

Iiro Sonné

Lämpökuvauksen hyödyntäminen prosessiuunien
kunnossapidossa

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
2015

Lämpökuvauksen hyödyntäminen prosessiuunien kunnossapidossa

Sonné, Iiro
Satakunnan ammattikorkeakoulu
Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma
Joulukuu 2015
Ohjaaja (SAMK Oy): Zenger, Pekka
Ohjaaja (Neste Oil Oyj): Arpalo, Maarit
Sivumäärä: 38
Liitteitä: 6

Asiasanat: lämpökamera, lämpökuvaus, prosessiuuni, seuranta, liekkien läpi näkevä kamera, kaasuvuotokamera

Opinnäytetyön tarkoituksena oli selvittää Neste Oil Oyj Naantalın jalostamon prosessiuunien lämpökuvauksen hyödyntämistä kunnossapidossa. Työssä luotiin tietopohja, jonka avulla voidaan arvioida, millaisia vaurioita uunien eristemateriaaleissa on odotettavissa, kun uunia vuosihuolletaan.

Työssä pyrittiin selvittämään olemassa olevien lämpökuvien hyödyntämistä. Lämpökuvat eivät kelvanneet tarkkaan vertailuun lämpötilamuutoksista, koska kuvausvaiheessa ei ole luotu toistomahdollisuutta. Tästä syystä lämpötilatietoihin olennaisesti vaikuttavia muuttujia oli liikaa. Kuvia vertailemalla voidaan kuitenkin havaita uusien eristevaurioiden laajuus, joka on tärkeämpi tieto kuin tarkka lämpötilan vuosittainen vertailu.

Työssä tehtiin Excel-pohjainen seurantataulukko lämpökuvauksia varten, ja siihen lisätään tulevaisuudessa hyperlinkillä kuvauskerran Word-pohjainen raportti. Raporttipohjat tehtiin Neste Oilille sopivaksi Infradex Oy:n avustuksella. Word-pohjaiseen raporttiin voidaan lisätä tietoa jälkikäteen, mikä oli yksi vaatimus. Näin uunin sisäpuolinen vauriokuvaus voidaan lisätä samaan raporttiin ulkopuolisen lämpökuvan kanssa. Raporteilla voidaan arvioida uunien vaurioita lämpökuvauksista hyödyntämällä ennen uuniin sisälle pääsyä, mikä tulevaisuudessa helpottaa korjaussuunnitelmien luomista.

Tietopankin luominen ja kehittäminen koko Neste Oil Oyj -konsernin eduksi vaatii vielä työtä. Tietopankin valmistuminen tulee helpottamaan laitevastaavien työtä. Laitevastaavat määrittelevät uunien huoltotarpeen, tarvittavan henkilöstömäärän sekä aikataulutuksen. Raporttipohjaan tehtiin tilaa energiahäviöiden laskentaa varten, mikä tulee helpottamaan rahallisen hyödyn arviointia.

The utilization of thermal imaging in process furnace maintenance

Sonné, Iiro

Satakunnan ammattikorkeakoulu, Satakunta University of Applied Sciences

Degree Programme in Machine and production technology

Month 2015

Supervisor: (SAMK Oy): Zenger, Pekka

Supervisor: (Neste Oil Oyj): Arpalo, Maarit

Number of pages: 38

Appendices: 6

Keywords: thermographic camera, thermal imaging, process furnaces, control, seeing through flames camera, gas leak detection

The purpose of this thesis was to investigate the utilization of thermal imaging in the maintenance of process furnaces in the refinery of Neste Oil Corporation Naantali. A Database was created for evaluating what kind of damages to the insulating material in furnaces can be expected during the annual maintenance of the furnaces.

This work attempts to find out the existing thermal image's utilization. The thermal images are not suitable for detailed comparison of the temperature changes, as the imaging process lacks the possibility of repetition. For this reason, there were too many variables that substantially affect the temperature data. By comparing the thermal images one can, however, notice the extent of new insulation damage. This is more important information than the exact annual comparison of temperatures.

During the research an Excel-based follow-up worksheet for thermal imaging was created. A Word-based report of the imaging time is hyperlinked to the worksheet. Report templates were made suitable for Neste Oil with the assistance of Infradex limited company. Information can be added to Word-based reports afterwards, which was one of the requirements. This way the damage imaging results of the interior of the furnace can be added to the same report with the external thermal images. By employing thermal imaging in the reports, the damages in the furnaces can be estimated before the ability to enter the furnaces exists. This will facilitate the creation of repair plans in the future.

The creation and development of a database that will benefit the whole Neste Oil Corporation still requires further work. The completion of the databank will facilitate the work of equipment specialists, who are in charge of defining the necessity of furnace maintenance, the required number of personnel and scheduling. In the report template space was reserved for energy loss calculation, which will facilitate the assessment of monetary benefits.

ALKUSANAT

Työni ohjaajina ovat toimineet:

Arpalo Maarit Neste Oil Oyj

Zenger Pekka SAMK Oy

Lisäksi haluan erityisesti kiittää saamastani tuesta ja ohjauksesta seuraavia henkilöitä:

Aalto Mauri Neste Oil Oyj

Esko Virtanen Infradex Oy

Hirsimäki Timo Amitec Oy

Karihtala Juha Neste Oil Oyj

Lehtomäki Hermannin Infradex Oy

Leino Mirka SAMK Oy

Pirhonen Sami Neste Jacobs Oy

Suoninen Jari Neste Oil Oyj

Tuominen Eero Neste Oil Oyj

Valo Pauli SAMK Oy

Vihinen Seppo Infradex Oy

SISÄLLYS

ALKUSANAT	5
1 JOHDANTO.....	7
1.1 Neste Oil Oyj	7
2 PROSESSIUUNI.....	9
2.1 Unityypit	9
2.2 Naantalın jalostamon kulutus.....	11
2.2.1 Unien taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä	11
2.3 Unien eristeet	11
3 LÄMPÖKUVAUS	13
3.1 Tehdyt lämpökuvaukset Neste Oil Oyj:llä.....	13
3.1.1 Kuvakulman vaikutus kappaleen emissiivisyyteen	15
3.1.2 Emissiivisyys.....	16
3.1.3 Optiikkatarjonta.....	20
3.2 FLIR GF 309 -lämpökamera.....	22
3.2.1 Eristeiden kuvaus.....	22
3.2.2 Unintuubien kuvaus.....	23
3.2.3 Loppupäätelmä: FLIR GF 309	25
3.3 FLIR GF 320 -lämpökamera.....	27
3.3.1 Loppupäätelmä: FLIR GF 320	28
3.4 FLIR T 420sc lämpökamera	29
3.4.1 Unikuvaus.....	29
3.4.2 Muut lämpökuvaukset	29
3.4.3 Loppupäätelmä T 420sc	29
3.5 Muut lämpökamerakuvaukset jalostamolla	30
3.5.1 Laakerien kunnonseuranta.....	30
4 LÄMPÖKAMERAKUVIEN HYÖDYNTÄMINEN.....	32
4.1 Unin eristeen lämpökuvaukset.....	32
4.1.1 Unin seinän lämpöhäviön laskeminen.....	33
4.2 Unien tuubien kuvaukset.....	35
4.3 Unien työtilausten seuranta.....	35
5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET	36
5.1 Yhteenveto	36
5.2 Johtopäätökset.....	36
LÄHTEET.....	38
LIITTEET	41

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön tavoite on selvittää mahdollisuutta hyödyntää lämpökuvausta prosessiuunien ennakoivassa huollossa sekä luoda toimintatapa uunien vaurioiden ja tehdyn työn arkistoinnille. Työssä selvitetään olemassa olevien lämpökamerakuvien hyödyntämismahdollisuutta. Työssä käydään läpi myös perinteisen lämpökameran hyödyntämistä sekä liekkien läpi näkeviä ja kaasuvuotojen etsintään tarkoitettuja kame-roita prosessiuunien kunnossapidossa.

Naantalin jalostamolla on 22 prosessiuunia, jotka huolletaan normaalilla käyntijak-solla yleensä kuuden vuoden välein 4–6 viikon suurseisokeissa. Uunien eristeiden korjaustarpeet ovat tähän saakka selvinneet yleensä sisällepääsyvaiheessa, ja korja-uksien laajuutta on ennakoitu arvailten ja vanhan tiedon perusteella. Suurseisokin aika on rajallinen, minkä vuoksi esivalmistustyöt ovat suuressa roolissa remontin on-nistumisessa.

1.1 Neste Oil Oyj

Neste Oil Oyj on korkealaatuisiin ja tavallista puhtaamman liikenteen polttoaineisiin keskittyvä jalostus- ja markkinointiyhtiö. Naantalin erikoisjalostamo aloitti toimintan-sa 1957. Tärkeimpiin tuotteisiin lukeutuu esimerkiksi pienkonebenssiini, bitumi ja liuottimet. Jalostamon tuotanto on noin 3 miljoonaa tonnia vuodessa.

Neste Oil on valittu kahdeksan kertaa The Global 100 -listalle, joka koostuu 4 000 pörssilistatusta yhtiöstä eri toimialoilta. Vuonna 2014 Neste on ollut maailman kuu-denneksi vastuullisin ja 2013 maailman neljänneksi vastuullisin yritys. CDP Forest arvioi Neste Oilin yhdeksi öljy- ja kaasualan parhaista metsäjalanjäljestään huolehti-vista yrityksistä.

Yhtiö on valittu seitsemän kertaa peräkkäin maailmanlaajuiseen Dow Jonesin kestä-vän kehityksen indeksiin. Tunnuksen on saanut 340 yritystä. Arvostettuun indeksiin hyväksytyiltä yrityksiltä vaaditaan vahvaa sitoutumista kestäväan kehitykseen talou-dellisen, sosiaalisen ja ympäristövastuun alueilla sekä jatkuvaa kehitystyötä.

Neste Oil on maailman suurin uusiutuvan dieselin valmistaja. Yhtiön NEXBTL-dieselteknologialla valmistetaan selvästi parempaa biodieseliä kuin perinteinen biodieselin valmistustavalla. NEXBTL-teknologia mahdollistaa lähes minkä tahansa kasviöljyn tai eläinrasvan käytön uusiutuvan dieselin raaka-aineena.

Neste Oilin Singaporen vuonna 2010 ja Rotterdamin vuonna 2011 perustetuilla jalostamoilla valmistetaan yhteensä 1 600 000 tonnin vuosikapasiteetilla biopolttoainetta. Porvoon jalostamo aloitti NEXBTL-dieselin valmistuksen vuonna 2007, ja tuotantokapasiteetti oli 190 000 tonnia. Vuonna 2009 Porvoon jalostamon NEXBTL-dieselin tuotantokapasiteetti kaksinkertaistui. Jalostamoilla on seuraavat sertifikaatit: Ympäristö, ISO14001, Turvallisuus OHSAS 18001 ja laatu ISO 9001. /1/, /2/, /3/, /4/, /5/, /6/.

