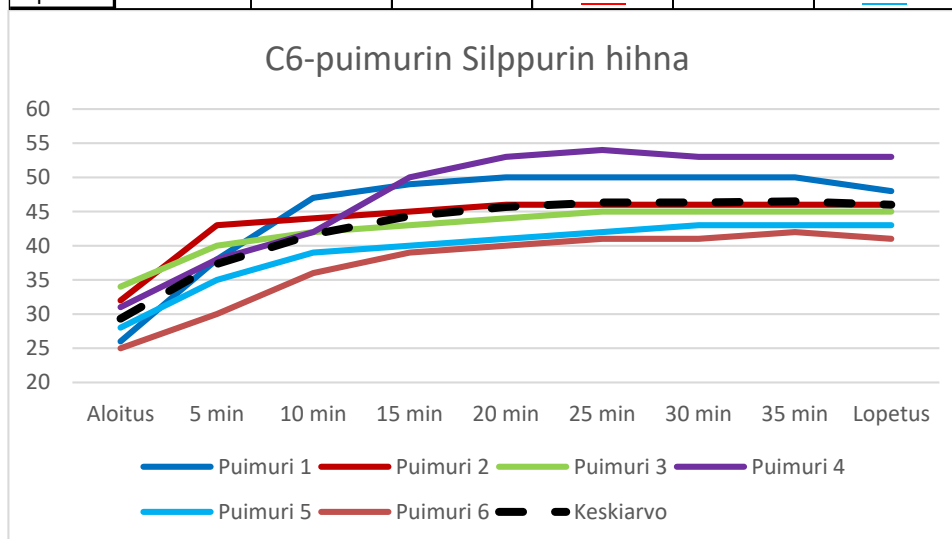


Kuvio 9. Olkikelan moniurapyörän hihnan lämpötila muutokset C6-puimureilla

C6-puimureiden silppurin hihnan lämpötilat näkyvät taulukosta 13 ja muutokset kuvattu viivadiagramminlla kuviossa 10.

Taulukko 13. Lämpötilat C6-puimurin silppurin hinnalla

Silppurin hihna							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	26°C	32°C	34°C	31°C	28°C	25°C	29,3°C
5 min	38°C	43°C	40°C	38°C	35°C	30°C	37,3°C
10 min	47°C	44°C	42°C	42°C	39°C	36°C	41,7°C
15 min	49°C	45°C	43°C	50°C	40°C	39°C	44,3°C
20 min	50°C	46°C	44°C	53°C	41°C	40°C	45,7°C
25 min	50°C	46°C	45°C	54°C	42°C	41°C	46,3°C
30 min	50°C	46°C	45°C	53°C	43°C	41°C	46,3°C
35 min	50°C	46°C	45°C	53°C	43°C	42°C	46,5°C
Lopetus	48°C	46°C	45°C	53°C	43°C	41°C	46,0°C

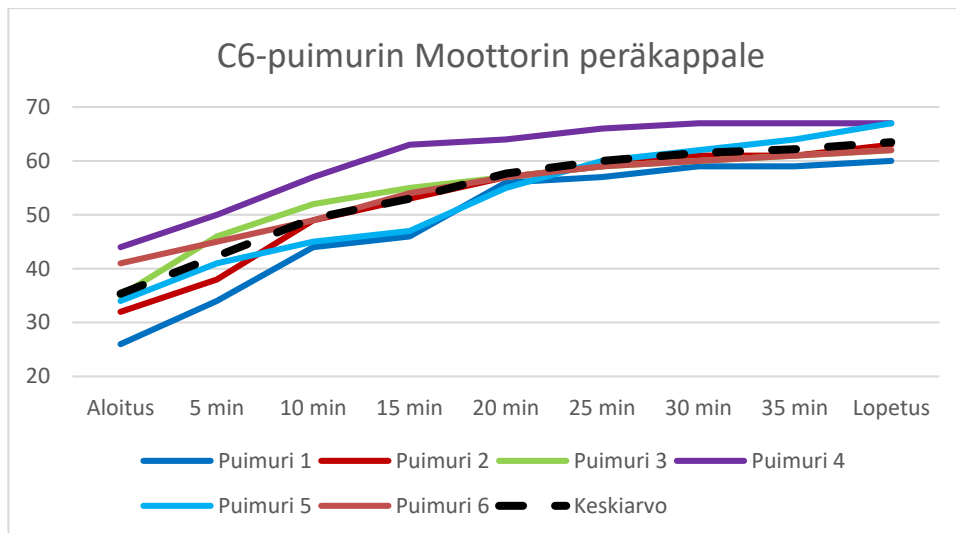


Kuvio 10. Silppurin hihnan lämpötila muutokset C6-puimureilla

C6-puimureista pystyi tarkkailemaan myös moottorin peräkappaleen lämpötilaa, tätä ei pystynyt tekemään C10-puimureilla, joissa se ei ollut näkyvässä (Taulukko 14) (Kuvio 11).

