

Lämpökuvauksen  
hyödyntäminen  
ruiskuvaluprosessissa

LAHDEN  
AMMATTIKORKEAKOULU  
Tekniikan ala  
Muovitekniikka  
Opinnäytetyö  
Kevät 2016  
Teemu Ilola

Lahden ammattikorkeakoulu  
Koulutusohjelma

ILOLA, TEEMU:

Lämpökuvaksen hyödyntäminen  
ruiskuvaluprosessissa

Muovitekniikan opinnäytetyö, 26 sivua

Kevät 2016

TIIVISTELMÄ

---

Opinnäytetyössä tutkittiin ja pohdittiin lämpökuvauksen hyödyntämismahdollisuuksia ruiskuvaluprosessissa. Tarkoituksena oli löytää lämpökuvaukselle hyödyllisiä käyttömahdollisuuksia. Työ tehtiin Lahden ammattikorkeakoulun tekniikan laitokselle.

Opinnäytetyön teoreettisessa osiossa esitellään ruiskuvalu valmistusmenetelmänä, käydään läpi lämpökameran toimintaa sekä historiaa ja tutustutaan kokeellisessa osiossa käytettyyn materiaaliin. Kokeellisessa osuudessa lämpökuvattiin ruiskuvalukappaletta, analysointiin ja käsiteltiin lämpökuvia sekä tutkittiin kappaleen jäähtymistä.

Työssä todetaan lämpötiloja käyttävän ruiskuvalun olevan valmistusmenetelmä, jonka tutkimisessa voidaan hyödyntää tänä päivänä edullista ja helppokäyttöistä lämpökuvauksista monipuolisesti. Massan lämpötila, kappaleen jäähtyminen, muotin lämpötila ja koneen kunnossapito vaikuttavat kaikki kappaleen syntymiseen, laatuun ja ominaisuuksiin. Opinnäytetyön tutkimusten ja tulosten avulla pääteltiin, että lämpökuvauksista voisi hyödyntää ruiskuvaluprosessin tutkimisessa nykyistä laajemminkin.

Asiasanat: lämpökamera, lämpökuvauksista, ruiskuvalu

Lahti University of Applied Sciences  
Degree Programme in Plastics Engineering

ILOLA, TEEMU:

The usability of thermal imaging in  
injection molding

Bachelor's Thesis in Plastics Engineering, 26 pages

Spring 2016

ABSTRACT

---

In this Bachelor's thesis the goal was to study the possibilities of using thermal imaging in injection molding. The purpose was to find useful ways to use thermal imaging. The Thesis was done for Lahti University of Applied Sciences.

In the theoretical part of the, thesis injection molding is presented as a manufacturing process. The thesis introduces the function and history of the thermal camera, as well as the material used in the empirical part. In the experimental part, thermal images of the injection molding product were taken. The Experimental part deals with the analyzing and processing of the images, and the cooling of the product is also covered.

Injection molding, which uses a lot of temperatures, is a manufacturing process which can be inspected with today's inexpensive thermal imaging. The Temperature of the mass, the cooling of the product and the maintenance of the machine all affect the product's properties and quality. The research and results of the thesis show that thermal imaging could be more widely used as a research method in injection molding.

Key words: thermal imaging, thermal camera, injection molding

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO	4
2	LÄMPÖKUVAUKSEN TEORIAA	5
2.1	Lämpösäteily ja infrapuna	5
2.2	Lämpökuvauksen historiaa	6
2.3	Emissiivisyys	6
2.4	Lämpökameran toiminta	7
3	RUISKUVALU	9
4	KOKEELLINEN OSUUS	11
4.1	Polypropeeni	12
4.2	Lämpökamerakuvat polypropeenisauvasta	12
4.3	Kuvien käsittely	15
4.4	Kuvien analysointi	17
5	LÄMPÖKUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RUISKUVALUPROSESSISSA	19
5.1	Massan lämpötilan tutkiminen	19
5.2	Jäähdytymisen tutkiminen	20
5.3	Muotin tutkiminen	21
5.4	Kunnossapito	22
5.4.1	Lämpökameran käyttö kunnossapidon yhteydessä	22
5.4.2	Tarkastuksen tekeminen	23
6	YHTEENVETO	25
	LÄHTEET	26

## 1 JOHDANTO

Lämpökameroiden kehitys ja helpompi käytettävyys on yleistänyt lämpökuvauksen käyttöä teollisuudessa yhä laajemmin. Uusia käyttökohteita etsitään jatkuvasti, ja tutkittavaa lämpökuvauksen saralla riittää. Lämpökuvaukseen voidaan pitää tarkkana, nopeana ja nykyään myös edullisena tutkimusvaihtoehtona.

Opinnäytetyö on jaettu teoreettiseen ja kokeelliseen osuuteen. Teoreettisessa osiossa käsitellään lämpökuvauksen teoriaa, keskeisiä käsitteitä sekä lämpökameran yleisiä toimintaperiaatteita. Ruiskuvalun valmistusprosessi käydään läpi ja perehdytään käytettyyn materiaaliin. Myös historiaa sivutaan lämpökuvauksen ja ruiskuvalun osalta. Kokeellisessa osuudessa tutustutaan ruiskuvalukappaleen lämpökuvaukseen ja kuvien analysointiin sekä niiden käsittelyyn. Lämpökuvaukset ja ruiskuvalukappaleiden valmistus toteutettiin Lahden ammattikorkeakoulun muovilaboratoriossa.

Teoreettisen ja kokeellisen osuuden lisäksi työssä käsitellään lämpökuvauksen mahdollisuuksia ruiskuvaluprosessin tutkimisessa. Työ sisältää esimerkkejä teollisuudessa jo hyödyllisiksi todettujen alueiden tutkimisesta, kuten kunnossapidosta ja ruiskuvalumuotin jäähdytyksestä. Lisäksi opinnäytetyössä on omaa pohdintaa muista lämpökuvauksen käyttömahdollisuuksista ruiskuvaluprosessin tutkimisessa.

## 2 LÄMPÖKUVAUKSEN TEORIAA

Lämpökuvaus perustuu kappaleen lähettämään lämpö- eli infrapunasäteilyyn. Lämpökamera vastaanottaa infrapunasäteilyä, mittaa sen voimakkuuden ja muuntaa sen lämpötilajakauman mukaan kuvaksi. Kuvaa voidaan tarkastella reaaliajassa erilliseltä videonäytöltä, kameran omalta näytöltä tai jopa puhelimen näytöltä. Analysointia varten kuvat on helposti siirrettävissä tietokoneelle esimerkiksi muistitikun avulla. (Markoff 2015; Opetushallitus 2015.)

Lämpökuvaus toimii rikkomattomana testausmenetelmänä eli NDT-menetelmänä monella alalla ja myös kunnossapidossa. Elektroniikan ja ilmaisinteknologian kehitys on johtanut siihen, että lämpökamera on pieni ja helppokäyttöinen laite, joka soveltuu todella moneen käyttökohteeseen. Lämpökameroiden nopea kehitys on mahdollistanut niiden saatavuuden myös älypuhelmiin, joilla voidaan kuvaamisen lisäksi analysoida kuvia siihen tarkoitettujen ohjelmistojen avulla. Lämpökuvaus on tarkka, nopea sekä edullinen tutkimusmenetelmä. (Markoff 2015; Opetushallitus 2015.)