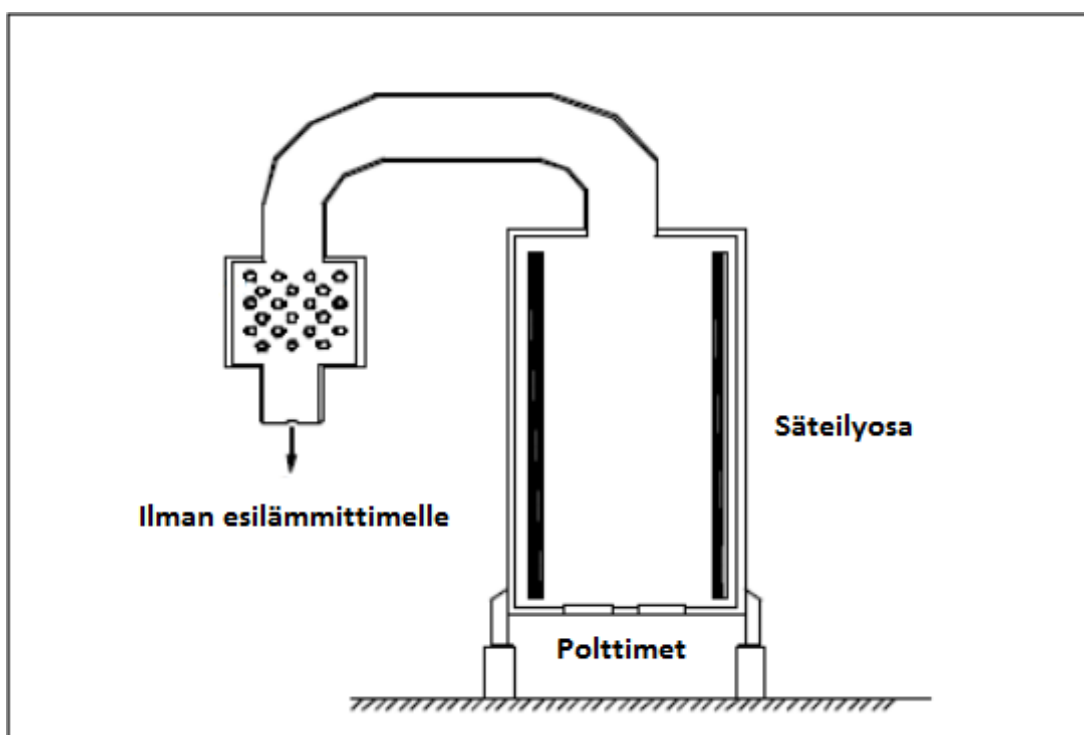
2 PROSESSIUUNI

Prosessiuunia tarvitaan, jos prosessin kiertoon kulkeutuvaa ainetta pitää lämmittää suurella lämmitysteholla, jotta saavutetaan haluttu kemiallinen reaktio ja lämmön tuonnin pitää tapahtua jaksoittain tai nopein muutoksin. /9/

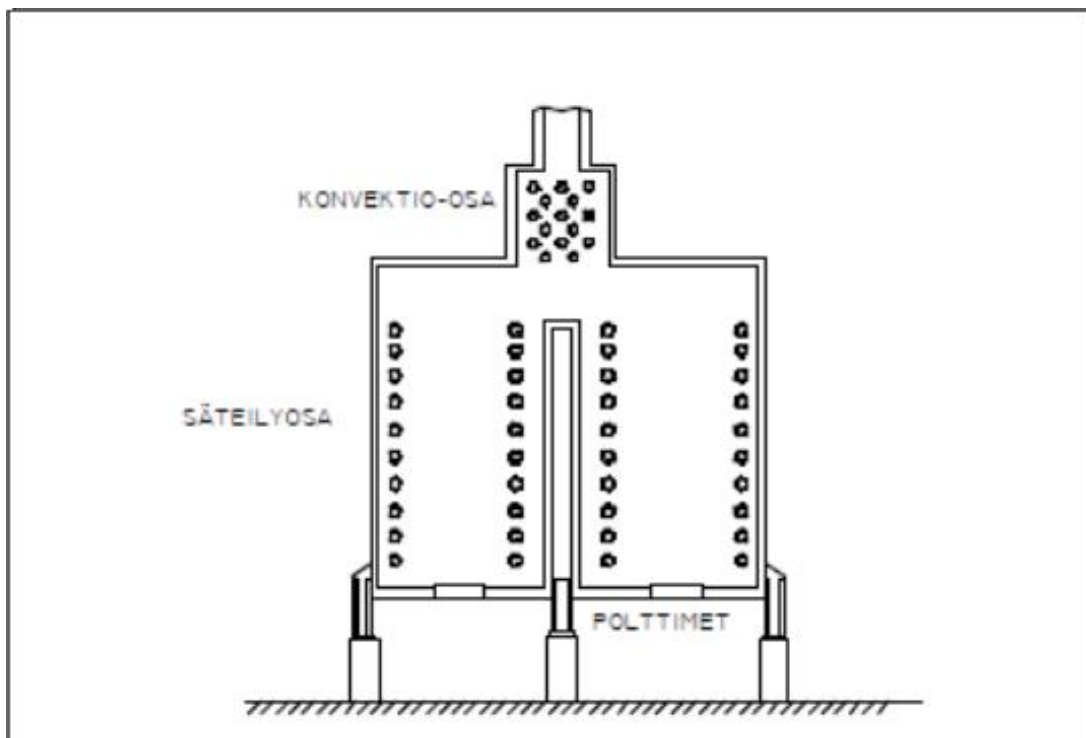
2.1 Uunityypit

Neste Oilin tavallisimmat uunityypit ovat pystysuora sylinteri-, laatikko- ja kaappiuuni (kuvat 1, 2 ja 3). Uunityypin valintaan vaikuttavat muun muassa rakennemateriaalien ominaisuudet, syötön ominaisuudet, käytettävissä oleva painehäviö, polttoaine ja sallitut päästöt ilmakehään.

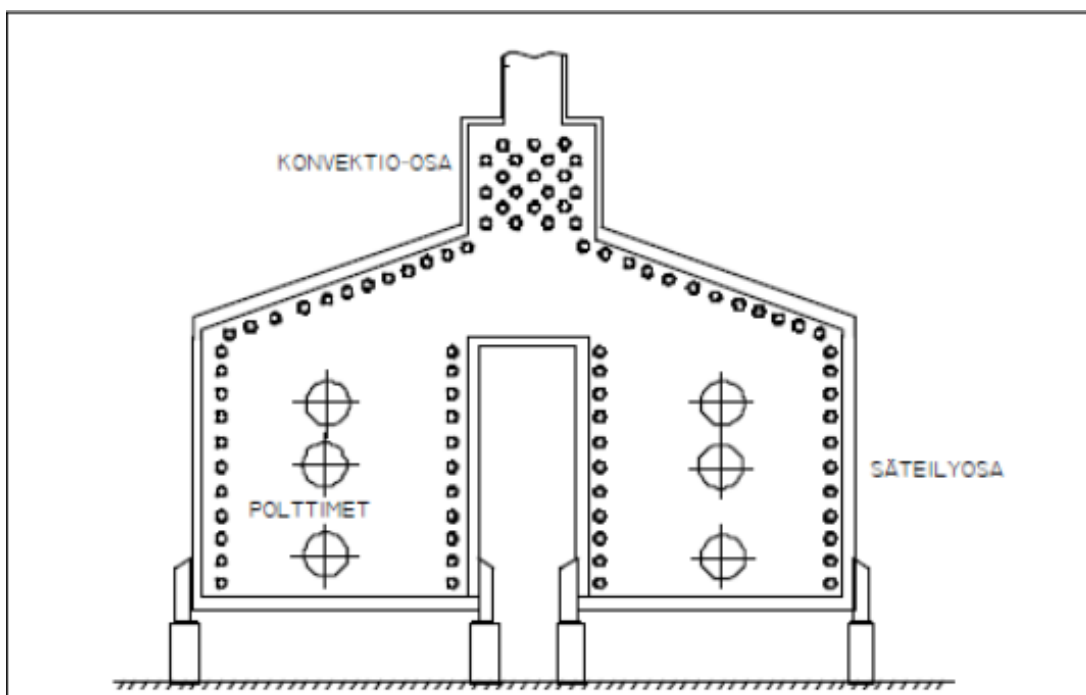
Uunin pääosia ovat polttimet, massaukset, tukirakenteet, eristykset, tuubit, savupiippu, ilma- ja savukanavat, suojaus- ja lukitusjärjestelmä sekä mahdollisesti ilman esilämmittimet ja puhaltimet. /9/



Kuva 1. Pystysuora sylinteriuun, polttimet lattiassa. /9/



Kuva 2. Laatikkouuni, kaksilohkoinen, polttimet lattiassa. /9/



Kuva 3. Kaappiuuni, kaksilohkoinen, säteilyosan tuubit vaakasuorassa, polttimet vastakkaisissa päädissä./9/

2.2 Naantalin jalostamon kulutus

Naantalin jalostamon uunien vuotuinen polttokaasun kulutus on noin 70 000 tonnin ja 75 000 tonnin välillä. Keskimääräinen polttoteho on 120MW. /10/

2.2.1 Uunien taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä

Uunin taloudellisista vaikuttavista tekijöistä tulenkestäviä eristeitä voidaan tarkastella lämpökuvauksen avulla uunin ulkopuolelta, joka kuitenkin vaatii tarkan toistomahdollisuuden luomisen jotta eristeiden väsymistä voitaisiin seurata lämpökuvauksen avulla. Ilman tarkkoja määrittelyksiä voidaan laskea suuntaa antava energiahäviö neliometriä kohden ja löytää alueita, joista eristeet ovat vaurioituneet.

Muita uunin taloudellisuuteen vaikuttavia tekijöitä ovat:

- polttokaasun laatu
- savukaasujen O₂-pitoisuus
- savukaasujen CO-pitoisuus
- veto
- tulipesän lämpöjakauma
- lämmönsiirtopintojen puhtaus
- uunien tiiviys
- poltinten kunto /9/, /14/

2.3 Uunien eristeet

Viimeisen parinkymmenen vuoden aikana tulenkestävien tiilten käyttö on vähentynyt, ja niitä on alettu käyttää vain lattiassa, tukemattomissa väliseinissä ja klausuureissa. Tiilimateriaaleja on kymmeniä, ja yleisimpiä seosaineita ovat alumiinioksidi, piioksidi ja magnesiumoksidi. Materiaali valitaan käyttökohteen olosuhteiden mukaan, ja seosaineita yhdistelemällä vaikutetaan esimerkiksi sulamispisteeseen, lämpölaajenemiseen, kovuuteen ja tiheyteen eli lämmönjohtavuuteen.

Tulenkestävää massaa käytetään tällä hetkellä yleisimmin jalostamoiden uunien eristysmateriaalina. Tulenkestävä tiili ja tulenkestävä massa eroavat pääasiassa valmistavaltaan. Massa syntyy, kun sementti ja täyteaine sekoitetaan veteen. Massa voidaan ruiskuttaa tai valaa asennuskohteeseensa. Massauksen kuivaus tehdään huolellisella ja varovaisella lämmittämällä, jotta massaukset eivät irtoa ankkuroinneista. Ankkuroinnit täytyy kiinnittää seinään riittävän tukevasti.

Keraaminen villa on jonkin verran käytössä uunieristyksissä keveytensä, helpon asennettavuutensa ja hyvän lämmöneristyskykynsä vuoksi. Keraamista villaa ei tule käyttää, jos siihen kohdistuu mekaanista rasitusta, kuten kuten lattiaan kohdistuvaa tai kovien virtausnopeuksien savukanaviin aiheuttamaa painetta. /9/

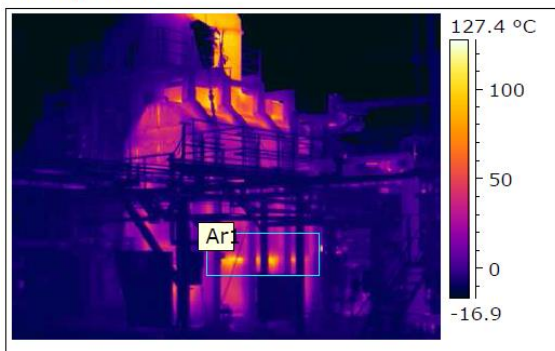
3 LÄMPÖKUVAUS

Lämpökameralla voidaan mitata pinnasta lähtevää lämpösäteilyä eli infrapunasäteilyä, mikäli lämpötila on yli absoluuttisen nollapisteen ($-273,15^{\circ}\text{C}$). Lämpökamera vastaanottaa pitkäaaltoista infrapunasäteilyä, mittaa sen voimakkuutta ja muuntaa sen lämpötilajakauman mukaiseksi kuvaksi. Lämpökamerat ovat tulleet alun perin sota-teollisuudesta, mutta ne ovat päässeet käyttöön esimerkiksi lääketieteessä, pelastustehtävissä, rajanvalvonnassa sekä teollisuudessa. Teollisuudessa kameran käyttö on yleistymässä kovaa vauhtia laadunvalvonnassa ja analysointilaitteena. /7/, /15/

3.1 Tehdyt lämpökuvaukset Neste Oil Oyj:llä

Neste Oil Naantalin jalostamo on teettänyt lämpökuvauksia vuosina 2006, 2012 ja 2013. Kuvista on laskettu teoreettista lämpöhäviötä, mutta tarkkaan hyödyntämiseen ei ole tähän mennessä päästy. /10/

BA 852 ja BA 851



Ar1 Max. Temperature	115.0 °C
----------------------	----------

Paikka: etelä

Sisäilman lämpötila	
Paine-ero rakenteen yli (negatiivinen = alipaine sisällä)	

Ulkolämpötila	-4.00 °C
Tuulen suunta / nopeus	W 8 m/s
Ilma	kirkas

Kuva 4. Kaappiuunin lämpökuva.

Kuva 4 on Neste Oilin tilaama lämpökuvauksen. Kuvat eivät kelpaa lämpötilojen muutoksen vertailevaan tutkimukseen, koska toistomahdollisuutta ei ole tehty vuonna 2006, jolloin ensimmäiset kuvat otettiin. Esimerkiksi kuvasta 4 kuvauskulman tiedot ja kameran paikan määrittely puuttuvat kokonaan. Emissiivisyyskerroin on laitettu vuoden 2006 kuviin, muttei uudempiin. Kuvassa 4 nähdään Ar1-kohdalla selvä lämpövuoto.



