

Pasi Hietapakka

**TEOLLISUUDEN LÄMPÖKUVAUSMENETELMIEN
KEHITTÄMINEN**

Opinnäytetyö

KESKI-POHJANMAAN AMMATTIKORKEAKOULU

Automaatiotekniikan koulutusohjelma

Joulukuu 2009

SISÄLLYS	
TIIVISTELMÄ	
ABSTRACT	
1 JOHDANTO	1
2 LÄMPÖKAMERA	2
2.1 Lämpökamerakuvauksen edut	2
2.2 Lämpökameratekniikka	3
2.3 Emissiivisyys	4
2.4 Metalli- ja muovipintojen kuvaus	5
2.5 Emissiivisyyskertoimen määrittäminen	6
2.6 Heijastumien vaikutus	7
2.7 Ympäristöolosuhteet	8
2.8 Lämpötila-alueen ja väripaletin valinta	8
2.9 Kuvauksetäisyys	9
3 TEOLLISUUDEN LÄMPÖKAMERAKUVAT JA TULOKSET	11
3.1 Guide Mobir M3 –lämpökamera ja kuvien analysointi	11
3.2 AT1-sähkökojeiston kuumentunut johtoliitos	12
3.3 LIR-paluuhiilipumppu 2 sähkömoottorin kytkentäkopan korkea lämpötila	14
3.4 NR2-sekoittimen sähkömoottorin korkea käyntilämpötila	16
3.5 CoS1-alitepumppu 2:n putkistotukos	20
3.6 CuR2-pumppu 1:n putkistotukos	22
3.7 SSR2-pumpun putkistovuoto	24
3.8 HPS1-happopesusäiliön putkiston nesteen virtaus	26
3.9 HPS1-happopesusäiliön pinnankorkeuden mittaaminen	27
4 ESIMERKKI LÄMPÖKAMERAKUVAT JA TULOKSET	29
5 POHDINTA JA PÄÄTELMÄT	34
LÄHTEET	36
LIITTEET	
Liite 1. Lämpökamera Guide Mobir M3 tekniset tiedot englanniksi	
Liite 2. Lämpökameran keskeiset ominaisuudet suomennettuna	
Liite 3. Lämpökamerakuvien analysoinnin suomennokset	
Liite 4. Eri kappaleiden emissiivisyyskertoimet	



TIIVISTELMÄ OPINNÄYTETYÖSTÄ

Yksikkö Tekniikka ja liiketalous, Kokkola	Aika 11.12.2009	Tekijä/tekijät Pasi Hietapakka
Koulutusohjelma Automaatiotekniikka		
Työn nimi Teollisuuden lämpökuvausmenetelmien kehittäminen		
Työn ohjaaja DI Mats Albäck		Sivumäärä 37 + 4
Työelämäohjaaja Ins. Vesa Roos		
Lämpökameraa käytetään nykyään monissa eri sovelluksissa. Näistä yleisimmät ovat kiinteistöt, lämpöverkostot, sähköverkot, elektroniikka ja teollisuuden kunnossapito. Lämpökameralla voi kuvata kohdetta rikkomatta tai avaamatta sitä ollenkaan. Lämpökameralla näkee kohteen pintalämpötilan, josta voi päätellä yhdessä muiden mittauksen avulla luotettavasti ja nopeasti viat, puutteet ja vauriot. Paikannus ja raportointi onnistuvat nopeasti ammattitaitoisen tutkijan käsissä. Lämpökuvaus on suuresti yleistymässä edullisuutensa, nopeutensa ja tarkkuutensa vuoksi. Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja löytää lämpökameran eri mahdollisuuksia teollisuudesta. Luotettavista lähteistä etsin mahdollisimman paljon informaatiota ja esimerkkitutkimuksia lämpökamerasta. Tavoitteena oli saada mahdollisimman paljon informaatiota tehtaan tutkittavista kohteista ja analysoida luotettavasti lämpökamerakuvia. Opinnäytetyön tarkoituksena on myös antaa ohjeita hyvään lämpökamerakuvaamiseen ja kuvista saatavan informaation tulkitsemiseen. Tähän työhön liittyviä kohteita on tutkittu New Boliden Oy:n tehtaan eri osastoissa. Tutkittavat kohteet olivat sähkömoottorit, putkistot, sähkönsyöttö ja säiliöt. Työn tuloksena löytyi tehtaasta monia vikakohteita. Näitä tutkittiin ja vertailtiin muiden saamiin tuloksiin vastaavista lämpökameramittauksista. Lämpökameran tekniikasta ja kuvausmenetelmistä löytyi paljon luotettavaa tietoa. Informaatio löytyi lähinnä lämpökameravalmistajilta ja kuvaukseen perehtyneiltä yrityksiltä.		
Asiasanat lämpökamera, kunnossapito, teollisuus, sähkömoottori, putkisto, sähkönsyöttö, säiliö		