### 2.1 Lämpösäteily ja infrapuna

Infrapuna on näkyvää valoa pitkäaaltoisempaa sähkömagneettista säteilyä. Lähinnä valon näkyvää aluetta ja aallonpituudeltaan 1-3 $\mu\text{m}$ :stä säteilyä kutsutaan lähi-infrapunaksi. Aallonpituusalue 3-5 $\mu\text{m}$  kuvataan keskiaaltoalueena ja väli 8-12 $\mu\text{m}$  pitkäaaltoalueena. Kappaleet, joiden lämpötila ylittää absoluuttisen nollapisteen, eli -273 celsiusastetta, lähettää lämpösäteilyä. (Infradex Oy 2015.)

Täydellinen säteilijä, eli täydellinen musta kappale on ainoa, joka ei heijasta muista lähteistä tulevaa säteilyä vaan absorboi sen kaiken itseensä. Jokaisen muun kappaleen pintamateriaalista riippuen kappale lähettää eli emittoi erinäisen määrän säteilyä itse. Esimerkiksi paljaat metalliset pinnat lähettävät itse vähemmän säteilyä ja heijastavat enemmän ympäristön säteilyä, tästä johtuen tämän kaltaisia metalleja

varsinkaan alle 100 celsiusasteen lämpötiloissa ei voida mitata ollenkaan. (Infradex Oy 2015.)

## 2.2 Lämpökuvauksen historiaa

Infrapunainen löytyi vahingossa, kun Sir William Herschel vuonna 1800 etsi optista suodatinmateriaalia, jonka avulla auringon teleskooppikuvan kirkkautta olisi voitu vähentää auringon havainnoinnin aikana. Herschel löysi tutkiessaan valon spektrin huippukohdan punaisen valon ulkopuolelta ja kutsui tätä aluetta termometriseksi spektriksi, jota nykyään kutsutaan infrapuna-aallonpituudeksi. (Infradex Oy 2015.)

Sir John Herschel sai aikaan ensimmäisen lämpökuvan vuonna 1840. Kuva perustui öljyn haihtumiseen lämmön avulla. Ohuesta öljykerroksesta haihtuu öljyä sen mukaan, missä määrin sen eri kohtiin kohdistuu lämpöä, ja näin kuva näkyi öljykalvosta heijastuvassa valossa. Vuosien 1900 ja 1920 välillä keksittiin useita laitteita, joiden tarkoituksena oli ihmisten sekä suurten esineiden havaitseminen. Ensimmäiset toimivat järjestelmät kehittyivät sotien aikana vuosina 1914-18. 1950-luvun puolivälissä lämpökuvauslaitteita saatiin viimein siviilitutkimuksen ja teollisuuden käyttöön, kun sotilassalaisuuksia koskevat säädökset alkoivat väistyä. (Infradex Oy 2015.)

## 2.3 Emissiivisyys

Emissiivisyydellä tarkoitetaan kappaleen säteilemän energian osuutta kokonaisenergiasta. Emissiivisyyttä merkitään yleensä kreikan pienellä epsilon-kirjaimella ( $\epsilon$ ). Kaikkien kappaleiden  $\epsilon < 1$ , koska luonnossa ei esiinny täydellistä säteilijää jonka  $\epsilon = 1$ . Lämpösäteilyn käyttäytyminen ja säteilyenergia eri aaltoalueilla vaihtelevat huomattavasti. Kappaleen emissiivisyys on yleensä pienempi keskiaaltoalueella, ja alle 100 celsiusasteen lämpötiloissa lämpösäteilyenergiaa on huomattavasti enemmän pitkäaaltoalueella. (Infradex Oy 2003.)

## 2.4 Lämpökameran toiminta

Lämpökamera on videokamera, joka mittaa kuvauskohteen pinnasta luonnostaan lähtevää lämpösäteilyä. Lämpökameralla voidaan tallentaa lämpökuvat siinä olevalle muistikortille tai sen sisäiseen muistiin.

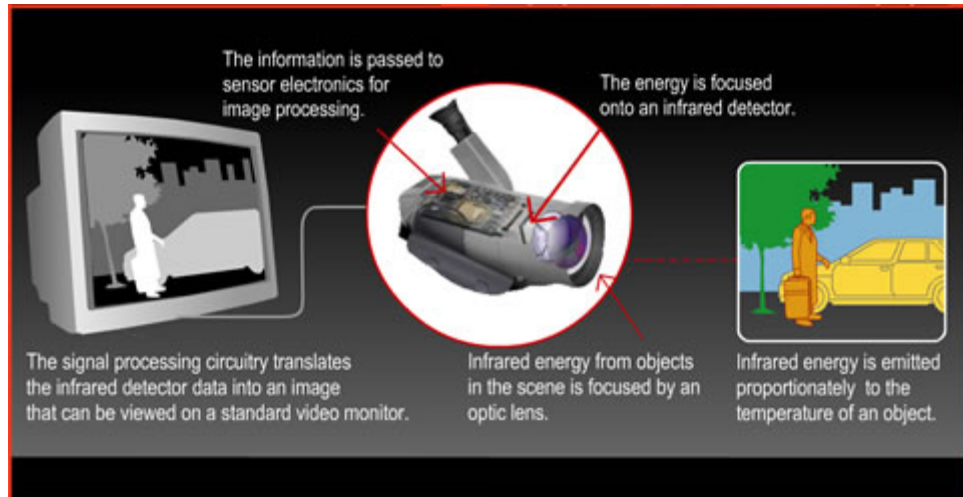
Kameroilla on mahdollista tallentaa videota tai digikuvia. Lämpökamerassa oleva ilmaisimien muuttaa kohteen lämpösäteilyvoimakkuuden lämpötilatiedoksi, josta lämpökuva muodostetaan digitaalisesti reaaliajassa. Lämpökameran toiminta on esitetty kuviossa 1. (Markoff 2015; Infradex Oy 2015.)

Matriisi-ilmaisimia on olemassa kahden tyyppisiä: jäähdytettyjä ja jäähdyttämättömiä. Tänä päivänä yleisemmin käytössä ovat kamerat, joissa on jäähdyttämätön matriisi-ilmaisimien. Jäähdytettyjä matriisejä käyttävät kamerat joudutaan jäähdyttämään tavallisesti heliumkiertopumpulla matriisin osalta, koska tämän tyyppisten ilmaisimien toimintalämpötila on -200°C. Matriisi-ilmaisimet ovat saman tyyppistä materiaalia, kuin mitä käytetään sähkövastusten valmistuksessa. (Infradex Oy 2015.)

Tavallinen lasi ei taita tai läpäise lämpösäteilyä, joten lämpökameroiden optiikkamateriaali on usein hiilipinnoitettua germaniumia.

Optiikkamateriaalien kalliin hinnan ja optisten pintojen vaikean lämpötilahallittavuuden takia lämpökameroihin ei yleensä ole saatavilla optista zoomausta. Kaikki ylimääräinen myös heikentää läpäisyprosenttia oleellisesti. (Infradex Oy 2015.)