Kuva 5. BA-403 TCC pohjoinen seinä FLIR GF309.

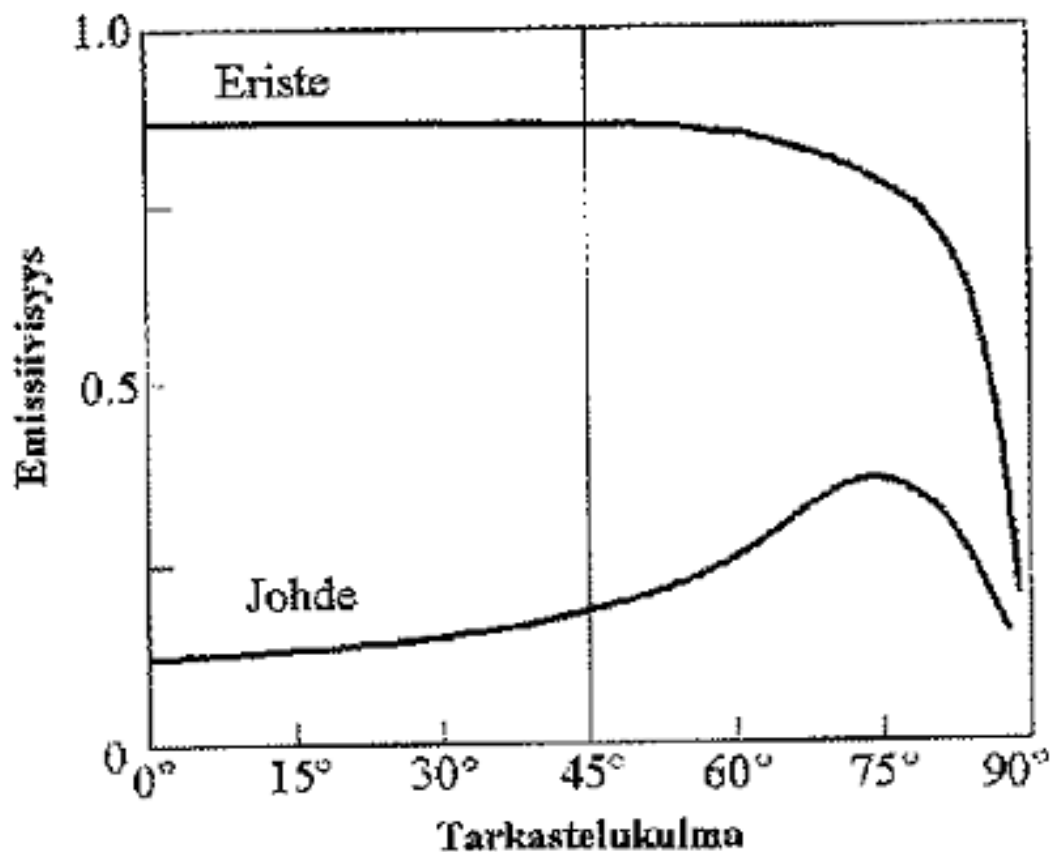
Lämpökuvassa (Kuva 5) tiedettiin nokikaapin muurausten irronneen, koska uunin seinät olivat alkaneet liikkua. Lämpökuvassa nähdään selvä kuuma piste vaurioituneella alueella.

Eri vuosien lämpökuvia vertailemalla nähdään kuvan 5 tapaiset suuret muutokset. Kuitenkaan tällaisella kuvaustavalla ei voida tarkkailla, kuinka paljon alueen (Ar1) lämpötila on vuoden päästä muuttunut, koska kuvausvaiheessa ei ole otettu ylös kameralan kulmaa, etäisyyttä kuvattavasta kohteesta ja muita tärkeitä tietoja. Ainoastaan emissiivisyyskerroin (1) on tiedossa. Kuvasta 5 voidaan kuitenkin havaita, että uunissa on jotakin normaalista poikkeavaa. Tarkkaan lämpötilamuutoksen seurantaan ei ole tarvetta, koska eristeiden kulumista ei ole tarpeen seurata tässä vaiheessa.

Lämpökamerakuvien hyödyntäminen ulkopuolisella kuvauksella eristeiden suurien vaurioiden etsinnässä on kannattavaa, mikäli halutaan etsiä vaurioituneet kohdat eikä vertailla lämpötila muutoksia.

3.1.1 Kuvakulman vaikutus kappaleen emissiivisyyteen

Kamera tulee asettaa mahdollisimman kohtisuoraan kuvattavan kohteen kanssa, jotta kuvauskulma ei vaikuta emissiivisyyteen. Kuva 6 näyttää tarkastelukulman vaikutuksen lämpökuvauksen emissiivisyys kertoimeen.



Kuva 6. Kuvakulman vaikutus emissiivisyyskertoimeen. /15/

3.1.2 Emissiivisyys

Emissiivisyys tarkoittaa kappaleen kykyä luovuttaa eli emittoida lämpöä ympäristöönsä. Emissiivisyyskerroin kertoo kappaleen emissiivisyyden suhteessa mustaan kappaleeseen eli eräänlaiseen ideaaliseen kappaleeseen. Emissiivisyyskerroin lasketaan mitatun lämpötilan ja oikean lämpötilan suhteena. Emissiivisyyskerroin on aina yhden ja nollan välillä. Mitä lähempänä ollaan mustan kappaleen emissiota, sitä suurempi emissiokerroin on. Esimerkiksi ihmisihon emissiivisyyskerroin on noin 0.98, kun taas kiillotetun alumiinin 0.05. Emissiivisyyskertoimen symboli on ϵ (epsilon). Kertoimella varmistetaan, että kameras antamat lämpötilatiedot ovat oikeita. Jos kameralle syötetty emissiivisyyskerroin on kohdemateriaalille liian suuri, nähdään kohde kylmempänä kuin se oikeasti on.

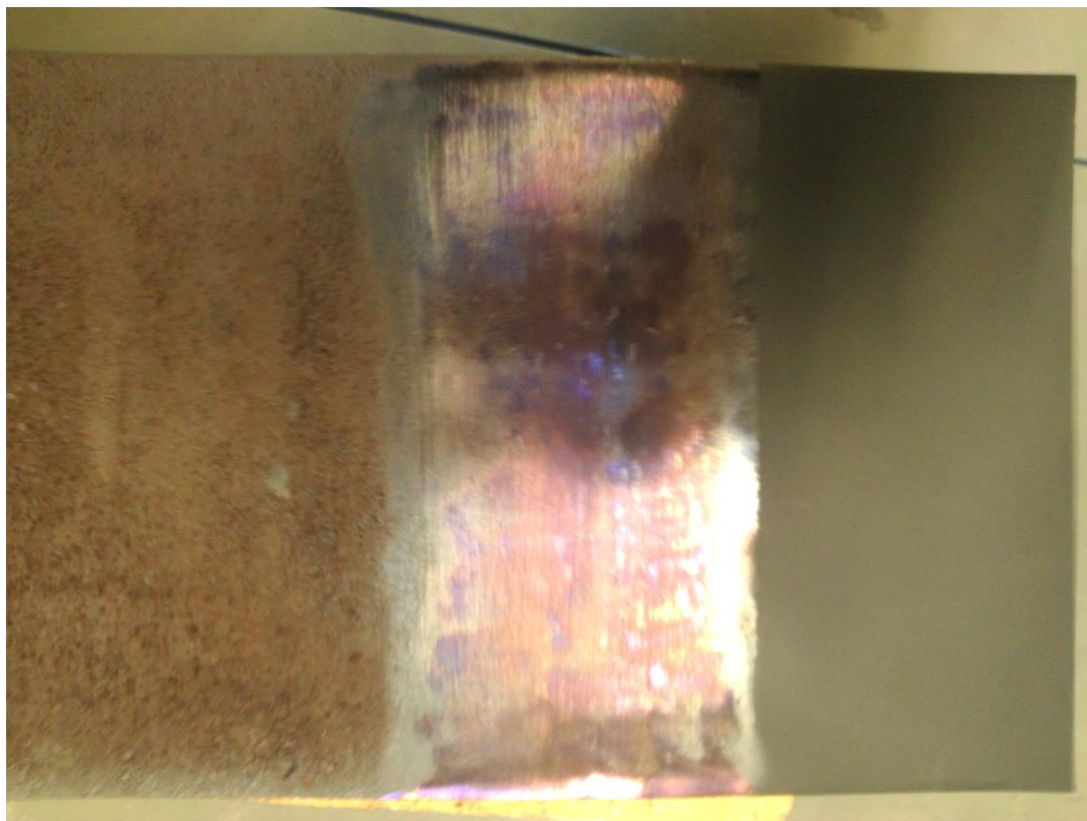
Mikäli halutaan suuresta kohteesta absoluuttinen mittaustulos, tulee määrittää emissiokerroin sen materiaalin mukaan, josta tulos halutaan. Mikäli kuvauskohteessa tiedetään olevan useita eri emissiivisyyksiä, voidaan kappale kuvata usealla kertoimella, jotta tarkka lämpötila saavutetaan. Toisaalta useimmilla ohjelmilla emissiivisyyskertoimen arvoa voidaan vaihdella tallennettuihin kuviin, ja näin kuvasta voidaan tarkastella kohteiden absoluuttisia lämpötiloja eri materiaalien kohdilta.

Emissiokerroin voidaan katsoa taulukosta (Liite 1), mutta se ei ole niin varma menetelmä kuin kappaleen lämpötilan mittaaminen kosketuslämpömittarilla. Jos kohdemateriaalin lämpötila voidaan mitata kosketuslämpömittarilla, voidaan tietoa verrata kameralla saatavaan lämpötilatietoon. Emissiokerroin saadaan, kun kosketuslämpömittarilla saatu lämpötila jaetaan kameralla saadulla lämpötilalla.

$$\frac{\text{Kuvasta näkyvä lämpötila}}{\text{Todellinen lämpötila}} = \text{Emissiokerroin}$$

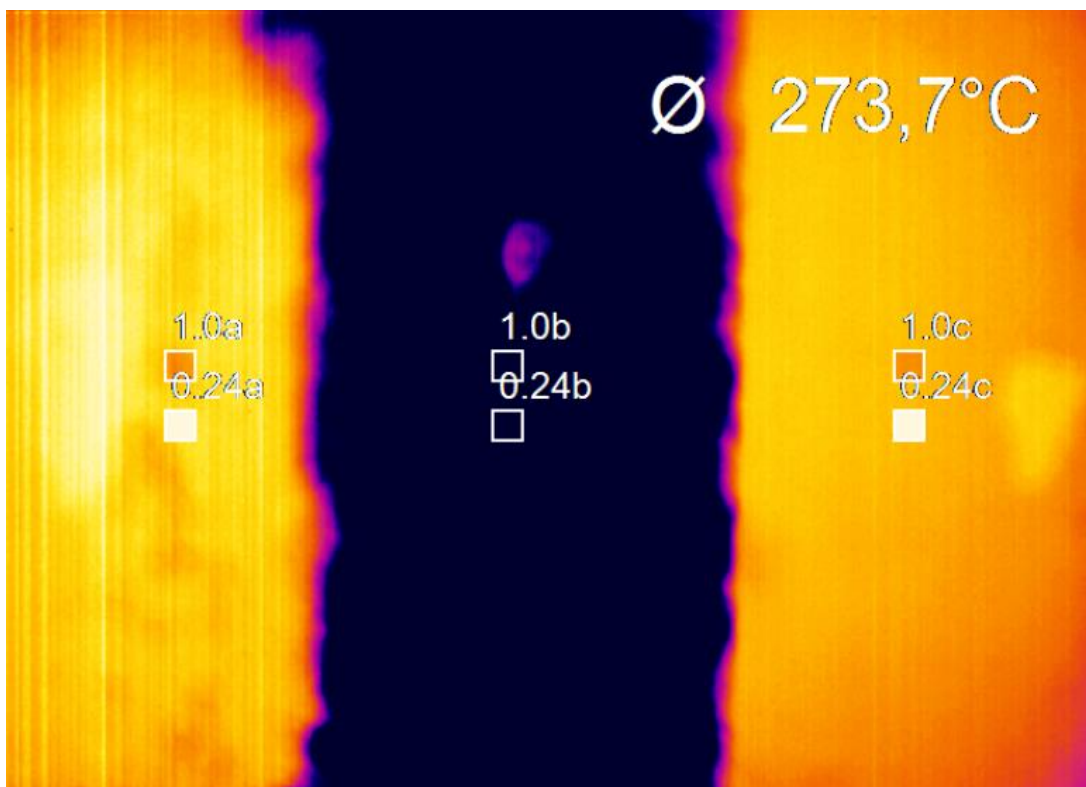
Kaava 1. Emissiokerroin laskemalla.