ABSTRACT

CENTRAL OSTROBOTHNIA UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES	Date 11.12.2009	Author Pasi Hietapakka
Degree programme Automaation Engineering		
Name of thesis Developing of the Methods of Thermographic Photographing in Industry		
Instructor Mats Albäck		Pages 37 + 4 Appendices
Supervisor Vesa Roos		
The thermal camera is used nowadays in many different applications. The most general of these are real estates, heating networks, electrical networks, electronics and maintenance in industry. With a thermal camera one can photograph without breaking the object or opening it at all. With a thermal camera one can see the surface temperature of the target, from which the faults, shortcomings and damages can be deduced reliably and fast together with other measurements. The positioning and reporting succeed fast in the hands of a skilled researcher. Thermal camera survey is becoming common because of its advantageousness, speed and exactness. The purpose of the thesis was to research and find different possibilities for using a thermal camera in industry. From reliable sources, as much information as possible and examples of thermal camera studies were searched. The purpose was to get as much information as possible about the objects of the factory and to analyse the thermal camera pictures as reliably as possible. The purpose of the thesis was, too, to give instructions for good thermographic photographing and for interpretation of the information obtained from the pictures. The objects related to this thesis were studied at different departments of the factory of New Boliden Oy. The objects to be examined were electric motors, pipe systems, power supply and containers. Many faults in different objects were found in the factory as a result of the research. These were studied and compared with the results of thermal camera measurements made by other researchers. A lot of reliable information about the technique and methods of thermographic photographing was found. Information was mainly found from the manufacturers of thermal cameras and the companies specialized in thermographic photographing.		
Key words thermographic camera, maintenance, industry, electric motor, pipe system, power supply, container		

1 JOHDANTO

Opinnäytetyön aihetta ja kohdetta miettiessäni kuulin, että ammattikorkeakoulussani oli alkamassa mittaavan käynnissäpidon kehittämishanke. Yhtenä tavoitteista oli saada tietoa lämpökameran käyttömahdollisuuksista teollisuuden käynnissäpidossa. Projektia tehdessäni heräsi mieleeni ajatus, että voisin tehdä eräänlaisen lämpökameratutkimuksen opinnäytetyökseni.

Tutkimus tehtiin 2.5–31.8.2007 New Boliden Oy tehtaassa. Toimipaikkani oli instrumenttikunnossapidon osastossa, ja tutkittavina alueina olivat puhdistamo ja pasutto. Tutkittavaa materiaalia oli paljon, mutta lämpökamera ja jotkin laitteistot olivat uusia minulle. Rajasin tutkittavat kohteet sellaisiksi, jotka olivat minulle jonkin verran teknisesti opetettuja. Tutkimuskohteenani olivat sähkömoottorit, putkistot, sähkönsyöttö ja säiliöt. Instrumenttikunnossapidon osaston työntekijät neuvoivat parhaansa mukaan, oli sitten kyse laitteistojen tai prosessin toiminnasta. Hankkeen ohjaajana toimi Mats Albäck, ja esimieheni tehtaassa oli Vesa Roos.