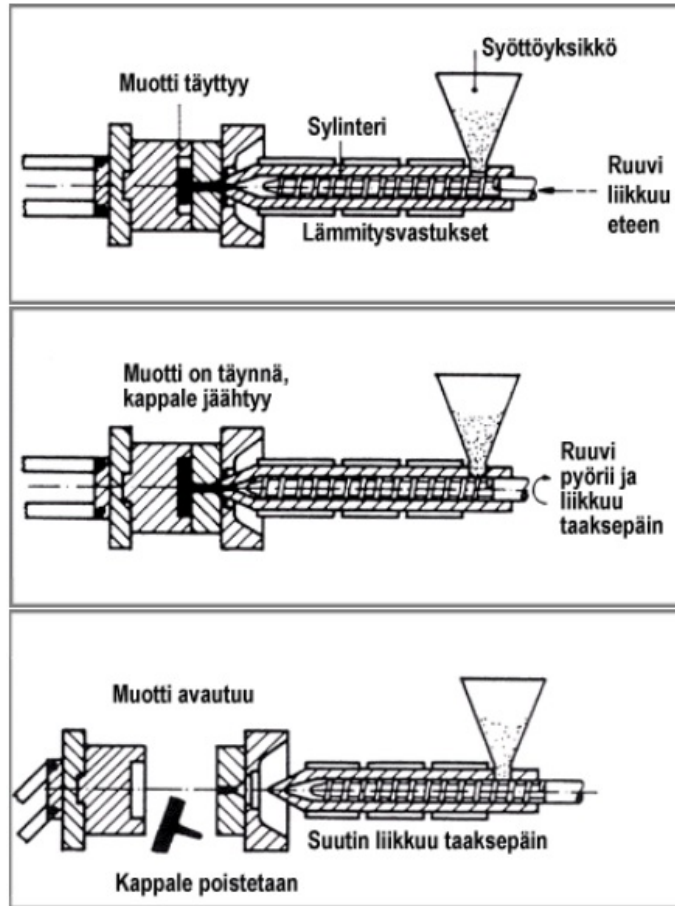


KUVIO 1. Lämpökameran toimintaperiaate (Us Thermal Optics 2016.)

### 3 RUISKUVALU

Ruiskuvalu on yleisin kestopuovien työstömenetelmä. Jon Wesley Hyatt ja hänen Isaiiah-veljensä patentoivat ensimmäisen ruiskuvalukoneen jo vuonna. Aluksi ruiskuvalukoneet olivat käsikäyttöisiä mäntäpuristimia, mutta 1950-luvulla käyttöön otettiin James Hendryn kehittämät ja patentoimat ruuvitoimiset ruiskuvalukoneet. Tästä alkoi ruiskuvalukoneiden ripeä kehitys, joka jatkui 1990-luvulle, jolloin kehitettiin CNC-ohjattu täyssähköinen ruiskuvalukone. Nykyisellä automatisoidulla tuotannolla monimutkaisetkin kappaleet saadaan kerralla valmiiksi ilman jälkikäsittelyä. Koneet, oheislaitteet ja muotit ovat kalliita, mutta granulaattina muovi on halvimmassa muodossa. Ollakseen taloudellisesti kannattavaa on ruiskuvalu yleensä suurien sarjojen työstömenetelmä. Valmistettavien kappaleiden koko vaihtelee useista kymmenistä kiloista alle 0,001g:n painoisiin mikroruiskuvalukappaleisiin. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 12; Kurri, Malén ym. 2002, 71-72.)

Valmistusprosessissa muovi plastisoidaan homogeeniseksi eli tasa-aineiseksi massaksi kierukkaruuvien pyörimisestä aiheutuvan sisäisen kitkan avulla sekä sulatussylinderissä olevien sähkövastusten lämmön avulla. Sulanut massa ruiskutetaan nopeasti suurella paineella yleensä teräksestä valmistettuun muottiin. Tämän jälkeen muotti suljetaan ja muovin annetaan jäähmettyä. Tietyn jäähdytysajan kuluttua muotti avataan ja kappale voidaan työntää ulos muotista. Ruiskuvaluprosessi on kuvattu vaiheittain kuviossa 2, ja ruiskutusyksikön osat esitetty kuviossa 3. (Kurri, Malén ym. 2002, 72.)



KUVIO 2. Ruiskuvaluprosessi kolmessa vaiheessa kuvattuna (Höök, Nykänen 2015.)



KUVIO 3. Ruiskutusyksikön osat (Höök, Nykänen 2015.)

#### 4 KOKEELLINEN OSUUS

Työn suunnittelu aloitettiin miettimällä sopiva menetelmä ruiskuvalukappaleen lämpökuvaamiseen. Suunnittelun jälkeen päädyttiin siihen, että kappaleesta otetaan neljä kuvaa 10 sekunnin välein välittömästi kappaleen poistuttua muotista. Kuvausalueeksi valittiin puhdas pahvialusta, jotta välttyttäisiin mahdollisilta heijastuksilta ja häiriötekijöiltä. Muotin lämpötila mitattiin muotin pinnasta käyttämällä lämpötila-anturia. Koekappaleeksi valittiin koesauva ja raaka-aineeksi polypropeeni. Koesauva toimii hyvin yksinkertaisena kappaleena, jota on helppo tutkia ja polypropeeni on helppo ja hyvä materiaali ajaa ruiskuvalukoneella. Kuviossa 4 on esitetty lämpökameran ottama tavallinen kuva koesauvasta.



KUVIO 4. Lämpökameran ottama kuva muotista tulleesta koesauvasta

Tarkoituksena oli kuvata kappale myös muotissa juuri muotin avauduttua, mutta kuvaus oli ongelmallista, eikä kuvista tullut käyttökelpoisia.

Kiiltäväpintaisen metallin emissiivisyys on hyvin pieni, minkä seurauksena muotin metallipinta teki kuvaamisesta vaikeaa. Muotin kuvaamisen mahdollistamiseksi jouduttiin ruiskuvalukoneen päällimmäinen suojalevy poistamaan. Suojalevyn poistamisesta huolimatta kuvauskulma jäi liian suureksi. Jos kuvauskulma ylittää 60 astetta, niin näennäinen emissiivisyys laskee. (Infradex Oy 2016.)

#### 4.1 Polypropeeni

Työssä tehtyyn kokeeseen valittiin materiaaliksi isotaktinen polypropeeni (PP). Polypropeeni on kiteinen valtamuovi, joka soveltuu ruiskuvalamiseen erinomaisesti. Polypropeeni on käyttömäärältään kolmanneksi eniten käytetty muovi pientiheyspolyeteenin (PE-LD) ja polyvinyylidikloridin (PVC) jälkeen. Polypropeenia on olemassa isotaktista, ataktista ja syndiotaktista. Eniten käytettyä on isotaktinen, koska ataktisen ja syndiotaktisen polypropeenin kiteisyysaste on pienempi. Polypropeenia voidaan valmistaa usealla valmistusmenetelmällä, joten valmistettavien tuotteiden tarjonta on hyvin laaja. PP:stä valmistetaan esimerkiksi kuitukankaita, naruja, köysiä, kalvoja, levyjä ja ruiskuvalu- ja puhallusmuovaustuotteita. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 17-18; Järvinen 2000, 26-27.)

Isotaktinen rakenne tarkoittaa, että metyyliiryhmät sijaitsevat ketjun toisella puolella. Polypropeenin ominaisuuksia on mahdollista säätää valmistusvaiheessa. Keskimääräistä moolimassaa sekä moolimassajakaumaa säätämällä saadaan aikaiseksi joko lyhyitä molekyyliketjuja, jotka parantavat muovin työstettävyyttä tai pitkiä molekyyliketjuja, jotka antavat tuotteelle lujuutta. Esimerkiksi ruiskuvaluun sopiva polypropeeni rakentuu lähes saman pituisista molekyyliketjuista ja sen moolimassajakauma on kapea. Tällöin ruiskuvalutuote kutistuu tasaisesti jäähtyessään, eikä ongelmia synny. (Järvinen 2000, 26-27.)

#### 4.2 Lämpökamerakuvat polypropeenisauvasta

Taulukossa 1 on esitetty kokeellisen osuuden kuvausolosuhteet, kun lämpökamerakuvia otettiin. Ruiskuvalukoneen ajo-arvoja oli hieman säädettävä, jotta koesauvoista saatiin onnistuneita. Ruiskuvalukoneen ajoarvot on esitetty taulukossa 2.