Taulukko 14. Moottorin peräkappaleen lämpötila C6-puimureissa

Moottorin peräkappale							
Aika	Puimuri 1	Puimuri 2	Puimuri 3	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	26°C	32°C	35°C	44°C	34°C	41°C	35,3°C
5 min	34°C	38°C	46°C	50°C	41°C	45°C	42,3°C
10 min	44°C	49°C	52°C	57°C	45°C	49°C	49,3°C
15 min	46°C	53°C	55°C	63°C	47°C	54°C	53,0°C
20 min	56°C	57°C	57°C	64°C	55°C	57°C	57,7°C
25 min	57°C	59°C	59°C	66°C	60°C	59°C	60,0°C
30 min	59°C	61°C	60°C	67°C	62°C	60°C	61,5°C
35 min	59°C	61°C	61°C	67°C	64°C	61°C	62,2°C
Lopetus	60°C	63°C	62°C	67°C	67°C	62°C	63,5°C

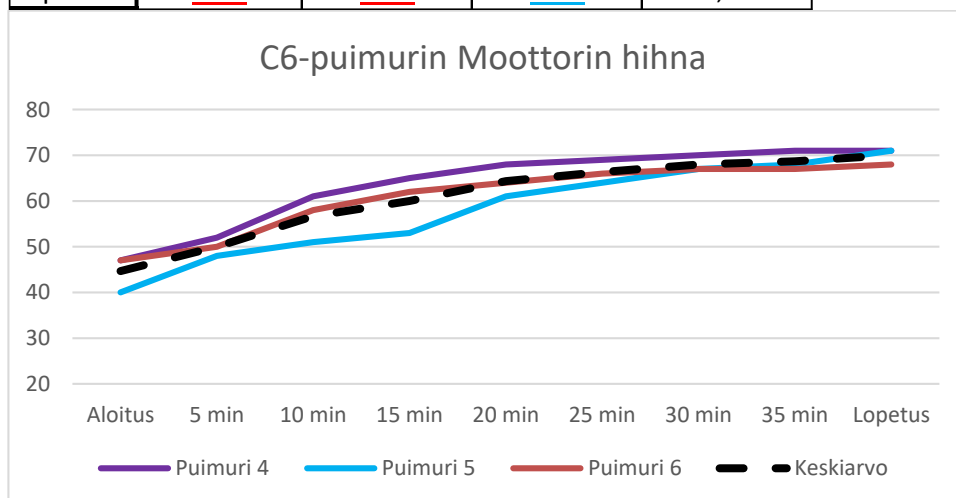


Kuvio 11. C6-puimureiden moottorin peräkappaleen lämpötila muutokset

Moottorin hihnaa pystyi tarkkailemaan vain kolmella C6-puimurilla, joilla se näkyi kuvissa (Taulukko 15) (Kuvio 12).

Taulukko 15. Kolmen C6 –puimurin moottorin hihnan lämpötilat

Moottorin hihna				
Aika	Puimuri 4	Puimuri 5	Puimuri 6	Keskiarvo
Aloitus	47°C	40°C	47°C	44,7°C
5 min	52°C	48°C	50°C	50,0°C
10 min	61°C	51°C	58°C	56,7°C
15 min	65°C	53°C	62°C	60,0°C
20 min	68°C	61°C	64°C	64,3°C
25 min	69°C	64°C	66°C	66,3°C
30 min	70°C	67°C	67°C	68,0°C
35 min	71°C	68°C	67°C	68,7°C
Lopetus	71°C	71°C	68°C	70,0°C