Opinnäytetyöni rakennemalli on tutkimuslähtöinen. Työn sisältö alkaa lämpökameran perustiedoilla, ja siinä esitetään teoriaa tekniikasta, termodynamiikasta ja oikeaoppisen kuvauksen menetelmistä. Seuraavaksi käydään läpi analysoidut omat ja muiden tutkimukset teollisuuden lämpökamerakuvista. Kuvissa kerrotaan tiedot kohteista ja saaduista tuloksista. Näistä tiedoista pohditaan saatuja tuloksia ja niiden paikkansapitävyyttä vertailemalla muiden tutkijoiden saamiin tuloksiin. Myös pohditaan, päästiinkö asetettuihin tavoitteisiin.

Tavoitteena oli tutkia ja löytää lämpökameran eri mahdollisuuksia teollisuudesta ja etsiä luotettavista lähteistä mahdollisimman paljon informaatiota ja esimerkkitutkimuksia lämpökamerasta. Tavoitteena oli saada mahdollisimman paljon informaatiota tehtaan tutkittavista kohteista ja analysoida luotettavasti lämpökamerakuvia. Ongelmaksi muodostui se, että lämpökamerakuvaus oli uutta ja luotettavien tulosten saaminen sen vuoksi vaativaa. Luotettavien esimerkki lämpökamerakuvien ja tietojen saatavuus, koska informaatio löytyi internetistä. Mahdollisten virhearviointien välttäminen, kun analysoidaan tutkimuskohteita.

2 LÄMPÖKAMERA

Lämpökamerakuvauksessa oikein kuvattu ja analysoitu kuva riippuu paljon siitä, kuinka hyvin kuvaaja ymmärtää lämpökuvauksen teorian ja termodynamiikan perusteet. Tärkeitä tietoja kuvauksessa ovat kohteen etäisyys, emissiivisyys ja ympäristön lämpötila. Lämpökamerakuvaus on rakenteita rikkomaton menetelmä, jossa lämpökameran avulla mitataan tutkittavan kohteen pintalämpötiloja ja siitä saatavien kuvien sekä muiden tarvittavien mitaustulosten avulla tehdään vikojen, puutteiden ja vaurioiden arviointi, paikantaminen ja yleensä myös raportointi. Lämpökuvaus perustuu lämpösäteilyyn eli infrapunasäteilyyn. Lämpökuvaus on tarkka, nopea sekä edullinen tutkimusmenetelmä. Tyypillisiä lämpökuvauksen sovelluksia ovat teollisuuden kunnossapito, kiinteistöt, elektroniikka, eläimet, lämpöverkostot ja sähköverkot. (Hakatek Oy 2007.)

Teollisuuden tuotannonkeskeytykset ja tulipalot aiheuttavat vuosittain satojen miljoonien vahingot. Teollisuudessa tutkimus ja kuvaus hoituvat yleensä tuotantoa häiritsemättä. Kiinteistöjen putkistovuodot sekä kosteus- ja homeongelmat ovat jokapäiväinen puheenaihe. Rakenteiden lämpö- ja ilmavuodot laskevat asumisviihtyisyyttä, lisäävät energiankulutusta ja aiheuttavat terveysriskejä. Ongelmat voidaan selvittää lämpökuvauksen avulla. Tutkimustuloksia voidaan analysoida monipuolisesti tietokoneella tai joissakin tapauksissa jo itse kohteessa. Tulokset raportoidaan digitaalisessa muodossa ja saadut tulokset voidaan tulostaa paperille. Raportista selviävät löydetty viat ja puutteet sekä ohjearviot ja suositeltavat jatkotoimenpiteet. (Hakatek Oy 2007.)