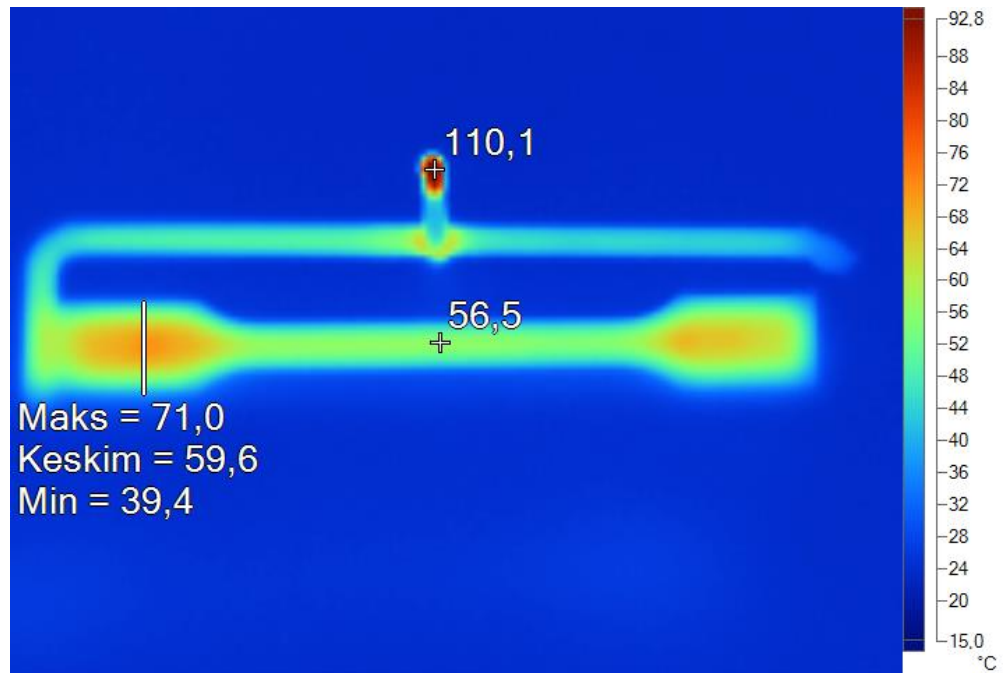
TAULUKKO 1. Kuvausolosuhteet

Huoneen lämpötila [°C]	22,6
Polypropeenin emissiivisyys	0,97
Taustapahvin emissiivisyys	0,81

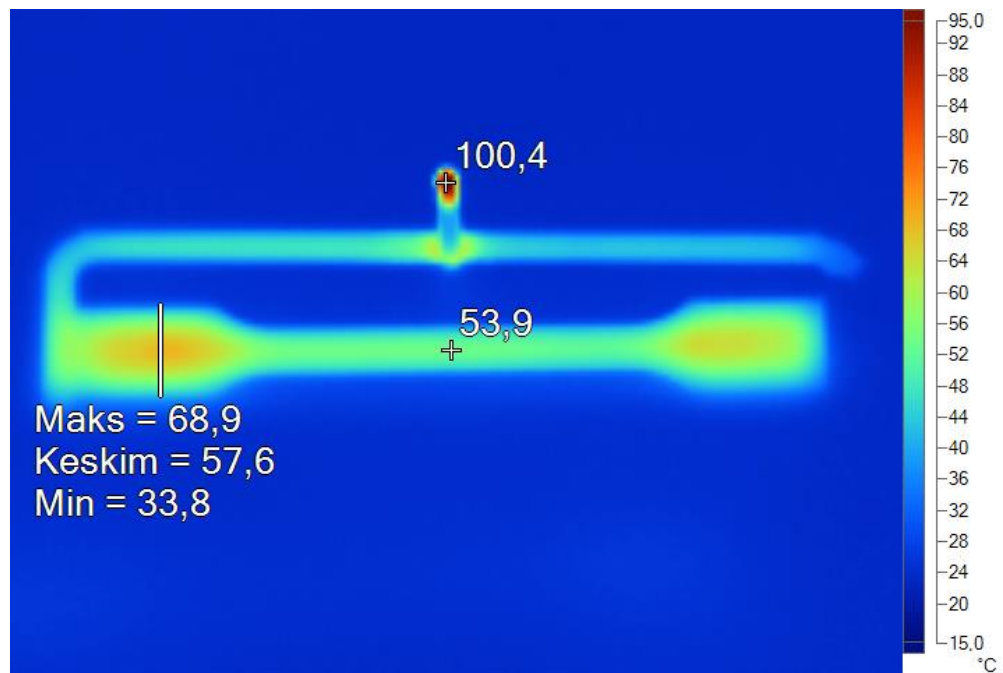
TAULUKKO 2. Ruiskuvalukoneen ajoarvot

Massapaine [bar]	975
Jälkipaineaika [s]	10
Jäähdytysaika [s]	22,6
Muotin lämpötila [°C]	23,5
Sylinterien lämpötilat [°C]	230

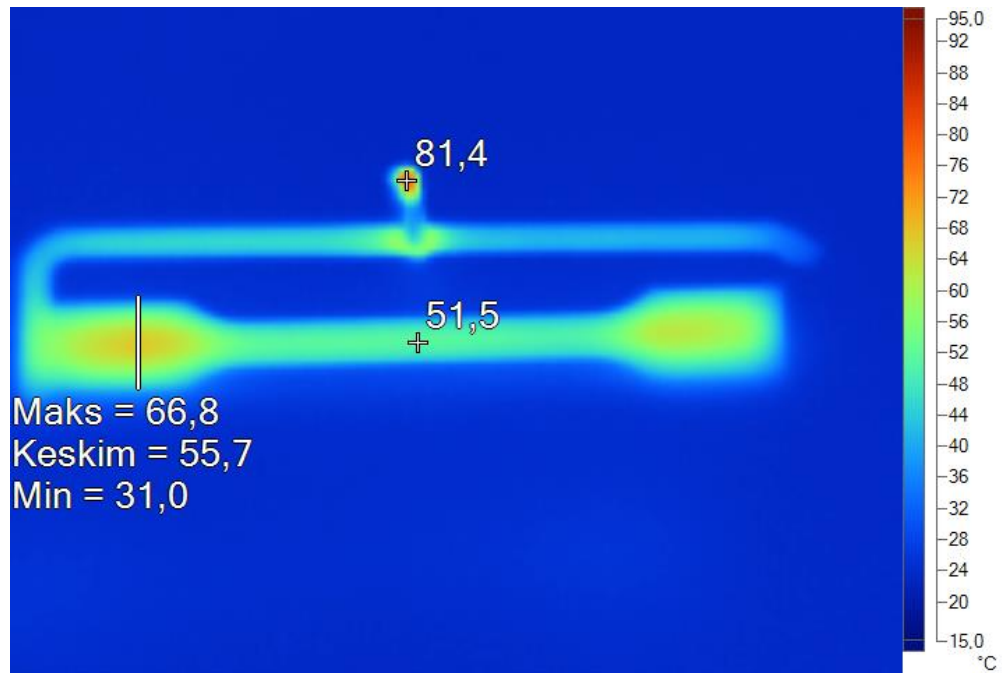
Kuviin merkittiin lämpötilan korkein piste (P1), lämpötila sauvan keskeltä (P2) ja viivamittaus sauvan toisesta päädyistä, joka kertoo maksimilämpötilan (Maks/P3), keskimääräisen lämpötilan (Keskim) ja minimilämpötilan (Min) celsiusasteina viivan mitalta.