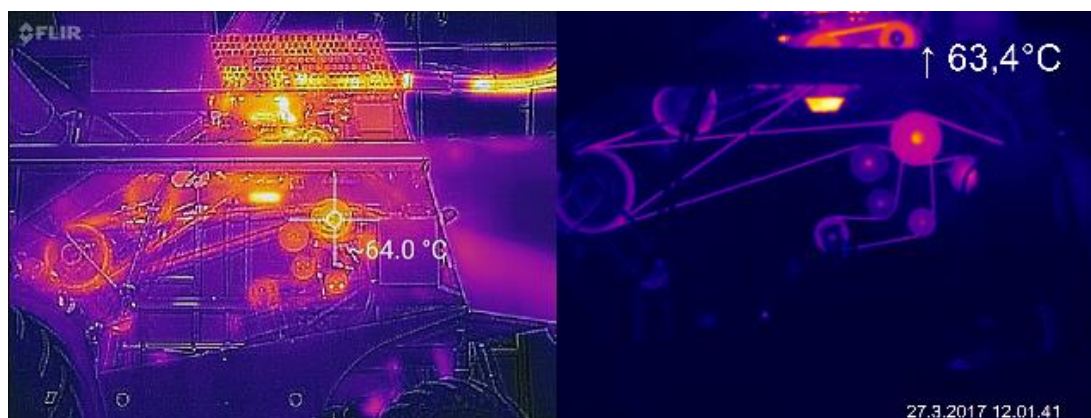


Kuvio 12. Kolmen C6-puimurin moottorin hihnan lämpötila muutokset

5.2 Kuvien analysointi

Lämpökuvauksia tehtiin yhteensä 15 puimurilla, 8 kpl C10-mallia ja 7 kpl C6-mallia, joten kuvia analysoitavaksi oli erittäin paljon kun koekäytöt kesti aina yli tunnin ja kuvia otettiin 2,5 minuutin välein. Kaikki kuvat käytiin läpi ja katsottiin löytyykö jotain poikkeavaa mutta tilastoihin lämpötilatietoja otettiin joka toisesta kuvasta eli aikaa kuvien välillä oli kulunut 5 minuuttia.

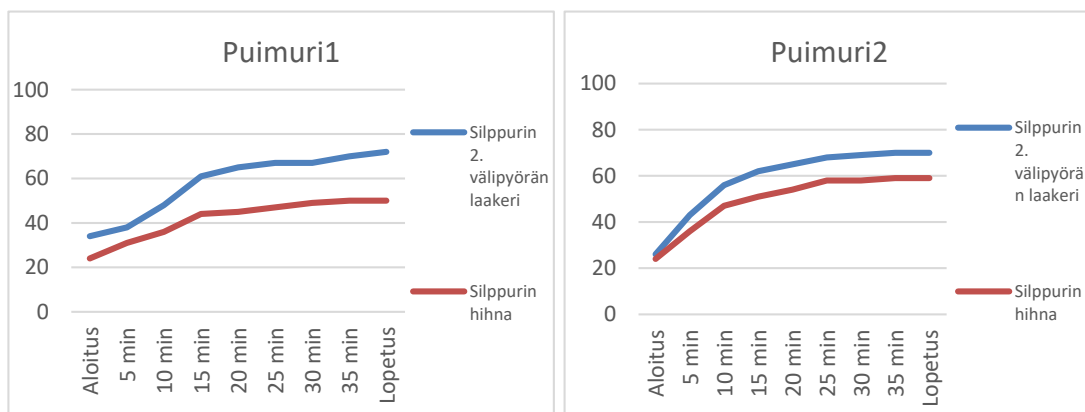
Kuvien analysointiin käytettiin PI Connect -ohjelmaa, jonka avulla pystyi katsomaan lämpötilan kuvan jokaisesta kohdasta ja ohjelma näytti itse määriteltujen mittausalueiden lämpötilan valmiiksi. Ja varsinkin ensimmäisten kuvien kanssa joutui analysoidessa säätämään asetuksia konfiguraatiosta, koska ne olivat virheellisiä. Kuvat olivat tarkkoja, joten kuvien analysointi oli helppoa. Kokeilussa oli myös FLIR ONE -kamera, joka liitettiin tablettiin, mutta sillä kuvat olivat vähän sekavia (Kuva 17). Asetukset IP 400:lla ovat paljon joustavammat kuin FLIR ONE:lla. Ero asetuksissa tulee emissiivisyyden ja lämpötila-alueen määrittämisessä, joita FLIR ONE-kameralla ei pysty määrittämään yhtä tarkasti kuin Optris PI400-kameralla, mikä vaikeuttaa selkeiden lämpötilaerojen näkemistä. Mutta Flir:llä otetusta kuvasta selviää osien lämpötilat, kunhan ei osat ole liian lähellä toisiaan. FLIR ONE:lla voi tietysti kuvata lähempää, jolloin tämä ongelma voidaan välttää.