Kaava 1 toimii vain, kun lämpökameran emissiivisyyskerroin on asetettu ykköseksi. Esimerkiksi jos alumiinin lämpötila on todellisuudessa 100 °C ja kameran kerroin on yksi, saadaan alumiinin lämpötilaksi kameralla 35 °C. Näiden suhteeksi saadaan 0.35, joka on siis tässä kohteessa kameralle syötettävä emissiivisyyskerroin kaavalla 1. Siten saadaan kameralla alumiinin pinnan lämpötilaksi 100 °C. Esimerkkejä emissiokerroimista on liitteessä 1.



Kuva 7. Digitaalikuva lämmitetystä kappaleesta.

Kuvassa 7 on kymmenen millimetrin paksuinen rautalevy pala, joka hiottiin puoliksi. Hiomisen jälkeen puolet kiillotetusta osasta maalattiin mattamustalla ja puolet jätettiin kiiltäväksi. Kappale oli uunissa 280 asteen lämpötilassa kolme tuntia, jonka jälkeen kappaleesta otettiin videokuvaa, lisättiin mittauspisteet ja otettiin kuvankaappaus (Kuva 8). Lämpötilat ovat taulukossa 1.



Kuva 8. Lämpökuva samasta kappaleesta.

Kuvassa 8 on 10 millimetrin paksuisen rautalevyn lämpökuva. Kappale on lämmitetty uunissa 280 asteeseen.

Taulukko 1. Emissiivisyyden vaikutus pinnoilla.

Pinta	Lämpöpiste	Kameralle asetettu emissiivisyys	Lämpötilat lämpöpisteissä	Pinnan todellinen lämpö	Kaava 1
Ruoste	1.0a	1	273,7	282	0,97
Kiillotettu	1.0b	1	125	286,7	0,44
Mattamusta	1.0a	1	273,3	282,7	0,97
Ruoste	0.24a	0,24	603,7	282	-
Kiillotettu	0.24b	0,24	162,7	286,7	-
Mattamusta	0.24c	0,24	591,3	282,7	-

Taulukko 1 ”Lämpöpiste” mittauspisteet löytyvät kuvasta 8. Ruosteen emissiivisyys on 0,24. Kuitenkin lämpöpiste 0.24a antoi lämpökuvalla tulokseksi 603,7 °C, joka on 321,7 °C liikaa, koska pintamittauksella lämpötila oli vain 282 °C. Kappale ei ilmeisesti ollut riittävän ruosteinen, koska lämpöpiste 1.0a:ssa käytettiin kertoimena ykköstä, jonka heitto todelliseen lämpötilaan oli vain 8,3 °C. Kaava 1 on laskennallinen

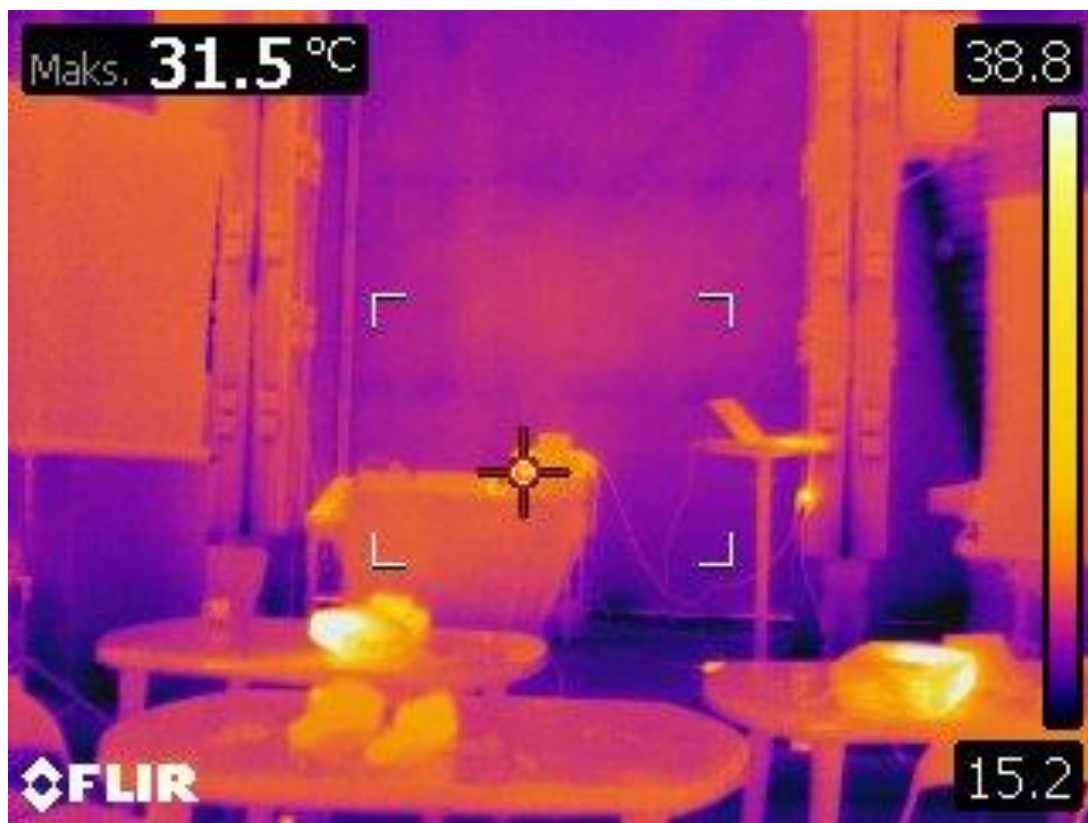
emissiivisyyskerroin, joka saatiin ”kameralle asetettu emissivisyys” jaettuna ”pinnan todellinen lämpötila”./15/

3.1.3 Optiikkatarjonta

FLIR:n lämpökameravalikoimassa on myös erillisiä optiikoita kameroihin. Esimerkiksi FLIR T420sc:n mukana tarjotaan 45°-optiikkaa niin sanottuna pakettiratkaisuna. Kuvat 9, 10 ja 11 on otettu samasta kohteesta samalta etäisyydeltä eri optiikoilla.



Kuva 9. 25°:n optiikalla. /13/



Kuva 10. 45°:n optiikalla. /13/



Kuva 11. 90°:n optiikalla. /13/

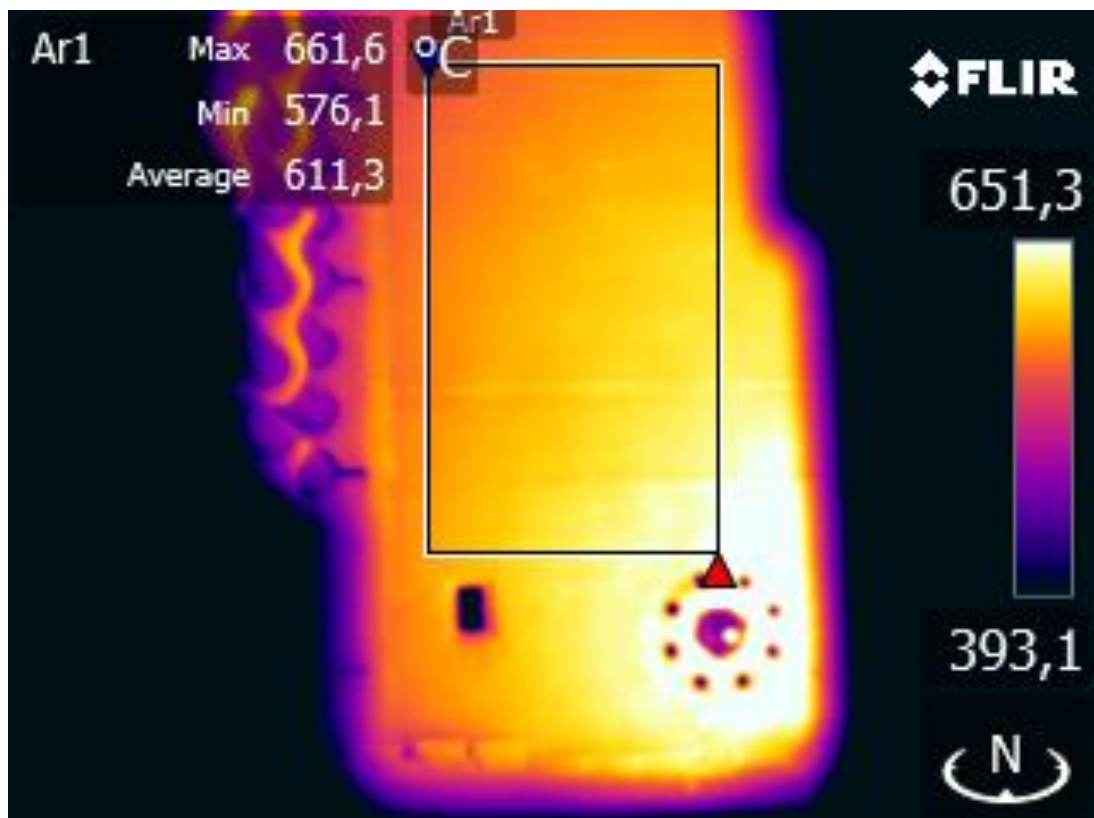
Lämpökameroissa käytetään yleensä kuvan 9 mukaista 25°:n optiikkaa. Kuvan 11 mukainen 90°:n optiikka on hinnaltaan selvästi kuvan 10 mukaista 45°:n optiikkaa suurempi. Tämän opinnäytetyön perusteella ei voida sanoa ehdottomasti, soveltuuko 90°:n optiikka Neste Oil Oyj:lle, mutta 45°:n optiikkaa tulisi harkita./13/

3.2 FLIR GF 309 -lämpökamera

Liekkien läpi näkevä lämpökamera on Stirling-microcooler-tekniikalla jäähdytetty detektori, joka on tarkoitettu teollisuuden uunikuvauksiin. Siinä täytyy nähdä liekin läpi. Kameran IR-resoluutio on 320 x 240 pikseliä ja lämpöalue -40°C - +1500°C /16/

3.2.1 Eristeiden kuvaus

Eristeiden lämpökuvauksessa tarvittaessa liekkien läpi näkevällä kameralla pystytään sanomaan tarpeelliseksi opinnäytetyön tekovaiheessa, mutta yleisesti eristeet kestävät hyvin korkeitakin lämpötiloja, jotka otetaan huomioon suunnitteluvaiheessa./11/



Kuva 12. Uunin BA-401 eristekuva.

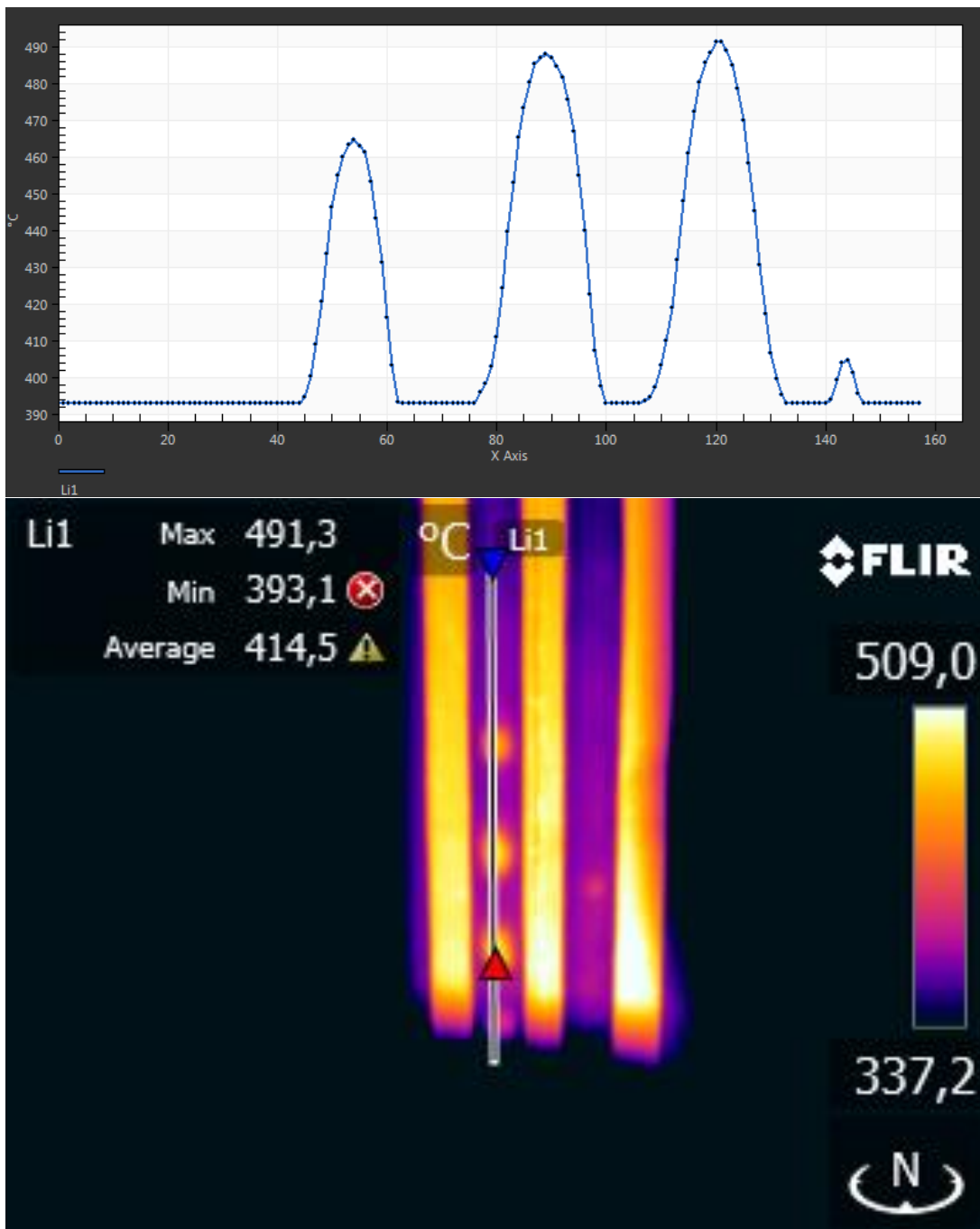
Kuva 12 on lämpökuva, joka otettiin prosessiuuni BA-401:n sisäpuolelta merenpuolisesta seinästä opinnäytetyötä varten. Maksimilämpötila 661,6 °C löytyy polttimon vierestä. Uunissa oli normaalit olosuhteet 2.9.2014. Koesyöttö oli 23 t/h ja kokonaisyöttö 70 t/h.