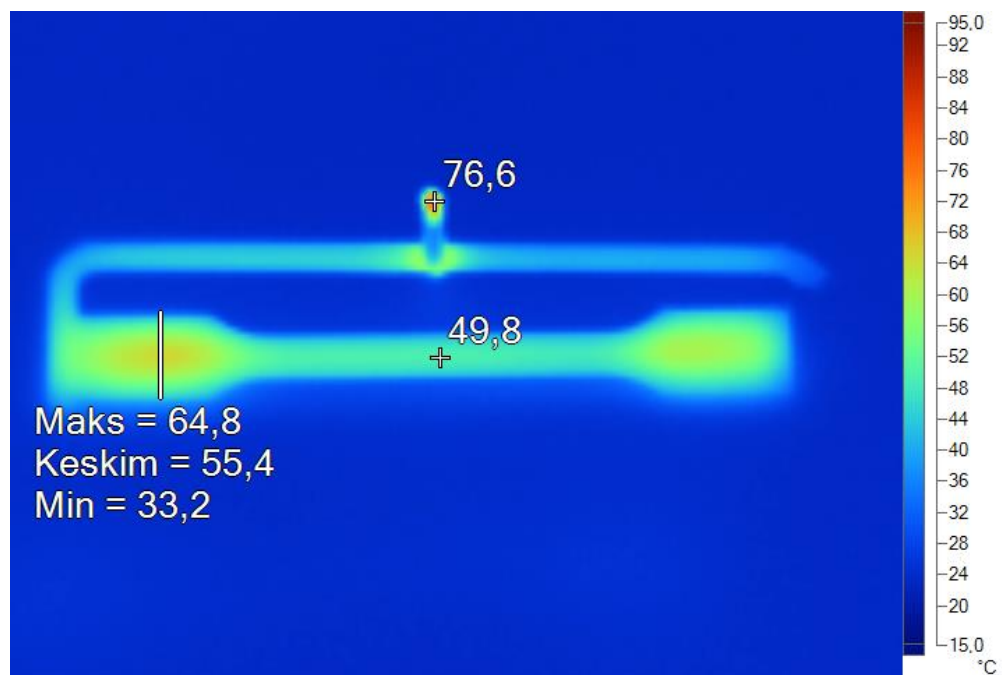
KUVIO 6. Vetosauva suoraan muotista



KUVIO 7. Vetosauva 10 sekunnin kuluttua



KUVIO 8. Vetosauva 20 sekunnin kuluttua



KUVIO 9. Vetosauva 30 sekunnin kuluttua

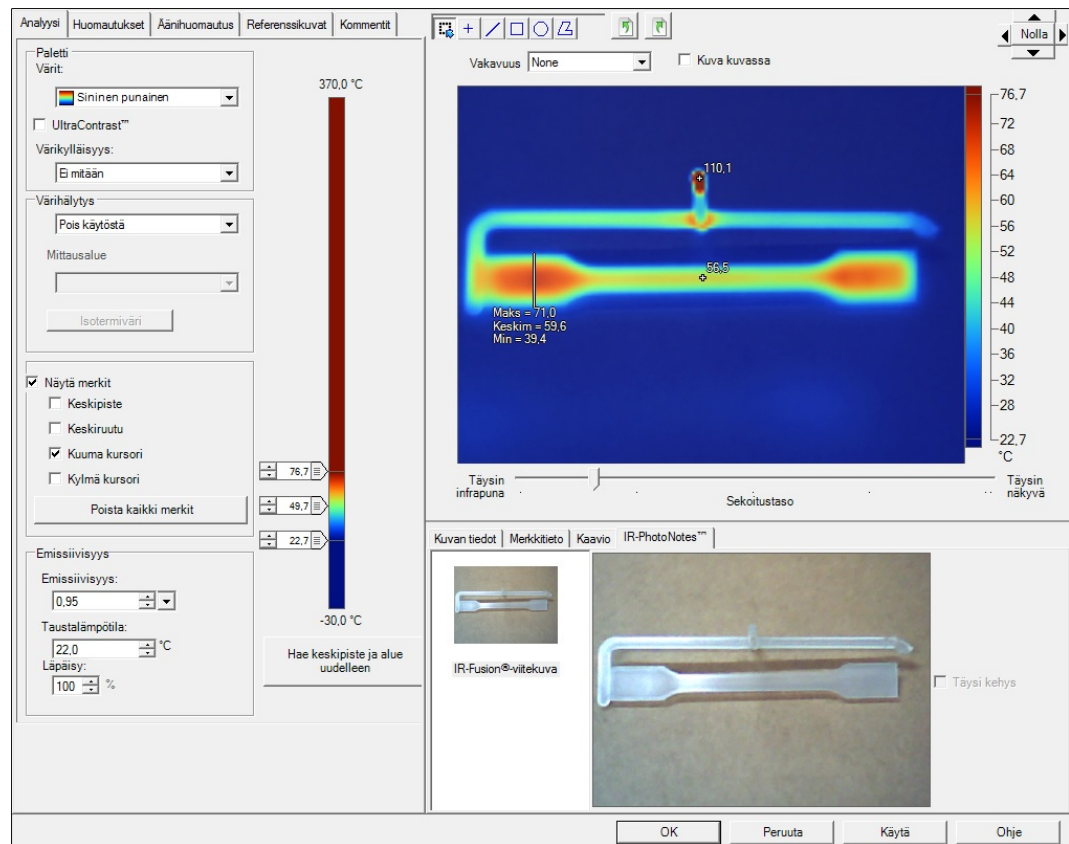
#### 4.3 Kuvien käsittely

Kuvien ottamisen jälkeen ne siirrettiin kamerassa olevan muistikortin avulla tietokoneelle. Kameran valmistajan kotisivuilta on ladattavissa



kuvien käsittelyyn tarkoitettu ohjelmisto nimeltä SmartView. Työssä käytettyihin kuviin lisättiin kolme lämpötilamerkintää ja lämpötila-asteikko kuvan oikeaan laitaan havainnollistamaan koესauvan lämpötilaa. Kuvan väripaletti muokattiin sellaiseksi, että lämpötilaerot tulivat paremmin esille.