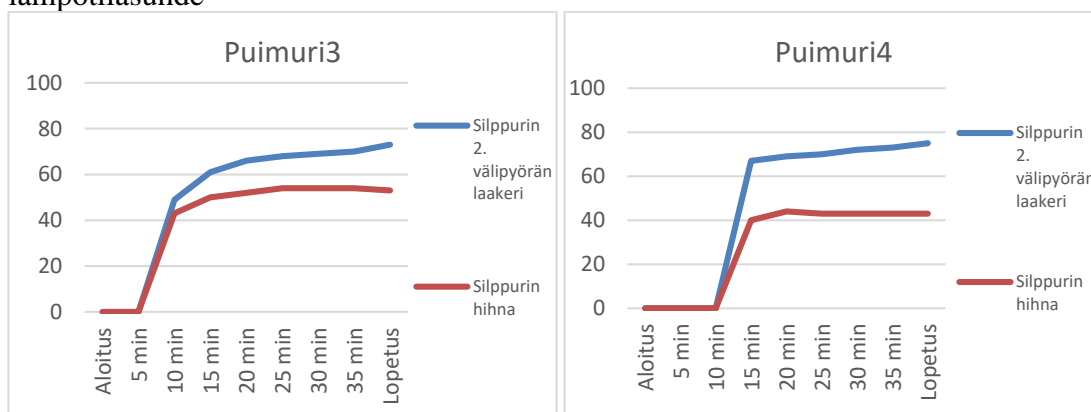
Kuva 17. Kuvat FLIR ONE:lla (vasen) ja IP400:lla (oikea) samalla hetkellä.

Data kerättiin taulukoihin Exceeliin, jotta vertailu ja arviointi olisi helpompaa. Taulukoista saa helposti katsottua lämpötilatietoja ja vertailtua puimureita keskenään. Taulukoihin on värimerkitty jokaisen mitattavan osan korkein (punaisella) ja matalin (sinisellä) lämpötila kaikkien saman mallin puimureiden kesken. Exceeliin tehtiin myös

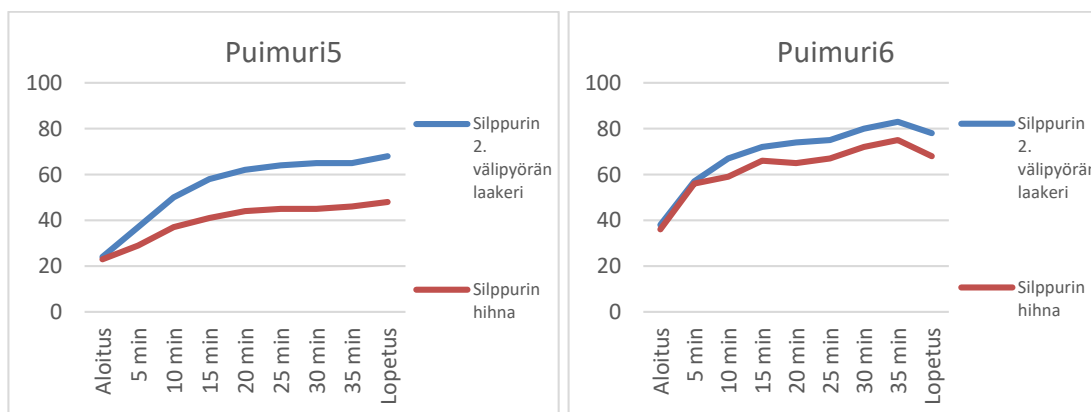
viivadiagrammi silppurin 2. välipyörän laakerin ja silppurin hihnan datasta, josta näkee suhteellisen lämpenemisen C10-puimureilla (Kuviot 13, 14, 15, 16, 17 ja 18).