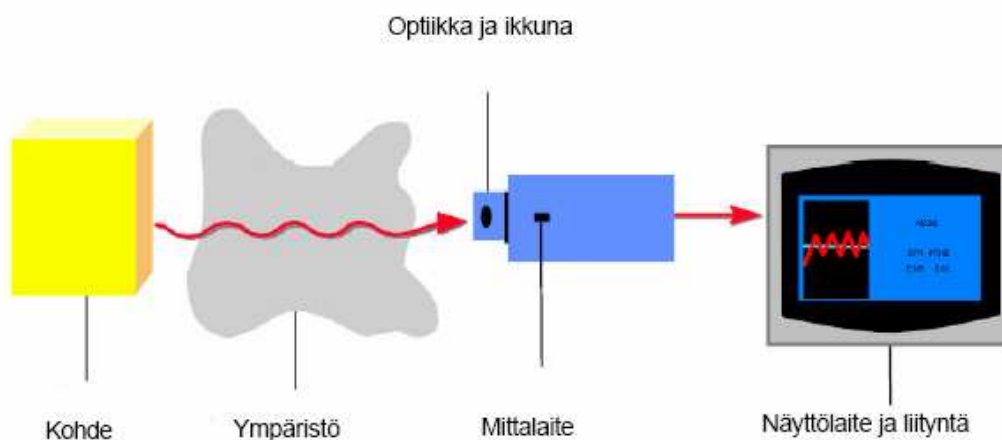
2.1 Lämpökamerakuvauksen edut

Lämpökameratekniikkaa on käytetty kymmeniä vuosia teollisuudessa ja tutkimuksessa. Nykyajan lämpökamerat eivät enää ole kalliita ja suuria, koska tekniikan kehitys on mennyt hyvin nopeasti eteenpäin. Tämä on tehnyt lämpökameroista halvempia, luotettavampia, käyttäjäystävällisempiä ja kooltaan pienempiä. Seuraavassa on muutamia hyötyjä lämpökameran käytöstä:

1. Mittaukseen menee noin alle sekunti, joten se on nopea. Säästetään aikaa, kun voidaan saada monta mittausta nopeasti.
 2. Liikkuvien kohteiden mittaus onnistuu.
 3. Vaarallisia tai luoksepääsemättömiä kohteita voidaan mitata.
 4. Erittäin kuumia kappaleita voidaan mitata eli kuumuudeltaan yli 1300 °C. Näissä tilanteissa yleisesti käytetty kosketukseen perustuva mittaus ei olisi pitkäikäinen.
 5. Kappaleen lämpötilan saa heti ilman huojuntaa. Koskevalla mittauksella lämpötilavossa esiintyy huojuntaa, koska lämpöenergia siirtyy mittauspäähän.
 6. Mittaus ei vahingoita mittavaa kappaletta, koska koskevaa mittausta ei tarvita.
- (Sintrol Oy 2003.)