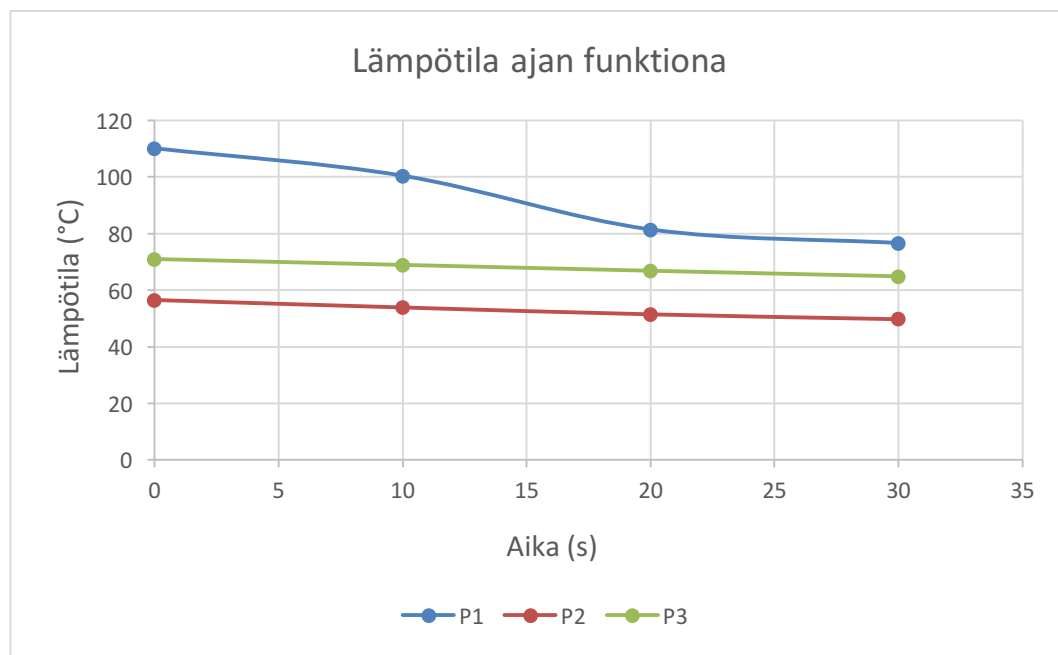
SmartView on lämpökameravalmistaja Fluke Corporationin analysointi- ja raportointiohjelmisto. Ohjelmiston avulla on mahdollista tarkastella eri alueiden ja pisteiden lämpötiloja, lisätä lämpötilapisteitä kuvaan ja muokata kuvan väripalettia. Ohjelmiston avulla voidaan muokata lämpökuvan parametreja, kuten emissiokerrointa, taustalämpötilaa ja heijastuneen lämpötilan kompensointia. Kuviiin voidaan myös lisätä kommentteja, muistiinpanoja ja äänimerkintöjä. Ohjelmalla on mahdollista ottaa esiin lämpökuvauksen yhteydessä otettu tavallinen valokuva kuvatusta kohteesta. Näkymä ohjelmiston muokkausikkunasta on esitetty kuviossa 5. (Fluke Corporation 2016.)



KUVIO 5. Näkymä Fluke Smartview analysointi- ja raportointiohjelmistosta

#### 4.4 Kuvien analysointi

Polypropeenin pitkäaikainen käyttölämpötila-alue on  $-20^{\circ}\text{C}$  -  $+100^{\circ}\text{C}$  ja työstölämpötila noin  $210 - 290^{\circ}\text{C}$ . Lyhytaikaisesti polypropeeni kestää myös hieman korkeampaa lämpötilaa kuin ilmoitettu käyttölämpötila-alue. Lämpökamerakuvista voidaan todeta, että jäähdytysaika on ollut kappaleelle sopiva ja muotista poistuneen kappaleen lämpötila ei ole liian korkea polypropeenille.  $100^{\circ}\text{C}$  ylittyy vain valukanavistossa hetkellisesti, mutta kappaleen suurimmassakin massakeskittymässä lämpötila pysyy huomattavasti sen alapuolella. Kappaleen suurimmasta massakeskittymästä on otettu viivamittaus lämpötilasta, josta voidaan lukea maksimilämpötila. (Vink Finland Oy 2016; Kurri, Malén ym. 2002.)



KUVIO 6. Kolmen pisteen lämpötila ajan funktiona

Kuviossa 6 on esitetty kuvaaja, jonka pystyakselilla on lämpötila celsiusasteina ja vaaka-akselilla aika sekunteina. Siihen on kuvattu kolmen eri mittauspisteen lämpötilan muutos 30 sekunnin aikana. P1 piste on kuvan kuumin kohta, P2 on koesauvan kapea kohta ja P3 on viivamittauksen maksimilämpötila.

Kuvaajasta voidaan todeta, että polypropeeni jäähtyy tasaisesti, sillä suurempikin massakeskittymä jäähtyy samaan tahtiin sauvan kapean kohdan (P2) kanssa. Sauvan leveässä päädyssä (P3) lämpötila on aluksi korkeampi suuremman massamäärän vuoksi, mutta jäähtyminen on silti tasaista.

Muotin seinämiin osuva massa jäähtyy nopeasti muotin lämpötilasta johtuen, ja tämä johtaa siihen, että sauvan kapea kohta ei jää niin lämpimäksi kuin sauvan leveä pääty. Valukanaviston päässä oleva kuumin kohta (P1) jäähtyy aluksi nopeammin, koska kyseessä on hyvin pienen tilavuuden omaava massa. Lämpötila jää valukanavan päässä korkeaksi sen sijainnin vuoksi, sillä kuuma ruiskutusyksikkö ja suutin ovat lähellä sitä.

## 5 LÄMPÖKUVAUKSEN HYÖDYNTÄMINEN RUISKUVALUPROSESSISSA

Työn yhtenä tarkoituksena oli pohtia, mitä mahdollisuuksia lämpökuvauk-  
tu ruiskuvaluprosessin tutkimiseen. Lämpökuvauk on paljon käytetty  
menetelmä, mutta ruiskuvalukappaleen valmistuksessa sitä ei ole  
hyödynnetty vielä paljoakaan. Lämpötilat ovat suuressa roolissa  
ruiskuvaluprosessissa, ja niillä on suuri merkitys kappaleen laatuun sekä  
ominaisuuksiin. On siis selvää, että lämpökuvauksella olisi jalansija  
ruiskuvaluprosessin ja -kappaleen tutkimisessa.

### 5.1 Massan lämpötilan tutkiminen

Massan lämpötilan tulisi olla tasainen koko ruiskutusannoksen alueella,  
eikä siellä tulisi tapahtua lämpötilan suurta nousua tai laskua. Raaka-  
aineilla on omat käyttölämpötilat, joita ruiskuvaluprosessissa tulisi  
noudattaa. Lämpökuvauksella olisi mahdollista tarkkailla massan  
lämpötilaa, jotta se pysyisi käyttölämpötilojen sisäpuolella.  
Käyttölämpötilan ylittämällä tai alittamisella on merkittäviä vaikutuksia  
kappaleen laatuun. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 84.)

Kaikki materiaalin lämpötilan nousu ei aiheudu ruiskuvalukoneen  
vastusten lämpötilasta. Polymeerimateriaaleille on ominaista sisäisen  
kitkan muodostuminen, kun polymeeriin tuodaan mekaanista energiaa ja  
osa tästä muuttuu lämmöksi molekulaaristen relaksaatioiden välityksellä.  
Sisäistä kitkaa muodostuu yleensä kahdessa eri vaiheessa  
ruiskuvaluprosessin aikana. Massan plastisoinnissa syntyy suuria  
paikallisia leikkausnopeuksia, ja nämä voivat aiheuttaa massan  
voimakasta lämmön nousua, mikä voi johtaa materiaalin termiseen  
hajoamiseen. Korkeita leikkausnopeuksia syntyy myös syöttö- ja  
jakokanavistossa massan ruiskutuksen aikana. Materiaalin termisen  
hajoaminen tuottaa ongelmia kappaleen laadun kanssa. Liian korkea  
massan lämpötila voi aiheuttaa useita ongelmia kappaleessa, mikä  
heikentää sen laatua olennaisesti. Nämä ilmenevät kappaleessa

- palojälkinä
- optisina virheinä
- kuoppina tasaisissa pinnoissa. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 12; Fimmtech Inc 2016.)

Massan lämpötila ei tulisi myöskään olla liian alhainen, jotta sulamattomia partikkeleita ei kulkeutuisi liian pitkälle. Sulamattomat partikkelit voivat aiheuttaa jopa suuttimen tukkeutumisen. Sulamaton ja liian alhaisen lämpötilan omaava massa voi aiheuttaa useita ongelmia kappaleessa, mitkä heikentävät kappaleen laatua olennaisesti. Nämä ilmenevät kappaleessa

- optisina virheinä
- epätasaisena lujuutena
- ruiskutuskohdan juovina ja läiskinä
- yhtymäsaumoina (aiheuttavat epätasaisen pinnan sekä alentavat lujuutta)
- haurastumisena eli sitkeyden heikkenemisenä kappaleessa. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 86; Fimmtech Inc 2016.)