Liekkien läpi näkevän lämpökameran soveltuvuutta eristeiden vaurioiden etsintään emme päässeet todistamaan testipäivänä, koska kurkistusluukuista ei havaittu yhtään selvää vauriota eristeissä.

3.2.2 Uunintuubien kuvaus

Tuubien halkaisijamitoitus määräytyy prosessiolosuhteiden perusteella, ja halkaisijan valintaan vaikuttaa sallittu painehäviö, kriittinen virtausnopeus sekä lämmönsiirto-kerroin. Seinämäpaksuus valitaan korroosiovaran tarpeen, suunnittelupaineen sekä suunnittelulämpötilan perusteella.

Käytettävät materiaalit on määrätty uunispesifikaatiossa ja Inspectan prosessi-uunipäätöksessä./9/



Kuva 13. BA-1201 RT2 (Raakaöljyn Tislaus) sylinteri uunin tuubit.

Kuva 13 otettiin liekkien läpi näkevällä kameralla. Raakaöljy tislausyksikön prosessin uunin pintalämpötila-anturit olivat ruvenneet näyttämään osittain normaalia korkeampia lukemia. Antureiden korkea lukema oli ainakin osin oikea, koska putkistot olivat alkaneet koksautua. Koksautumista pidettiin epätodennäköisenä, koska uuni on asennettu vuonna 2012 suurseisokissa. Lämpökuvasta 10 nähdään tuubissa olevan kolme koksautumispistettä.

Putkisto lämpökuvan yläpuolella on graafinen malli putken lämpötilasta viivan (Li1) osoittamalta alueelta. Graafinen taulukko saatiin FLIR ResearchIR -ohjelmistolla. Kuvassa nähtävät kolme kuumapistettä lyhentävät tuubin suunniteltua 100 000 tunnin käyttöaikaa. Kuitenkaan tässä tapauksessa ei ylitetä tuubin suunniteltua 527 °C:n lämpötilan kestoa. Käyttöajan päätyttyä tuubit joudutaan tarkastamaan ja tarpeen mukaan vaihtamaan.

Kuumissa pisteissä tapahtunut koksautuminen on aiheutunut mahdollisesti pitkään jatkuneesta pienellä kapasiteetilla ajosta. Uunilla voidaan ajaa minimikapasiteetilla, mutta se ei ole suositeltavaa pitkässä ajossa.

Yli 527 °C:n lämpötila voi aiheuttaa tuubin repeytymisen, jolloin tuubin sisälle menevä hiilivetyvirta pääsee uunin polttimien kanssa samaan tilaan. Tämä johtaa uunin sisäiseen tulipaloon, jolloin laite on ajettava hallitusti alas. Uunin rikkoutuminen aiheuttaa suunnittelemattoman seisokin. Korjausten lisäksi aiheutuu tuotantotappioita.

Koksia poistetaan tuubeista possuttamalla normaalilla huoltokäytännöllä, kun yksikö otetaan huoltoon./11/

3.2.3 Loppupäätelmä: FLIR GF 309

Kamera on erittäin käyttäjäystävällinen. Videokuvauksella voidaan kuvata kaikki mahdollinen, mitä kurkistusluukusta nähdään. Kiinnostavat kohteet voidaan tarkentaa autofocus-painikkeella, ja lopuksi tulokset kerätään ResearchIR-ohjelmistolle.

Mikäli kameraa käytetään tulevaisuudessa useammin, tulisi uunien kurkistusluukut numeroida kiinteillä kylteillä, jotta kuvaaja voi merkitä, missä uunissa ja luukussa hän on kuvaushetkellä. Oikeiden luukkujen tarkastus jälkikäteen on lähes mahdotonta, jos kuvauskohteenä on pystysuora sylinteriuuni, joka näyttää jokaisesta luukusta lähes samanlaiselta. Kurkistusluukut täytyy tehdä niin, että lämpökuvaaaja voi jättää kuvauksen ajaksi luukun auki. Tämän mahdollistaminen säästää resursseja, ja kuvaukset voidaan suorittaa ilman kiirettä.

Kameralle täytyy hankkia kolmijalka, jolla voidaan määritellä kuvauskulma. Tämä tulee helpottamaan kuvauksen toistoa. Toiston mahdollisuus on tärkeä, mikäli halutaan seurata tarkasti lämpötilan nousua. Kameralaukkuun pitäisi lisätä myös pinnan lämpötilamittari, kosteusmittari ja ilmanpainemittari.

Tärkeimpiä tehtäviä on uunin tuubien emissiivisyyden määrittäminen, joka voidaan tehdä uunin sisällä pinnanlämpötila-antureilla ja lämpökameralla. Tuubien mitatut emissiivisyys tiedot täytyy ottaa talteen, jotta kyetään tekemään tätä tarkempaa lämpökuvausta. Jos uunien sisälämpötilojen mittaaminen pintalämpömittarilla on vaikeaa tai mahdotonta, voidaan emissiivisyyskerroin arvioida myös emissiivisyyskerrointa kamerassa vaihdellen ja suunnilleen oikeita lämpötiloja etsien. Kun emissiivisyyskerroin on arvioitu mahdollisimman hyvin, se merkitään tarkasti muistiin, jotta samaa emissiivisyyskerrointa voidaan käyttää seuraavilla kerroilla. Siten eri aikaan otetut kuvat ovat vertailukelpoisia, mutta absoluuttisesti oikeita lämpötiloja ei saada.

Mielenkiintoa herättävän uunintuubin tarkan sijainnin selvittäminen on työlästä, etenkin sylinteriuunissa, koska kaikki näyttää samalta kurkistusluukusta katsottuna. Uunien sisälle pitäisi saada lämpökameralla nähtäviä kiintopisteitä, jotka helpottaisivat mielenkiintoa herättävän tuubin tarkan sijainnin määrittämisessä.

Kameran resoluutio 320x240 pikseliä on riittävä jalostamalla tehtäviin sähkökaapelikuvauksiin ja uunin ulkopuolisiin kuvauksiin. Kameran hinta kasvaisi merkittävästi, mikäli käytettäisiin VGA-laatua, joka on 640x480 pikseliä. Kun kameralla kuvataan 6400 mm leveää seinää, VGA-laadulla saataisiin pikselikooksi 10x10 mm, josta saadaan sama lämpötila neliölle. Resoluutiolaadulla 320x240 samalla seinäpituudella saadaan pikselikooksi 20x20 mm.

Suomessa ei ole kokemusta GF309-kameran huollosta, koska niitä ei ole ollut täällä käytössä riittävän kauan. Yleisesti lämpökameroista voi hajota esimerkiksi elektronikka, mutta tämä vika ilmenee yleensä heti takuuajalla. Detectori eli kenno ja kompressorijäähdytys ovat kulutusosaa, mutta FLIR antaa kameralleen takuuksi 6 000 tuntia tai kaksi vuotta. Siltikään ei voida sanoa kennon hajoavan välittömästi käyttötuntien kuluttua umpeen.

Naantalissa liekkien läpi näkevän kameran tarve ulkopuolisen toimijan tekemänä työnä oli kaksi päivää vuodessa, mutta kamera on ostettu Naantaliin, ja kuvauspäiviä tulee olemaan huomattavasti tätä useammin. Laskennallisesti kameran tekninen puoli ei petä seuraavan kymmenen vuoden aikana. Tällä aikavälillä saadaan hyödyllistä tietoa uunien tuubeista. Suurin riski kameralle on putoaminen tai kolhiintuminen.
/13/, /14/

3.3 FLIR GF 320 -lämpökamera

GF 320 -lämpökamera on tarkoitettu kaasuvuotojen havainnointiin.

Kameran IR-resoluutio on 320x240 pikseliä ja lämpöalue -40°C - $+350^{\circ}\text{C}$.



Kuva 14. Neste Oil Naantalın savupiipun lämpökuva.



Kuva 15. Neste Oil Naantalin savupiipun (high-sensitive).

Kamerassa on eri herkkyysasetuksia. Kuva 14 on edustaa herkempää kuvausmuoto, jolloin vuodot on helpompi paikantaa. Kuva 15 on normaalia lämpökuvausta, jolloin pieniä vuotoja on vaikea havaita. Kaasuvuoto Kameralla otetaan aina lämpökuvavideota. Kun vuotokohta löytyy, voidaan vaihtaa high sensitive -kuvaustilaan, jolloin vuoto näkyy videokuvassa entistä selvemmin.

3.3.1 Loppupäätelmä: FLIR GF 320

Kameran käyttö vaatii totuttelua, kun kameran herkkyyttä säädetään.

Kamera tulee tulevaisuudessa tarpeeseen öljynjalostamoilla ja kaasuteollisuudessa, koska kameralla havaitaan vuodot nopeasti ja helposti. Hankinta on lähes välttämätön, koska EU-komission kokouksessa 9.10.2014 on päätetty, että öljynjalostuksessa ja kaasuteollisuudessa tulisi käyttää parasta mahdollista tekniikkaa teollisuuden päästöjen havainnointiin. FLIR tarjoaa GF 320-lämpökameran, jolla hiilivetypäästöt näkyvät. Liite 2 ”Gas Finder Kaasut” kertoo eri kameramallien soveltuvuudesta eri kaasuille. /13/, /18/

3.4 FLIR T 420sc lämpökamera

Flir T 420sc on lämpökuvauksiin tarkoitettu lämpökamera, johon voidaan varustaa 45°:n optiikka. Kameran IR-resoluutio on 320x240 pikseliä ja lämpöalue -20°C - +650°C.

3.4.1 Uunikuvaus

T420sc-kameran soveltuvuutta uunikuvaukseen ei ole testattu erikseen, mutta kamera kuulostaa esittelyn perusteella hyvältä. Se on muotoiltu käyttäjäystävällisesti, minkä ansiosta kamerasta saadaan tukeva ote. Optiikka liikkuu 120° ylös ja alas. Resoluutio 320x240 pikseliä on riittävä uunikuvauksiin. Suurin hyöty tällä mallilla saadaan, kun siinä käytetään 45°:n optiikkaa. Sen avulla kuvauskulma laajenee, uunin läheltä pystytään kuvaamaan entistä laajemmalla alueella ja selvittämään lämpöhäviöalueen pinta-ala entistä helpommin./13/

3.4.2 Muut lämpökuvaukset

Lämpökamera soveltuu sähkökaapelikuvaukseen ja samantyylistä kameraa on käytetty Naantalissa sähkölaitekuvauksissa. Jos Neste Oil Oyj näkee hyötyvänsä laakerien lämpökuvauksesta, kamera soveltuu myös tähän käyttöön.