Kuvio 13. ja 14. C10-puimureiden 1 ja 2 silppurin 2.välipyörän laakerin ja hihnan lämpötilasuhde

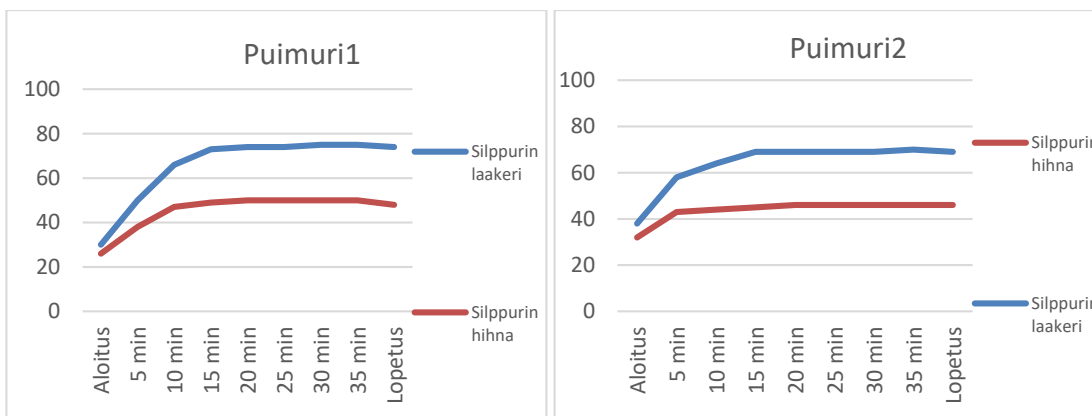


Kuvio 15. ja 16. Silppurin 2. välipyörän laakerin ja hihnan välinen lämpötila suhde C10-puimureilla 3 ja 4

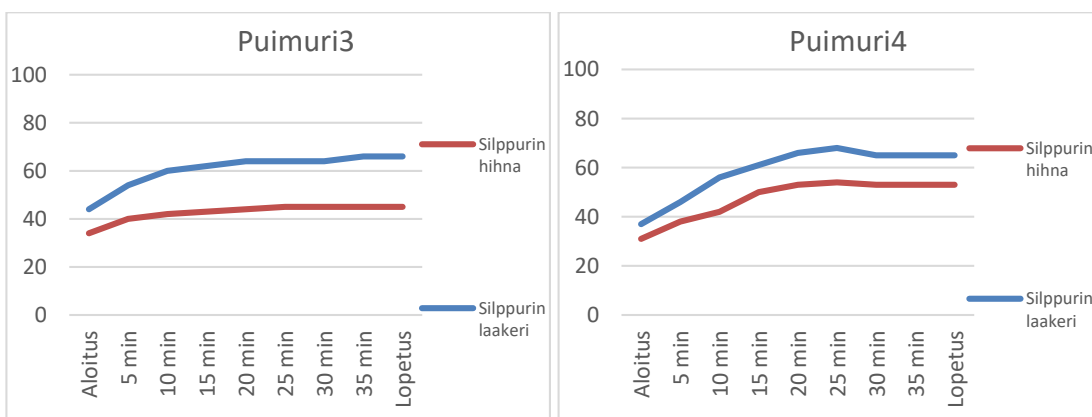


Kuvio 17. ja 18. C10-puimureiden 5 ja 6 lämpötilasuhde silppurin 2.välipyörän laakerin ja hihnan välillä

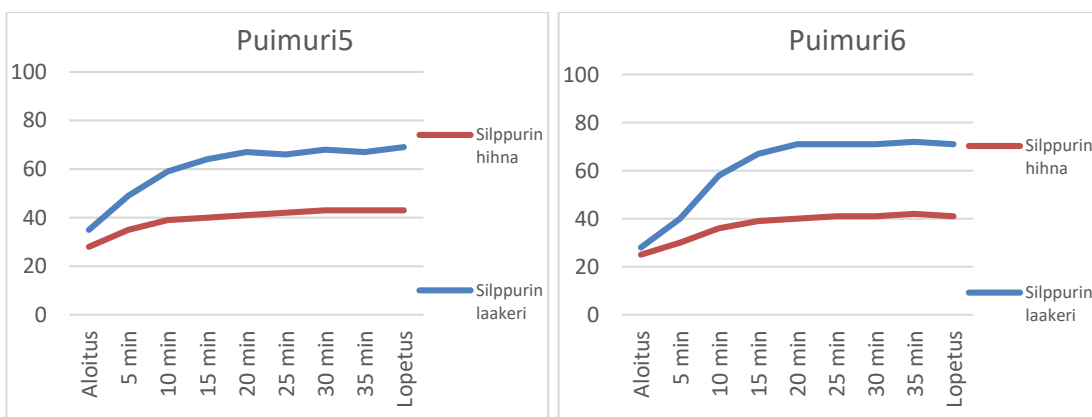
C6-puimureiden silppurin laakerin ja hihnan välisestä lämpötilasuhteesta tehtiin myös vastaavat diagrammit (Kuviot 19, 20, 21, 22, 23 ja 24).