## 5.2 Jäähdytymisen tutkiminen

Jäähdytysjakso on yleensä ruiskuvaluprosessin pisin jakso. Jakso alkaa massasulan virratessa muottiin, ja siihen kuuluvat myös ruiskutus ja jälkipaineaika. Jakso jatkuu vielä jälkipaineajan jälkeen, koska kappaleen halutaan pysyvän muottipesän antamissa mitoissa. Kappaleen jäähdytyksellä on suuri merkitys sen laatuun ja ominaisuuksiin. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 74.)

Kappaleen tulee olla riittävän jäykkä, ja muodonmuutoksen vaara ohi, kun se poistetaan muotista. Muotti rajoittaa kappaletta ulkoisesti, ja jälkipaineen aiheuttamat sisäiset jännitykset eivät pääse purkautumaan. Muotin seinämät tekevät kutistumisesta osittain mekaanista, eikä kappale pääse taipumaan tai kieroutumaan. Lämpökameran avulla voitaisiin tutkia

muotista poistetun kappaleen valmiutta. Etenkin suuret massakeskittymät voivat jäädä liian lämpimiksi ja aiheuttaa epämuodostumia kappaleessa. (Järvelä, Syrjälä & Vastela 2000, 74; Fimmtech Inc 2016.)

### 5.3 Muotin tutkiminen

Ruiskuvalumuoteissa on usein vettä käyttävä jäähdytysjärjestelmä, joka kierrättää kylmän veden muotin läpi ja näin estää muottiteräksen lämpenemisen. Jäähdytyspiiriin on mahdollista syntyä tukkeumia tai piirin letkut voidaan kytkeä väärin, eikä jäähdytysvesi pääse virtaamaan ja viilentämään muottia. Lämpökuvaamalla muottia voidaan selvittää, onko jäähdytyspiirissä mahdollisesti jokin tukkeuma tai onko letkut kytketty väärin. Muottia kuvaamalla saadaan selville jäähdytysveden lämpötila ja tämän avulla voidaan päätellä, kiertääkö vesi järjestelmässä oikein.



KUVIO 10. Lämpökuva jäähdytysjärjestelmän jakotukista (Wiitta Oy. 2016)

Kuvion 10 avulla on saatu selville, että nelipiirisen jakotukin letkut, jotka kulkevat muotin keernan läpi, on kytketty väärin. Kuvion vasemmanpuoleisen letkun pitäisi olla kylmän veden letku ja viimeisen lämpimän paluuv veden letku. Letkut on kuitenkin kytketty niin, että kaksi keskimmäistä toimivat paluuv veden letkuina. Jäähdytys ei tässä tapauksessa toiminut niin kuin oli suunniteltu ja tämän vuoksi kappaleen mitoissa oli vääristymiä. (Wiitta Oy 2007.)

Muotin ruiskutuskanaviin on mahdollista syntyä tukkeumia esimerkiksi sulamattomien partikkeleiden takia. Lämpökuvauksen avulla tukkeuma voitaisiin todeta ja paikallistaa kesken tuotannon. Kuvaamalla muottia on mahdollista nähdä, jos jokin osa muotista ei täyty ruiskuvalukanavaan syntyneen tukkeuman takia. (Wiitta Oy 2007.)

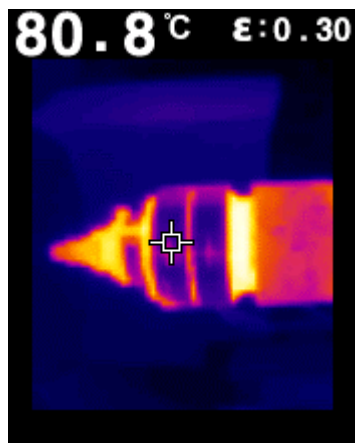
#### 5.4 Kunnossapito

Ruiskuvalukoneet ovat yleensä pitkiäkin aikoja ympärivuorokautisessa käytössä, mikä vaatii koneelta suurta kestävyyttä. Koneet ovat kuluvia, mutta oikeanlaisella kunnossapidolla koneiden käyttöikä voidaan parantaa huomattavasti. Lämpökuvausta käytetään koneiden ennakoivassa tai ennaltaehkäisevässä kunnossapidossa paljon.

##### 5.4.1 Lämpökameran käyttö kunnossapidon yhteydessä

Lämpökuvauksen avulla voidaan tutkia koneen vikoja turvallisen etäisyyden päästä. Kuumat kohdat tai lämpötilan nousu kertoo yleensä mahdollisesta häiriöstä koneessa. Lämpökuvauksen avulla voidaan muun muassa havaita sähköviat tai rikkinäiset lämpövastukset. Koneen öljyjen lämpötila on myös helppo tarkastaa lämpökameralla. (Fluke Finland Oy 2016, 2-4.)

Esimerkiksi lämmitysvastukset ovat kuluvia osia, ja ne ovat ruiskuvaluprosessin kannalta välttämättömiä. Lämpökuvauksen avulla on helppo paikantaa rikkinäiset tai heikentyneet vastukset koneesta. Kuviossa 11 on lämpökuva rikkinäiseksi todetusta sylinterin lämpövastuksesta. Kuvasta on helppo todeta, kuinka renkaan muotoiset vastukset eivät ole lämmenneet.

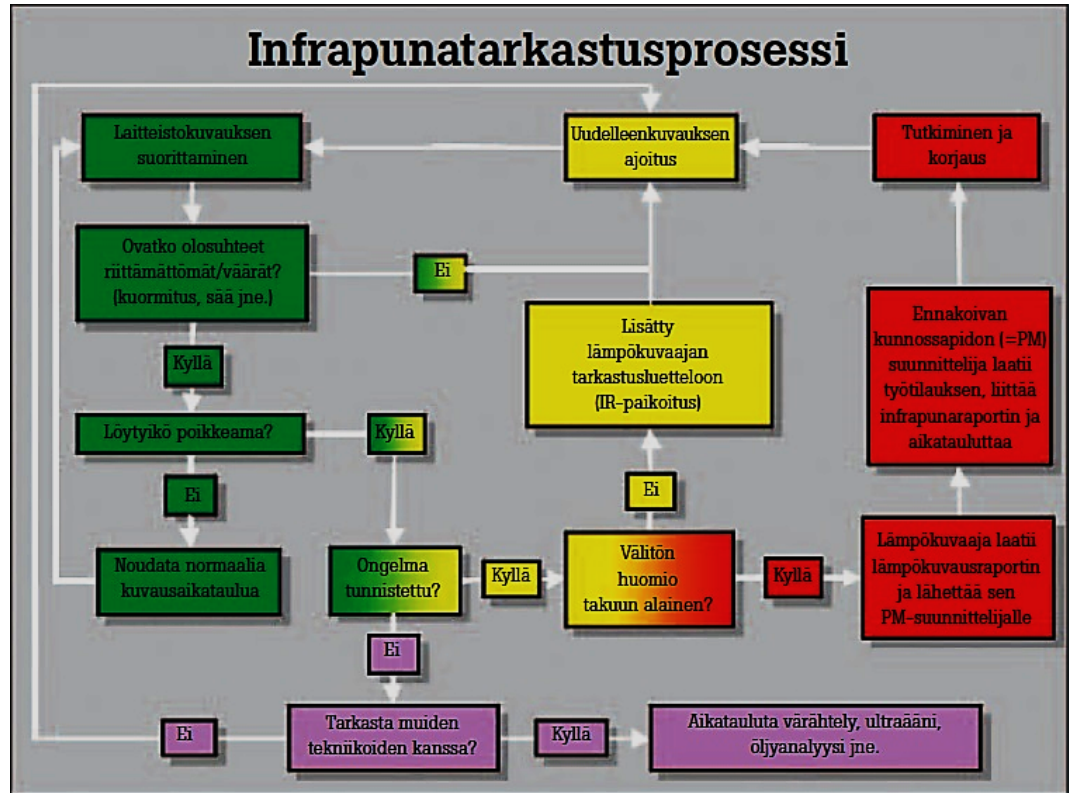


KUVIO 11. Lämpökuva rikkinäisestä sylinterin lämpövastuksesta (Wiitta Oy 2016.)