3.4.3 Loppupäätelmä T 420sc

FLIR T 420sc 45°:n lisäoptiikalla varustettuna on kustannustehokas vaihtoehto. Vaikka FLIR GF 309 soveltuu samoihin kuvauksiin kuin T420sc, on huomattava, että GF 309:n suurin käyttöikänsä vaikuttava tekijä on putoaminen ja kolhiintuminen. T 420 on kymmenen kertaa halvempi vaihtoehto, joten se on edullinen vaihtoehto GF 309-lämpökameralle, jota tulee käyttää vain uunien sisäpuolisiin kuvauksiin.

3.5 Muut lämpökamerakuvaukset jalostamolla

Naantalin jalostamolla sähkökeskuksia kuvataan ennakoivaa kunnossapitoa varten, jota tällä hetkellä tekee ulkopuolinen toimitsija sähköosaston avustuksella kerran vuodessa.

Höyryosasto käyttää lämpökuvausta tarkastaakseen, onko höyrysaatto kylmä eli paineeton, kun epäillään putkitukosta esimerkiksi bitumilinjoissa. Lauhteenpoistimien tarkastukseen lämpökuvaus on myös kelvollinen, kun etsitään kiireellä rikkinäistä eli kylmää lauhteenpoistinta, joka on esimerkiksi tukossa tai jonka alkoholinappi on vioittunut. VPK 40EX -tiedonkeruuyksikkö on lämpökameraa parempi lauhteenpoistimien ennakoivassa huollossa, koska laitteisto osaa määritellä lauhteenpoistimen vian (patoaminen, kylmä ja kunnossa). Lämpökameralla lauhteenpoistimen patoamisen toteaminen vaatii enemmän ammattitaitoa, kun taas VPK 40EX:ssä riittää laitteiston käyttökoulutus. /19/

3.5.1 Laakerien kunnonseuranta

Laakerien kunnonseurantaan ei käytetä lämpökameraa. Käytössä on värähtelymittaus. Värähtelymittaus on yleisimmin käytetty menetelmä kunnonvalvonnassa, ja sitä käytetään menestyksekkäästi käytönaikaisessa kunnonvalvonnassa ja vikaselvityksissä. Oikein sovellettuna värähtelymittaus on useimmissa tapauksissa vieläkin paras ennakoivan kunnossapidon mittaumenetelmä. Verhokäyräanalyysi, vaihekulmaanalyysi ja spektrianalyysin tarkastelu ohjelmistoilla kuuluvat mittauksen jälkeisiin toimenpiteisiin, jolloin tulokset analysoidaan. Vioittuva laakeri havaitaan värähtelymittauksella parhaimmillaan vuosi ennen hajoamista.

Tuotanto voi hyödyntää lämpökuvausta laakerien kunnonseurannassa iltaisin ja öisin, mikäli laitteessa havaitaan epänormaalia käyntiääntä. Epänormaalisti ääniteleviä laitteita todetaan vuosittain keskimäärin kuusi. Aamulla on todettu äänen johtuvan laakerivauriosta, jolloin tieto on myöhässä ja aiheuttaa usean tuhannen euron korjauksen laitteesta riippuen. Osa äänihavainnoista on aiheutunut hankauksesta tai kavitaatiosta.

Mikäli lämpökuvausta hyödynnettäisiin laakerien kunnon seurannassa, laakerit tulisi kuvata säännöllisesti, jotta voitaisiin luoda vertailukohteet. Kunnonvalvontavälineestä riippumatta on tärkeää käsitellä ja dokumentoida mittaustulokset oikein. Laakerien lämpökuvauksen hyödyntämisestä Neste Oil Naantalin jalostamolla saavutettaisiin hyötyä, mutta se vaatii suurta työpanosta alkuvaiheessa. /20/

4 LÄMPÖKAMERAKUVIEN HYÖDYNTÄMINEN

Neste Oilin on kannattavaa kouluttaa oma lämpökuvausasiantuntija, joka pääasiassa hoitaisi jalostamalla tehtäviä kuvauksia sekä raportointia ja suorittaisi ITC Level 1 lämpökuvauskurssin. Tällöin jalostamalla olisi mahdollisuus kehittää kuvaustoimintaa, josta ulkopuoliset toimitsijat eivät ole välttämättä kiinnostuneita. Kiireelliset kuvaukset ovat helpompi hoitaa, mikäli ammattitaito on paikan päällä ja kuvia osataan ottaa ja tulkita oikein. /14/, /17/

4.1 Uunin eristeen lämpökuvaukset

Uunien lämpökuvauksia varten tehtiin valmiiksi Word-pohjainen raporttimalli. Raporttipohjaan lisätään uunien ulkopuoliset lämpökuvat digitaalikuviensa kanssa.

Lämpökuvausvaiheessa tulee huomioida kuvauskulmat suurin piirtein samoiksi, jotta voidaan seurata, tapahtuuko uunien eristeissä jotain kriittistä. Tieteellisesti pätevää kuvausta ei ole tarkoitus tehdä, jolloin mahdollisesti huomattaisiin pienet lämpötilaerot uunien eristeissä eri kuvauskertojen välillä. Mikäli uunissa havaitaan epänormaalia lämpövuotoa, tulee tästä tehdä tarkempi lämpökuvaraportti, koska uunin aukaisuvaiheessa samaan raporttiin lisätään uunin sisäpuolelta digitaalikuva mahdollisesta vauriosta, jos sellainen havaitaan. Kuvan lisäksi tulee kirjata vaurion tarkka sijainti, koko ja se, mitä täytyy tehdä, jotta vaurio pystytään korjaamaan. Korjaamisesta tulee tehdä merkintä, jotta tulevaisuudessa nähdään, uusiutuuko vaurio tai vaatiiko korjaus erityistoimia kuten rakenteiden väliaikaista purkamista

Uunieristeiden raporteilla tavoitellaan tietopankkia, jolla voidaan varautua ennakoivasti uunien huoltotöihin. Ennakoiva varautuminen edesauttaa uunien eristeiden huolellista korjausta ja sitä, että henkilöstön määrä mitoitetaan riittäväksi. Lämpökuvaraportit täytyy lisätä huolellisesti lämpökuvien seurantataulukkoon, jotta kaikki tietoja tarvitsevat löytävät haluamansa dokumentin.

Raporttipohjamalli ja seurantaulukko on tehty niillä tiedoilla, jotka ovat olleet opin- näytetyön tekovaiheessa. Taulukon ja raporttipohjan kehitysvastuu on Neste Oil

Oyj:llä. Mikäli puutteita havaitaan, tulee nämä saattaa muiden tietoon ja tehdä taulukkoon sekä raporttipohjaan tarvittavat muutokset. Prosessiuuneja huolletaan pääasiassa suurseisokeissa kuuden vuoden välein, minkä takia on tärkeää pohtia etukäteen, mitä tietoja tarvitaan ennen uunihuoltoa ja sen jälkeen. Uunikansioihin tulisi lisätä uunien rakennekuvia, jotta voidaan selvittää, mitä rakenteellisia purkutöitä korjaustyö edellyttää. Eristetiedot on lisättävä uunikansioihin niin, että kuka tahansa löytää kohteen uunin ja tietää, mitä sille tehtiin huollossa. Nämä tiedot auttavat välttämään jatkossa sellaisia eristeaineita, jotka eivät soveltuneet kohteeseen.

4.1.1 Uunin seinän lämpöhäviön laskeminen

Selvitetään laskemalla uunin vuotokohdan (Kuva 5 Ar1 pinta-ala arvioitu) kokonaislämpöhäviö pinnasta. Se koostuu säteily- ja konvektiolämpöhäviöstä.

ϕ_s = säteilylämpöhäviö (kW)

$T_{p,kesk.}$ = pinnan keskimääräinen lämpötila (K) = (273 + 131) K = 404 K

$T_{ymp.}$ = ympäristön keskimääräinen lämpötila (K) = (273 + 15) K = 288 K

A = lämmönsiirtopinta-ala (m^2) = (2 x 5) m^2 = 10 m^2

σ_{SB} = Stefan-Bolzmann vakio ($5,67 \times 10^{-8} \text{ W}/(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$)

ϵ = emissiivisyyskerroin

$$\phi_s = \epsilon \times \sigma_{SB} \times A \times (T_{p,kesk.}^4 - T_{ymp.}^4)$$

$$\phi_s = 0,85 \times 5,67 \times 10^{-8} / (m^2 \text{ } ^\circ\text{C}) \times 10 \text{ m}^2 (404^4 - 288^4) \text{ K}^4 = 9523 \text{ W} = \underline{9,523 \text{ kW}} \quad (1)$$

ϕ_k = konvektiivinen lämpöhäviö (kW)

α_k = pinnan konvektiivinen lämmönsiirtokerroin ($\text{W}/(m^2 \text{ } ^\circ\text{C})$)

N_u = Nusseltin luku eli dimensioton lämmönsiirtokerroin (konvektio)

l = seinämän mitta (m) = 5 m (leveys)

λ = lämmönjohtavuus lämpöä siirtävälle aineelle ($\text{W}/(m \text{ } ^\circ\text{C})$)

$$\alpha_k = \frac{N_u \times \lambda}{l}$$

$$\alpha_k = \frac{2849 \times 18,1 \times 10^{-3}}{5} = 10,31338 \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)}$$

$$\begin{aligned} \phi_k &= \alpha_k \times A \times (t_{p,\text{kesk.}} \times t_{\text{ymp.}}) \\ &= 10,31338 \text{ W/(m}^2 \text{ }^\circ\text{C)} \times 10 \text{ m}^2 \times (131-15) \text{ }^\circ\text{C} \\ &= 11963,52 \text{ W} \\ &= \underline{11,963 \text{ kW}} \end{aligned} \quad (2)$$

Ainearvot $(131 + 15)/2 \text{ }^\circ\text{C} = 73 \text{ }^\circ\text{C}$:ssa ja N_u -luku:

$$\Lambda = 18,1 \times 10^{-3} \text{ W/m}^\circ\text{C}$$

Pr = Prandtin luku = 0,74

Gr = Grashoffin luku

$$G = 9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}}$$

$$\beta = \text{tilavuudenlämpölaajenemiskerroin} \left(\frac{1}{K} \right) = \frac{1}{273+73} \frac{1}{K} = 2,89 \times 10^{-3} \frac{1}{K}$$

$$\Delta t = t_p - t_y \text{ (}^\circ\text{C)} = 131 \text{ }^\circ\text{C} - 15 \text{ }^\circ\text{C} = 116 \text{ }^\circ\text{C}$$

l = seinän mitta = 5 m (leveys)

$$\gamma^2 = \text{kinemaattinen viskositeetti} \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right) = (7 \times 10^{-6}) \left(\frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)$$

$$\begin{aligned} Gr &= \frac{g \times \beta \times \Delta t \times l^3}{\gamma^2} \quad Gr = \frac{9,81 \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 2,89 \times 10^{-3} \frac{1}{K} \times 116 \text{ }^\circ\text{C} \times 5^3 \text{ m}}{\left(7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \times 7 \times 10^{-6} \frac{\text{m}^2}{\text{s}} \right)^2 \text{ toiseen}} \\ &= 8,389552 \times 10^{12} \end{aligned}$$

$$Gr \times Pr = 8,39 \times 10^{12} \times 0,74 = 6,2086 \times 10^{12}$$

→ Moniste $N_u = 0,155 \times (Gr \times Pr)^{1/3}$ (vapaa konvektio, vaakasuora seinä, turbulentti virtaus)

$$\rightarrow N_u = \frac{0,155 \times (6,2086 \times 10^{12})^{1/3}}{1} = 2849$$

Yhteensä

$$\underline{\varnothing_{\text{kok}}} = \varnothing_s + \varnothing_k = 9,523 \text{ kW} + 11,963 \text{ kW} = \underline{21,486 \text{ kW}} = \underline{2,15 \text{ kW} / \text{m}^2 \text{ (ulkopinta)}}$$

$$\underline{Q_{\text{kok}}} = 21.486 \text{ kW} \times (24\text{h/vrk} \times 365\text{vrk/v}) = 188\,217,36 \text{ kWh} = \underline{188 \text{ MWh/v}}$$

4.2 Uunien tuubien kuvaukset

FLIR GF309 -lämpökuvauksille tehtiin oma raporttipohja (Liite 4), joka soveltuu erityisesti uunituubien lämmönseurantaan. Graafinen taulukko helpottaa lämpötilamuutoksien tulkintaa. Tehdyt raportit lisätään kuvausseurannan taulukkoon, mikä auttaa selvittämään, milloin uuni on viimeksi kuvattu sisältä ja löytyikö sieltä mitään sellaista, joka vaatisi tarkempaa tarkastelua. Videokuvien tallettaminen kannattaa tehdä harkiten, koska videotiedostot vievät merkittävän määrän kovalevytilaa.