Kuvio 19. ja 20. C6-puimureiden 1 ja 2 silppurin laakerin ja hihnan lämpösuhde

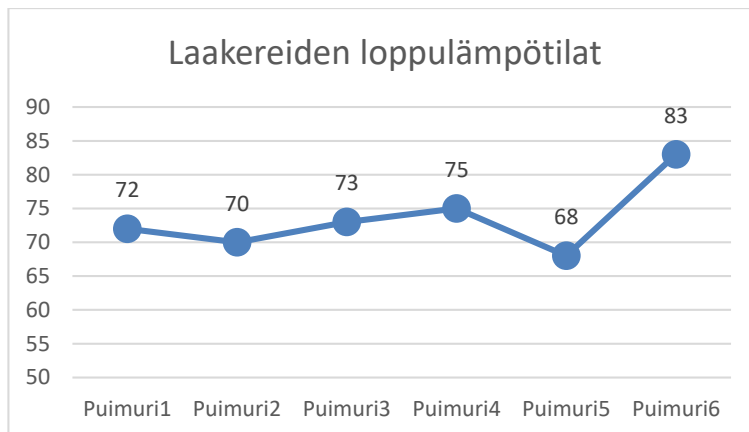


Kuvio 21. ja 22. Silppurin laakerin ja hihnan lämpösuhde C6-puimureilla 3 ja 4



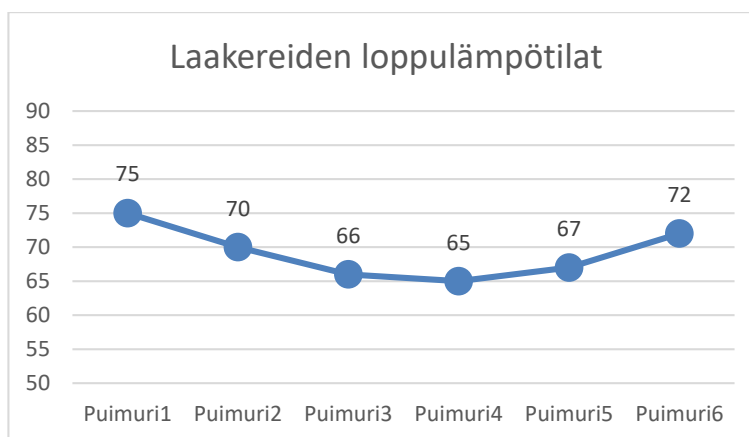
Kuvio 23. ja 24. C6-puimureiden 5 ja 6 lämpötilasuhde silppurin laakerin ja hihnan välillä

Kuvion 25. diagrammissa näkyy kaikkien C10-mallin puimureiden silppurin 2. välipyörän laakereiden loppulämpötilat.

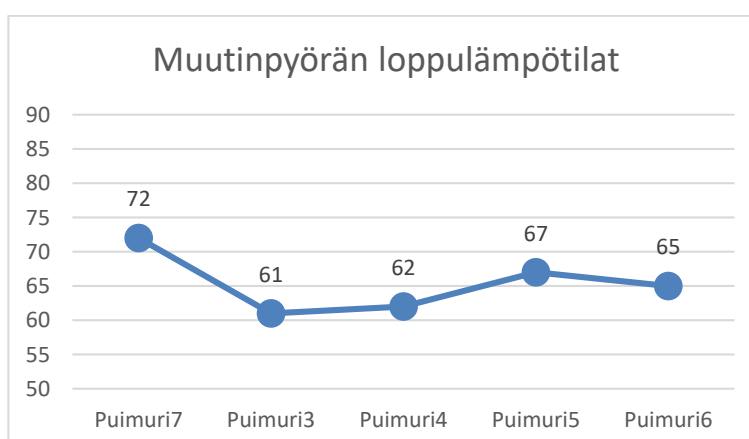


Kuvio 25. C10-puimureiden silppurin 2. välipyörän laakereiden loppulämpötilat

C6-puimureilla silppurin laakerin (Kuvio 26) ja muutinpyörän (Kuvio 27) loppulämpötiloista tehtiin myös omat diagrammit.