#### 5.4.2 Tarkastuksen tekeminen

Ruiskuvalukoneesta saattaa löytyä paljon kiiltäviä pintoja. Tämän vuoksi kiiltäviin tai heijastaviin pintoihin on syytä lisätä suuremmissiokeroimiset mittauspisteet, jotta lämpömittausten luotettavuus paranisi. Kiiltäviin pintoihin voi lisätä spraymaalialia tai sähkökomponentteihin tarkoitettuja sähköteippejä tai paperitarroja. Mittauspiste tarvitsee asentaa vain liitäntöjen lähelle. Ruiskuvalukoneen luokkuja ja kansia on myös hyvä avata lämpökuvauksen ajaksi, mutta tämä täytyy tehdä yleisen turvallisuuden puitteissa. Kuviossa 7 on esitelty infrapunatarkastusprosessi, ja kuinka se voidaan liittää osaksi kunnossapidon kokonaisuohjelmaa. (Fluke Finland Oy 2016, 2-4.)





KUVIO 7. Esimerkki lämpökuvauksen liittämisestä kunnossapidon kokonaisuohjelmaan (Fluke Finland Oy 2016.)

## 6 YHTEENVETO

Sir William Herschelin 1800-luvulla löytämä infrapuna mahdollisti lämpökameran keksimisen, kuten opinnäytetyön historiaosuudessa todetaan. Lämpökameroiden tekniikka on mennyt paljon eteenpäin, ja 1950-luvun puolivälin ensimmäiset siviilikäyttöön tuodut mallit ovat kehittyneet huomattavasti. Tänä päivänä lämpökuvaus on helppokäyttöinen ja monipuolinen tutkimusmenetelmä, jota hyödynnetään hyvin erilaisiin tarkoituksiin.

Koska ruiskuvaluprosessi käyttää lämpöä, sopii lämpökuvaus sen tutkimiseen erinomaisesti. Lämpökameroita voitaisiin siis hyödyntää huomattavasti nykyistä enemmänkin. Kuten työssä todettiin, on kappaleen laatu hyvin paljon sidoksissa massan ja prosessissa käytettyjen lämpötilojen kanssa, joten niiden tarkkaileminen on välttämätöntä. Ruiskuvalukappaleen jäähtyminen on myös tärkeä prosessi etenkin monimutkaisemmissa kappaleissa halutun muodon säilyttämiseksi. Lisätutkimusta voitaisiin tehdä haastavammilla kappaleilla, jotta tällöin mahdollisesti ilmenevistä jäähtymisprosessin ongelmista saataisiin lisää tietoa.

Opinnäytetyön tekijä koki työn hyödylliseksi prosessiksi tutustua ennalta tuntemattomaan aiheeseen ja vastaanottaa tärkeitä tietoja koko ajan kehittyvästä tutkimusmenetelmästä. Tekijä koki kerätyn tiedon lämpökamerasta ja saavutetun uuden osaamisen hyödyntää lämpökuvausta tutkimusmenetelmänä tulvaisuuden kannalta hyödyllisenä.

## LÄHTEET

Fimmtech Inc. 2016. Defects in Injection Molding and their Troubleshooting. [viitattu 12.4.2016] Saatavissa:

<http://www.fimmtech.com/index.php?id=6&subid=64>

Fluke Corporation. 2016. Lämpökuvauksen SmartView®-analysointi- ja raportointiohjelmisto sekä mobiilisovellus [viitattu 11.5.2016] Saatavissa:

<http://www.fluke.com/fluke/fifi/lisavarusteet/ohjelmisto/fluke-smartview-ir-mobile.htm?pid=56169>

Fluke Finland Oy. 2016. Infrapunalämpökuvauksen liittäminen osaksi kunnossapito-ohjelmaa [viitattu 11.5.2016] Saatavissa:

[https://www.yeint.fi/files/products/Fluke\\_Connect\\_FC\\_sovellusohje\\_lampo\\_kuvaus.pdf](https://www.yeint.fi/files/products/Fluke_Connect_FC_sovellusohje_lampo_kuvaus.pdf)

Fluke Finland Oy. 2016. Lämpökamera teollisuuden kunnossapitoon. [viitattu 11.5.2016] Saatavissa:

[http://www.yeint.fi/files/products/Ti20\\_esite\\_suomi.pdf](http://www.yeint.fi/files/products/Ti20_esite_suomi.pdf)

Hannu Niemi. 2016. Tuotantoinsinööri. Wiitta Oy. [Haastattelu 12.5.2016]

Höök, T., Nykänen, S. 2015. Ruiskuvalu [viitattu 11.5.2016] Saatavissa:

<http://www.valuatlas.fi/tietomat/docs/ruiskuvaluprosessi.pdf>

Infradex Oy. 2016. Kysymyksiä ja vastauksia lämpökuvauksesta [viitattu 3.5.2016] Saatavissa: <http://www.infradex.com/faq-kysymyksiä-ja-vastauksia-lampokuvauksesta/>

Infradex Oy. 2016. Lämpökameran toiminta [viitattu 20.4.2016]

Saatavissa: <http://www.infradex.com/yleistietoa/kuinka-lampokamera-toimii/>

Infradex Oy. 2015. Lämpösäteily ja infrapuna [viitattu 10.3.2015]

Saatavissa: <http://infradex.com/teoria.html>

Infradex Oy. 2003. Lämpökuvauksen teoria [viitattu 10.3.2015] Saatavissa:  
<http://www.infradex.com/pdf/teoria.pdf>

Järvinen, P. 2000. Muovin suomalainen käsikirja. WS Bookwell Oy,  
Porvoo

Järvelä, P., Syrjälä, K. & Vastela, M. 2000. Ruiskuvalu. Tampere: TTKK-  
Paino

Kurri, V., Malén, T., Sandell, R. & Virtanen, M. 2002. Muovitekniikan  
perusteet. Hakapaino Oy.

Markoff, J. 2015. Thermal Imaging Allows for Picturing the Invisible. The  
New York Times [viitattu 20.4.2016] Saatavissa:  
[http://www.nytimes.com/2015/01/13/science/picturing-the-  
invisible.html?\\_r=1](http://www.nytimes.com/2015/01/13/science/picturing-the-invisible.html?_r=1)

Opetushallitus. 2015. Lämpökamera [viitattu 10.3.2015]. Saatavissa:  
[http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka\\_k5\\_lampoka  
mera.html](http://www03.edu.fi/oppimateriaalit/kunnossapito/mekaniikka_k5_lampokamera.html)

Us Thermal Optics. 2016. What is thermal imaging? [viitattu 12.4.2016]  
Saatavissa: <https://usthermaloptics.com/about-thermal-imaging/>

Vink Finland Oy. 2016. PP [viitattu 25.4.2016] Saatavissa:  
<http://www.tuotteet.vink.fi/tuotteet/pp.html>