4.3 Uunien työtilausten seuranta

Neste Oililla tehdään jokaisesta työstä työtilaus. Uunien kohdalla ei voida tehdä aina tarvittavaa korjausta, koska uunia ei voida ajaa kylmäksi ilman tuotantotappioita. Mikäli vika ei aiheuta vaaraa eikä korjausta ole tuotannollisesti järkevää tehdä, korjaus tehdään suunnitellussa yksikköhuollossa tai suurseisokissa. Mikäli uuni pitää korjata aikaisemmin, tehdään ennenaikainen yksikköhuolto. Uunit huolletaan kuuden vuoden välein suurseisokissa tai yksikköhuolloissa tilanteesta riippuen. Työtilaukset ovat työläitä hakea. Mikäli työtilaus liittyy uuniin, mutta uunitunnuksen sijaan, korjauskohteen työtilauksessa käytetään eri laitetunnusta tai putkitunnusta.

Luotu työtilausseurantapohja tulisi täyttää, jotta tehdyistä töistä jäisi selvä ja helppokäyttöinen seurantahistoria kohteista, jotka eivät liity suoraan uunitunnuksen. Oikein täytettynä taulukko helpottaa toistuvien korjausten seuraamista ja huoltohetkellä uuneihin liittyvien sellaisten työtilausten löytämistä, jotka eivät suoranaisesti liity uunin laitetunnuksen. Tarkkaa raportointia tehdystä työstä ei ole tarvetta tehdä, koska tiedot löytyvät työtilaushistoriasta.

5 YHTEENVETO JA JOHTOPÄÄTÖKSET

5.1 Yhteenveto

Työssä tarkasteltiin lämpökuvauksen hyödyntämistä prosessiuunien kunnossapidossa. Lämpökuvausta hyödynnetään Suomessa teollisuudessa, mutta selvä yhteinen käytäntö puuttuu. Työssä tehtiin Neste Oil Oyj:lle Excel-pohjainen seurantataulukko lämpökuvaraporttien seuraamista varten. Lämpökuvien raporttipohjia tehtiin kaksi FLIR Tools plus -ohjelmistolla. Ensimmäinen soveltuu prosessiuunien eristevauriopankin luomiseen, ja sen avulla voidaan varautua prosessiuunien eristehuoltoihin. Toinen raporttipohja tehtiin liekkien läpi näkevää kameraa varten, ja sitä käytetään pääasiassa uunien tuubikuvauksissa.

5.2 Johtopäätökset

Lämpökuville luotiin kaksi raportointipohjaa. Liite 3 on tarkoitettu uunien eristevaurioiden raportointiin. Liite 4 on tarkoitettu uunien tuubikuvauksille. Lämpökuvien raportit lisätään Excel-pohjaiseen seurantaulukkoon, jonka käyttöön ohjeistetaan liitteessä 5.

Uunien työtilausten seuranta varten tehtiin Excel-pohjainen taulukko. Ajatuksena on helpottaa sellaisten työtilausten seuranta, jotka eivät suoranaisesti liity uuniin. Samalla pystytään seuraamaan etenkin eristekorjausten osalta, mitä korjauksia ja huoltoja uunille on tehty.

Lämpökuvaukset prosessiuunien kunnossapidossa ovat edullinen vaihtoehto, kun halutaan tarkkailla uunien eristevaurioiden laajuutta sekä arvioida tulevien töiden laajuutta. Kuitenkaan ei pidä unohtaa tietopankin luomista, jolla pystytään tulevaisuudessa vertailemaan, millaisia vaurioita lämpökuvauksella pystytään havaitsemaan. BA-403 osoitti lämpökuvauksen toimivuuden vaurioiden havaitsemisessa ulkopuolelta. Sisäpuolisen vaurion tarkka laajuus on kuitenkin epäselvä, kunnes uunin sisälle päästään. Lämpökuvalla ja uunin teknisillä piirustuksilla voidaan kuitenkin määritellä työn laajuus. Lämpökuvalla voidaan määritellä, missä kohdassa uunია mahdollinen

eristevaurio sijaitsee. Kun sijainti on selvillä, prosessiuunin piirustuksista voidaan selvittää tarvittavat toimenpiteet, joita mahdollisen vauriokohteen korjaukseen tarvitaan. Lämpökuvaukset täytyy suorittaa ennen suurseisokkia. Lämpökuvien hyödyntäminen ensimmäisellä kerralla tulee olemaan vähäistä, ja pääpaino onkin dokumentoinnissa, jotta tietopankkiin saadaan lämpökuvia ja sisäpuolisia vauriokuvia tarvittavilla tiedoilla. Dokumentoinnin jälkeinen remontti kertoo, auttaako tietopankki. Oikein tehtynä raporttien pitäisi kertoa tulevaisuudessa, millainen vaurio aiheutti tietynlaisen lämpökuvan. Eristehuollon odotetaan helpottuvan, koska on mahdollista määrittellä, mitä töitä pitää tehdä, ennen kuin löydetty vaurio voidaan korjata.

Liekkien läpi kuvaavan kameran hyötyä uunituubien kuvauksessa ei voi jättää huomiotta. Neste Oil Naantalin raakaöljyn tislausyksikön sylinteriprosessiuuni BA-1201:n tuubien koksautumisen paljastuminen todisti kameran olevan hyödyllinen. Lämpökuvauksen hyödyntämiseksi saadut tulokset lisätään raporttipohjaan (Liite 4). Saatu raportti lisätään Excel-pohjaiseen seurantataulukkoon, jota käytetään myös uunien eristekuvauksissa ja merkitään ohjeistuksen mukaan (liite 5).

Liekkien läpi kuvaavan kameran käyttökoulutuksen lisäksi tulee kiinnittää huomiota seuraaviin asioihin ja esineisiin kameran maksimaalisen hyödyntämisen saavuttamiseksi:

- Kosteusmittausanturi
- Kolmijalka
- Kosketuslämpötila-anturi
- Emissiivisyyden määrittely
- Uunin kurkistusluukun avaus yksin
- Luukkujen merkitseminen

Kuvaukset tulee tehdä aina niin, että toistomahdollisuus on olemassa.

LÄHTEET

- /1/ <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,12005,12006,12074>
- /2/ <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35;52;88;100;101;22864;22938>
- /3/ Neste oil Vuosikertomus 2013
- /4/ <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,22214,22227>
- /5/ <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,11990,22214,22226>
- /6/ <http://www.nesteoil.fi/default.asp?path=35,52,12005,12006,16965,16966>
- /7/ <http://www.infradex.com/kuinka.html>
- /8/ <http://www.infradex.com/pdf/Kunnossapitokurssi.pdf>
- /9/ Neste Oil Unikoulutusmateriaali
- /10/ Tiedoksianto Arpalo Maarit
- /11/ Tiedoksianto 24.9.2014 Pirhonen Sami
- /12/ Tiedoksianto Karihtala Juha 9.9.2014
- /13/ Tiedoksianto 24.9.2014 ja 19.11.2014 Lehtomäki Hermanni
- /14/ Tiedoksianto 23.9.2014 Leino Mirka
- /15/ Leino Mirka koulutusmateriaali
- /16/ FLIR GF309 esite
- /17/ Puhelinkeskustelu lämpökuvausta toimittavan firman edustajan kanssa kuvausten kehittämisideoista 20.8.2014
- /18/ Hermanni Lehtomäen sähköpostitiedotus 5.11.2014 http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/?uri=OJ:JOL_2014_307_R_0009
- /19/ Tiedoksianto 20.10.2014 Eero Tuominen
- /20/ Tiedoksianto 26.11.2014 Mauri Aalto

Metallit

Aine		Lämpötila °C	Emissiokerroin
Alumiini	Kiiltävä	50-100	0.04-0.06
	Karkea pinta	20-50	0.06-0.07
	Voimakkaasti hapettunut	50-500	0.2-0.3
	Alumiinipronssi	20	0.6
	Oksidi, puhdas, jauhe	normaali	0.16
Elohopea		0-100	0.09-0.12
Hopea	Puhdas, Kiiltävä	200-600	0.80
Kromi	Kiiltävä	50	0.1
		50-150	0.28-0.38
Kupari	Kiillotettu	20	0.07
	Elektrolyyttinen, todella kiiltävä	80	0.018
	Elektrolyyttinen, jauhe	normaali	0.76
	Sula	1100-1300	0.13-0.15
	Hapettunut	50	0.6-0.7
	Hapettunut mustaksi	5	0.88
Lyijy	Harmaa, hapettunut	20	0.28
	Hapettunut 200°C:ssa	200	0.63
	Punainen, jauhe	100	0.93
	Lyijy sulfaatti, jauhe	normaali	0.13-0.22
Messinki	Himmeä, tahriintunut	20-350	0.22
	Hapettunut 600°C:ssa	200-600	0.59-0.61
	Kiiltävä	200	0.03
Molybdeeni		600-1000	0.08-0.13
	Hehkulanka	7002-2500	0.10-0.30
Nikkeli	Kiiltävä	100	0.045
		200-400	0.07-0.09
	Hapettunut 600°C:ssa	200-600	0.37-0.48
	Lanka	200-1000	0.1-0.2
	Nikkeli oksidi	500-650	0.52-0.59
		1000-1250	0.75-0.86
Platina		1000-1500	0.14-0.18
	Puhdas, kiiltävä	200-600	0.05-0.10
Pronssi	Kiiltävä	50	0.1
	Huokoinen, karkea	50-150	0.55
Rauta	Peittynyt punaisesta ruosteesta	20	0.24
	Elektrolyyttinen, todella kiiltävä	175-525	0.05-0.06
	Juuri hiottu	20	0.24
	Hapettunut	100	0.74
		125-525	0.78-0.82
	Kuumavalssattu	20	0.77
Sinkki	Hapetettu 400°C:ssa	400	0.11
	Hapettunut pinta	100-1200	0.50-0.60
	Kiiltävä	200-300	0.04-0.05
Teräs	Sisältää (8% Ni, 18% Cr)	500	0.35
	Galvanoitu	20	0.28
	Hapettunut	200-600	0.80
	Todella hapettunut	50	0.88
		500	0.98
Tina	Kiillotettu	20-50	0.04-0.06
Titaani	Hapetettu 540°C:ssa	200	0.40
		500	0.50
		1000	0.60
	Kiiltävä	200	0.15
		500	0.20
		1000	0.36
Valurauta	Valu	50	0.84
	Harkko	1000	0.95
	Nestemäinen	1300	0.28
	Hapetettu 600°C:ssa	200-600	0.64-0.78

	Kiiltävä	200	0.04-0.06
Volframi		200	0.05
		600-1000	0.1-0.16
	Säie	3300	0.39
Zirconium	Zirconium oksidi, jauhe	normal	0.16-0.20
	Zirconium silikaatti, jauhe		0.36-0.42

Materiaalit

Aine		Lämpötila °C	Emissiokerroin
Asbesti	Lankku	20	0.96
	Paperi	40-400	0.96-0.95
	Jauhe	Normaali	0.40-0.60
	Laatta	20	0.96
Eboniitti, kovakumi		Normaali	0.89
Hiekka		Normaali	0.60
Hiili	Säie	1000-1400	0.53
	Puhdistettu (0.9 % tuhkaa)	100-600	0.81-0.79
Jää	Peittynyt kovalla huurteella	0	0.98
	Tasainen pinta	0	0.97
Kalkki		Normaali	0.30-0.40
Kangas	Musta	20	0.98
Kiille	Paksu kerros	Normaali	0.72
Kuona	Boileri	0-100	0.97-0.93
		200-500	0.89-0.78
		600-1200	0.76-0.70
Kumi	Kova	20	0.95
	Pehmeä, harmaa, karkea	20	0.86
Lakka	Bakeliitti	80	0.93
	Musta, himmeä	40-100	0.96-0.98
	Musta, kiiltävä, ruiskutettu teräks.	20	0.87
	Kuumuudenkestävä	100	0.92
	Valkoinen	40-100	0.8-0.95
Lasi		20-100	0.94-0.91
		250-1000	0.87-0.72
		1100-1500	0.70-0.67
	Himmeä	20	0.96
Lumi			0.80
Marmori	Harmahtava, kiiltävä	20	0.93
Noki		20-400	0.95-0.97
	Kiinteä pinta	50-100	0.96
	Vesilasiin	20-200	0.96
Paperi	Musta	Normaali	0.90
	Musta, himmeä	Normaali	0.94
	Vihreä	Normaali	0.85
	Punainen	Normaali	0.76
	Valkoinen	20	0.7-0.9
	Keltainen	Normaali	0.72
Piidioksidi	Rakeinen jauhe	Normaali	0.48
	Pii (pii geeli), jauhe	Normaali	0.30
Posliini	Lasitettu	20	0.95
	Valkoinen, kiiltävä	Normaali	0.70-0.75
Puuhiili	Jauhe		0.96
Rappauslaasti	Karkea, kalkki	10-90	0.91
Savi	Poltettu	70	0.91
Sellakka (lakka)	Musta, himmeä	75-150	0.91
	Musta, kiiltävä	20	0.82
Sementti		Normaali	0.54
Smirgeli	Karhea	80	0.85
Terva, piki, noki			0.79-0.84
	Paperi	20	0.91-0.93
Tiili	Punainen, karkea	20	0.88-0.93
		20	0.85
		1000	0.75
		1200	0.59
Vesi	Kuvattuna metallin pinnalta	20	0.98
	Kerros > 0.1mm paksu	0-100	0.95-0.98