Kuvio 26. Diagrammi C6-puimureiden silppurin laakerin loppulämpötiloista



Kuvio 27. Diagrammi C6-puimureiden muutinpyörän loppulämpötiloista

5.2.1 Vertailu

Puimureiden välillä oli aina jonkin verran eroja osien lämpenemisessä ja loppulämpötiloissa, mutta erot pysyivät melko pieninä. Eroja lämpenemiseen aiheutti puimureiden aloituslämpötila, joka vaihteli puimureiden välillä paljonkin koekäytön valmistelussa tehtyjen käynnistysten takia. Joitakin puimureita käynnistettiin usean kerran, kun taas joitakin puimureita käynnistettiin kerran eikä pidetty käynnissä kuin hetken. Loppulämpötilaan aloituslämpötila ei näyttänyt vaikuttavan mitenkään, vaan usein loppulämpötilat vaihtelivat muutaman asteen.

Laakereissa ja hihnoissa oli välillä paljon eroa kuten excel-taulukoista näkee, esimerkiksi C10-mallin puimureissa silppurin 2. välipyörän laakerissa puimuri 5:n korkein lämpötila oli 68°C, joka oli alhaisin kaikilla C10-puimureilla ja puimuri 6:n vastaava lämpötila oli C10-puimureiden korkein 83°C (Taulukko 2). Tämä 15°C ero on paljon kun puimureille on tehty sama koekäyttö, toki puimuri 6:lla oli koekäytön valmistelussa jo pidetty puimuria käynnissä, mistä johtui korkea aloituslämpötila. Jos vertailusta jättää puimuri 6:n, niin silppurin 2. välipyörän laakerin loppulämpötilojen erot eivät ole kuin 7°C, joka ei enää ole iso ero. Ja sama tapahtuu jokaisen osan lämpötilavertailussa eli loppulämpötilojen erot ovat pieniä, jos ei huomioi puimuri 6:sta, jolla kaikki lämpötilat olivat erittäin korkeita. Puimurista 6 ei ainakaan vielä tehtaalla löydetty mitään selkeää vikaa, joka olisi johtanut korkeisiin lämpötiloihin.

C6-puimureissa ei löytynyt vastaavaa puimuria, jonka jokaisen osan lämpötilat olisivat olleet korkeampia. C6-puimureilla erot olivat paljon samaa luokkaa kuin C10-puimureilla. Loppulämpötiloissa erot olivat alle 10°C, joka on vähän korkea muttei mitään hälyttävää (Taulukko 8).

5.3 Hinta-arvio

Jos Sampo-Rosenlew aloittaa lämpökuvauksen käyttöä osana puimureiden koekäyttöä, niin heidän tarvitsee arvioida minkä tasoinen ja hintainen lämpökamera heidän kannattaa hankkia. Ja todennäköisesti tarvittaisiin kaksi lämpökameraa, jotta saadaan kuvattua puimurin molempia kylkiä eikä kuvaamiseen tarvitsisi työllistää erillistä työntekijää, vaan kamerat olisivat asennettu kiinteille telineille.

Opinnäytetyötä tehdessä käytössä oli Optringin PI400-kamera, jonka hinta on 4150 euroa ja hintaan sisältyy valittu optiikka ja PI Connect-ohjelma. Jos hankitaan kaksi lämpökameraa, niin hinta nousee yli 8000 euroon. Optringilta löytyy myös halvempi vaihtoehto PI160, jonka hinta on 2820 euroa ja hintaan sisältyy optiikka ja PI Connect-ohjelma. PI160:lla hinta jäisi noin 5500 euroon, joka on jo 2500 euroa halvempi kahdella kameralla kuin PI400. Ero näillä kahdella on kennon pikseleiden määrässä eli resoluutiossa ja kuvausnopeudessa. Mutta jos kuvaukset suorittaa pienemmällä välimatkalla puimuriin kuin opinnäytetyötä tehdessä, niin kuvat ovat todennäköisesti tarpeeksi tarkkoja. Riski PI160:n valinnassa on se, että kuvan laatua ei tiedä varmaksi, kun taas PI400 on jo testattu ja sillä tiedetään, että kuvat ovat hyviä.

6 YHTEENVETO

Lähtökohtana oli tutkia, saako lämpökuvauksella selville leikkuupuimurin vikoja koekäytön aikana. Tätä lähdettiin selvittämään keräämällä mahdollisimman paljon dataa, josta saisi tutkittua ,mitä puimurista lämpökameralla otetusta kuvasta selviää. Työllä selvitettiin voisiko Sampo-Rosenlew käyttää järjestelmää puimureiden laadun parantamiseksi, löytämällä vikoja, joita ihmisen silmällä ei näe.

Kuvauksia suoritettiin tammi-maaliskuussa yhteensä 15:llä eri puimurilla, joista saatiin vertailukelpoista dataa. Lämpökuvista näkee hyvin eri osien lämpötiloja, joiden avulla voidaan havaita osien mahdolliset ylikuumenemiset. Kuvauksissa ei selvästi saatu selville, että jokin puimureista olisi ollut viallinen, mutta Sampo-Rosenlewilla on kerätty data tallessa tulevaisuutta varten. Jos jokin puimureista vikaantuu enneaikaisesti, voidaan sitten katsoa, jos kuvista selviää jotain.

Lämpökuvauksen käytön hyödyllisyyden arvioiminen olisi helpompaa, jos kuvauksiin olisi saatu tarkoituksella viallinen puimuri koekäyttöön. Jos kuvattavaksi olisi saatu puimuri, joka olisi tiedetty vialliseksi, olisi kuvista pystynyt selvittämään, näkeekö viat lämpökameralla. Näillä kuvauskerroilla ei viallista puimuria saatu, joten täyttä varmuutta lämpökuvauksen käytön hyödyllisyydestä ei ole.

Tämä opinnäytetyö osoittaa, että lämpökuvasta voi käyttää luotettavasti leikkuupuimurin osien lämpötilojen mittaamisessa, jonka tuloksia voi pitkäaikaisella vertailutarkastelulla käyttää puimurin osien vikojen tunnistamisessa. Melko lyhyelläkin harjoittelulla koekäyttöhenkilöstö voisi oppia lämpökuvauksen käytännöt ja sitä kautta lämpökuvien ottamisesta tulisi yksi osa koekäyttöä. Näin mahdollisten vikatilanteiden tunnistaminen tulisi selkeäksi osaksi koekäyttöä ilman, että se tuottaisi merkittävää lisätyötä. Jos molemmilla puolilla puimuria olisi lämpökamera, joka ottaisi automaattisesti kuvat 2,5 minuutin välein koko koekäytön ajan, veisi niiden tarkastelu muutamia minutteja ja antaisi määrätyissä vikatilanteissa hälytyksen koekäyttöhenkilöstölle, jolloin voidaan heti tutkia mistä vikatilanne johtuu.

LÄHTEET

1. Paloniitty, S. 2004. Rakennuksen lämpökuvaus. Saarijärvi: Saarijärven Offset Oy
2. Paloniitty, S. & Kauppinen, T. 2011. Rakennusten lämpökuvaus. Porvoo: Bookwell Oy
3. Land Instruments International, 2004
http://www.lirkorea.com/Landinstruments.net%20Website/infrared/downloads/pdf/thermography_guide.pdf
4. Inmes. Principle of thermal imaging
<http://www.inmes.hr/pdf/thermography.pdf>
5. Incropera, F. Dewitt, D. Bergman, T. Lavine, A. 2007. Fundamentals of heat and mass transfer. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons
6. Astro. Viitattu 20.04.2017
<http://www.astro.utu.fi/zubi/radiat/elmag.htm>
7. VTT 2005. Viitattu 20.03.2017.
<http://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2005-J4.pdf>
8. Sampo-Rosenlew Oy. 2013. Viitattu 31.03.2017
<http://www.sampo-rosenlew.fi/fi/yritys/sampo-rosenlew-oy.html>
9. Sampo-Rosenlew Oy C6. 2013. Viitattu 31.3.2017
<http://www.sampo-rosenlew.fi/fi/tuotteet/leikkuupuimurit/comia-mallit/comia-mallit-.html>
10. Sampo-Rosenlew Oy C10. 2013. Viitattu 31.03.2017
<http://www.sampo-rosenlew.fi/fi/tuotteet/leikkuupuimurit/comia-c10-ja-c12/c10-ja-c12.html>

11. Optris www-sivut. Viitattu 15.04.2017
<http://www.optris.com/optris-gmbh>

12. Optris IP400 www-sivut. Viitattu 15.04.2017
<http://www.optris.com/thermal-imager-pi400>

13. Leino, M. 2016. Konenäkö. Luentomateriaali Satakunnan ammattikorkeakoulun automaatioalan koulutuksessa 7.11.2016