GasFinder Kaasut

GF304 Eng.	GF306 Eng.	GF306 Fi.	GF320 Eng.	GF320 Fi.	GF346 Eng.	GF346 Fi.
8.0-8.6 µm	10.3-10.7 µm	10.3-10.7 µm	3.2-3.4 µm	3.2-3.4 µm	4.52 - 4.67 µm	4.52 - 4.67 µm
• R404A	• Sulfur Hexafluoride (SF6)	• Rikkiheksafluoridi (SF6)	• Benzene	• Bentseeni	• Acetonitrile	• asetoniiri
• R407C	• Acetyl Chloride	• Asetyylikloridi	• Ethanol	• Etanoli	• Acetyl cyanide	• asetyyli syanidi
• R410A	• Acetic Acid	• Etikkahappo	• Ethylbenzene	• Etyylibentseeni	• Arsine	• Arsiini
• R134A	• Allyl Bromide	• Allylibromidi	• Heptane	• heptaani	• Bromine isocyanate	• Bromia isosyanaatti
• R417A	• Allyl Chloride	• Allyylikloridi	• Hexane	• heksaani	• Butyl isocyanate	• Butyyli isosyanidi
• R422A	• Allyl Fluoride	• AllyyliFluori	• Isoprene	• isopreeni	• Carbon monoxide	• Häkä
• R507A	• Ammonia (NH3)	• Ammoniakki (NH3)	• Methanol	• Metanoli	• Chlorine isocyanate	• Kloori isosyanaatti
• R143A	• Bromomethane	• Bromimetaani	• MEK	• Metyylietyyliketoni	• Chlorodimethylsilane	• Klooridimetyylisilaani
• R125	• Chloride Dioxide	• Klooridioksidi	• MIBK	• Metyyli-isobutylyliketoni	• Cyanogen bromide	• Syaaniibromidi
• R245fa	• Ethyl Cyanoacrylate	• Etyyli syanoakrylaatti	• Octane	• Oktaani	• Dichloromethylsilane	
	• Ethylene	• Eteeni	• Pentane	• Pentaani	• Ethenone	
	• Furan	• Furaani	• 1-Pentene	• 1-penteeni	• Ethyl thiocyanate	• Etyyli tiosyanaatti
	• Hydrazine	• Hydratsiini	• Toluene	• Tolueneeni	• Germane	
	• Methylsilane	• Metyylisilaani	• Xylene	• Ksyleeni	• Hexyl isocyanate	• Hexyl isosyanidi
	• Methyl Ethyl Ketone	• Metyylietyyliketonisolvaatti	• Butane	• butaani	• Ketene	• Keteeni
	• Methyl Vinyl Ketone	• Metyylivinylyliketoni	• Ethane	• Etaani	• Methyl thiocyanate	• Metyyli tiosyanaatti
	• Propenal	• Propenaali	• Methane	• Metaani	• Nitrous oxide	• Typpioksidi
	• Propene	• Propeeni	• Propane	• propaani	• Silane	• Silaani
	• Tetrahydrofuran	• Tetrahydrofuraani	• Ethylene	• Eteeni		
	• Trichloroethylene	• Trikloorietyleeni	• Propylene	• Propyleeni		
	• Uranyl Fluoride	• Uraanitraatti Fluori				
	• Vinyl Chloride	• Vinylylikloridi				
	• Vinyl Cyanide	• Vinyylisyanidi				
	• Vinyl Ether	• vinyylieetteri				

Iiro Sonné

Kuva Otsikko	Kuva Päivämäärä	Kuva Tiedostonimi	Kuva Polku	Kuva Kompassi
Logokuva	18.11.2014			--

Lämpökuva

Digitaalikuva



Emissivity	1.00
Object Distance	0.0 m
Reflected Temperature	20.0 °C
Atmospheric Temperature	20.0 °C
Reference Temperature	-273.15
Relative Humidity	50.0 %

Pinta-ala	
Lämpötila	
Sijainti	

Vauriokuva

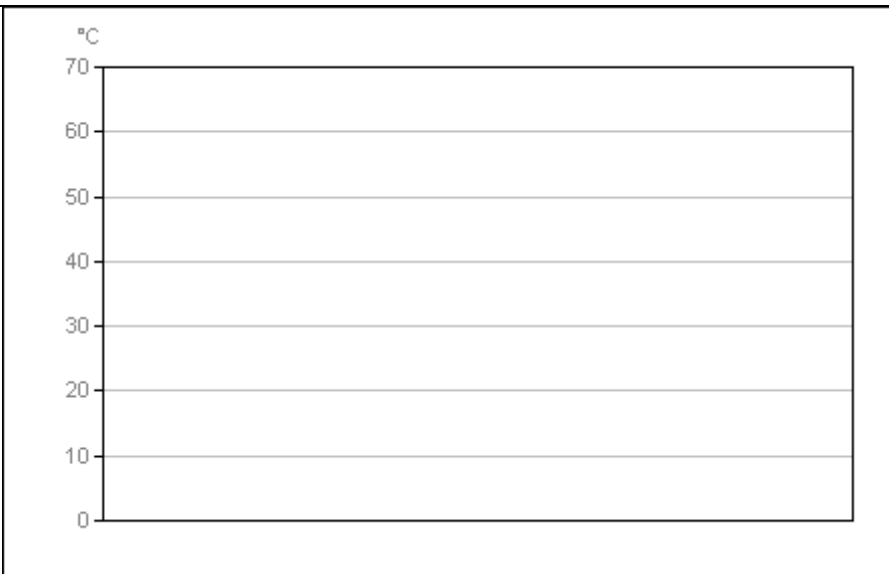


Vaurion koko:	
Vaurion sijainti:	

Miten vaurio voidaan korjata:

Iiro Sonné

Kuva Otsikko	Kuva Päivämäärä	Kuva Tiedostonimi	Kuva Polku	Kuva Kompassi
Logokuva	18.11.2014			--



Kohteen etäisyys	0.0 m
Emissiivisyys	1.00
Heijastuva lämpötila	20.0 °C
Ilman lämpötila	20.0 °C
Suhteellinen kosteus	50.0 %
Ilmakehän läpäisy	0.00
Vertailulämpötila	-273.15
Ulkoisen optiikan lämpötila	20.0 °C
Ulkoisen optiikan läpäisy	1.00

Iiro Sonné

Lämpökuvaraporttien seurantataulukon käyttö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2014

SISÄLLYS

1	YLEISTÄ	3
1.1	Lämpökuvien nimeämiskäytäntö	3
1.2	Liekkien läpi näkevän kameran kuvaraporttien nimeämiskäytäntö.....	3
2	SEURANTATAULUKKO	4

1 YLEISTÄ

Älä koskaan tallenna muutoksia, mikäli olet vain katselija etkä tietojen päivittäjä.

Taulukolla on tarkoitus katsoa kuvausraportteja, jotka on tehty Word-pohjaiselle raportille, jotta jokainen raportteja tarvitseva pystyy niitä lukemaan.

Jokaisesta uunista on luotu oma kansionsa. Kansioissa on alakansiot lämpökuville, liekkien läpi näkevän kameran kuville sekä massauksille.

1.1 Lämpökuvien nimeämiskäytäntö

Lämpökuvaraportointi-kansioon luodaan alakansiot uunin kuvauskulman mukaan, jolloin kansion nimen viimeinen numero vaihtuu aina kuvakulman vaihtuessa. Esimerkiksi BA401_1, BA401_2 ja BA401_3 ovat kaikki samasta uunista otettuja kuvia, mutta eri kuvakulmasta.

Ensimmäinen lämpökuvaraportti nimetään esimerkiksi kansioon BA401_1 nimellä BA401_1_1. Aina, kun samasta kuvakulmasta otetaan lämpökuva, raportit tallennetaan samaan kansioon kasvattamalla nimen viimeistä numeroa. Esimerkiksi BA401_1_1, BA401_1_2 ja BA401_1_3 olisivat kansiossa BA401_1.

1.2 Liekkien läpi näkevän kameran kuvaraporttien nimeämiskäytäntö

Sisäpuoliset_FLIR_GF309-kansioon luodaan alakansiot uunin kurkistusluukkujen perusteella. Kansion nimen viimeinen numero vaihtuu aina kun ollaan saman uunin eri luukulla. Esimerkiksi BA401_F1, BA401_F2 ja BA401_F3 ovat kaikki samasta uunista otettua dataa, mutta eri kurkistusluukusta.

Ensimmäinen datatieto (videokuva tai lämpökuvaraportti) nimetään esimerkiksi kansioon BA401_F1 nimellä BA401_F1_1. Aina, kun samasta kurkistusluukusta otetaan dataa, raportit tallennetaan samaan kansioon kasvattamalla nimen viimeistä numeroa. Esimerkiksi BA401_F1_1, BA401_F1_2 ja BA401_F1_3 olisivat kansiossa BA401_F1.

2 SEURANTATAULUKKO

Seurantaulukon on tarkoitus helpottaa oikean lämpökuvan hakemista. Tarkoitus on tarkkailla, onko kaikista kohteista tehty vauriokuvaus lämpökuvan yhteyteen, mistä kohteista kuva on otettu, milloin kuva on otettu sekä onko kuvassa jotain, mikä vaatisi säännöllistä seurantaa. Tiedot kaikista uuneista tulevat näkyviin ”Päivitä”-painikkeesta, joka löytyy välilehdeltä ”Yhteenveto”.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1													
2		Uuni	Päivämäärä	Tiedostonimi	Raportoitavaa	Vaurio	Sisätila raportti tehty	Lämpökuva raportti tehty	Eriste kuva				
3		BA-101	8.4.2014	BA401_1_1	Uunin avauksen yhteydessä havaittu vaurio 1x0,5		x		x				
4		BA-101	10.4.2015	BA401_1_2	Lämpövuoto tullut uunin seinään n. 2x1	x		x					
5		BA-101	8.4.2014	BA401_2_1									
6		BA-101	10.4.2015	BA401_2_2	Lämpövuoto tullut uunin seinään n. 1x1	x	x	x					
7		BA-401	8.4.2013	BA401_F1_1									
8		BA-401	8.4.2014	BA401_F1_2									
9		BA-401	10.4.2015	BA401_F1_3	Tuubit 58 59 63 koksantunut.	x							
10		BA-401	8.4.2015	BA401_F2_1									
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													

Päivitä

Kuva 1. Kuvankaappaus seurantataulukon yhteenvedosta.

- **Uuni**= prosessiuunin laitetunnus
- **Päivämäärä**= milloin kuvaus tai raportointi on tehty
- **Tiedostonimi**= raportin nimi. uuni_kuvakulma(kansio)_raporttinumero
- **Raportoitavaa**=Mitä on löytynyt, mitä on hyvä tietää.
- **Vaurio**=Kohteesta on löydetty selvä vaurio.
- **Sisätilaraportti tehty**= Uunista ei tehty lämpökuvausta, mutta uunista löytyi vaurio. X-merkintä kertoo sisätila raportin olevan valmis. Uunin käynnistämisen jälkeen paikannetaan vauriokohta ulkopuolelta ja otetaan lämpökuva mikäli kohdetta ei korjattu.
- **Lämpökuvaraportti tehty**= Lämpökuvausraportti tehty kohteeseen. (Uunin ulkopuoliset kuvat). Sisäpuoliset kuvat tehdään mikäli ”Vaurio” kentässä on X-merkintä.
- **Eristekuva**=X-merkintä, mikäli uunin ulkopuolinen kuva, jotta voidaan rajata kuvatyypit.

Iiro Sonné

Työtilausseurantataulukon käyttö

Kone- ja tuotantotekniikan koulutusohjelma

2015

SISÄLLYS

1 YLEISTÄ	3
2 SEURANTATAULUKKO	4

1 YLEISTÄ

Työtilausseurantataulukko tehtiin helpottamaan työtilausten löytämistä. Sellaiset työtilaukset, jotka liittyvät uuniin mutta jotka eivät löydy työtilaushistoriasta uunin laite-tunnuksella, ovat työläitä löytää. Taulukko on tehty niillä tiedoilla, jotka on katsottu tarpeellisiksi taulukon luomisvaiheessa.