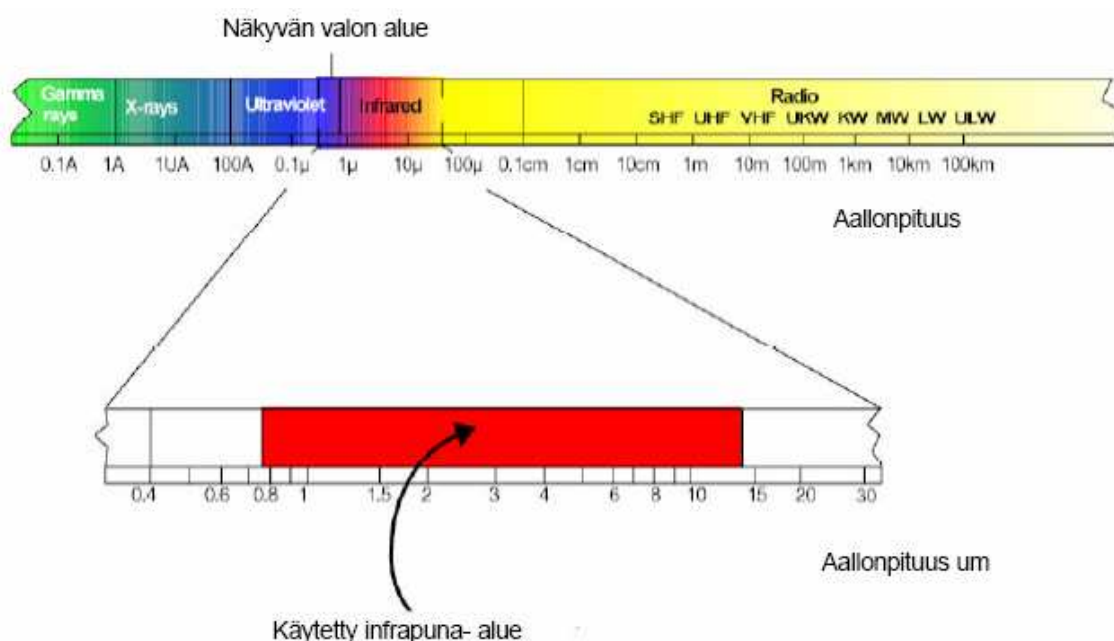
2.2 Lämpökameratekniikka

Kuviossa 1 on kuvattu infrapunalaitteiston toimintaa. Kohde säteilee lämpöä ympäristöön, jonka mittalaite näkee infrapunäsäteilynä. Mittalaite muuttaa infrapunäsäteilyn sähköiseen muotoon. Muunnosten jälkeen näyttölaitteesta näkee kohteen lämpötilan.



KUVIO 1. Infrapunamittauslaitteisto (Sintrol Oy 2003.)

Lämpökameran toiminta perustuu infrapuna-alueella olevan säteilyn mittaamiseen. Infrapunasäteilyä käytetään myös nimeä lämpösäteily. Lämpösäteily johtuu atomien ja molekyylien värähtelystä kappaleessa, toisin sanoen lämpöliikkeestä. Jokainen kappale säteilee lämpöä, kun sen lämpötila on kohonnut absoluuttisen nollapisteen yläpuolelle (>0 Kelviniä eli $273,15\text{ °C}$). Tämä johtuu kappaleen tarpeesta päästä eroon energiastaan. Kuviossa 2 on kuvattu eri aallonpituuksia sähkömagneettisessa spektrissä. Infrapunasäteilyn aallonpituus on ihmiselle näkyvän valon ($0,35\text{--}0,7\mu\text{m}$) aallonpituuden yläpuolella ($0,7\text{--}1000\mu\text{m}$). Infrapunakameroiden käyttämät aallonpituusalueet ovat yleisemmin $2\text{--}5\mu\text{m}$ ja $8\text{--}14\mu\text{m}$. (Uusitupa 2006.)



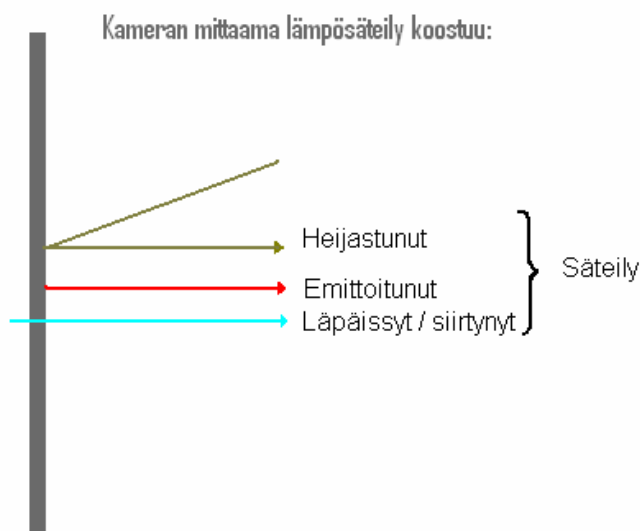
KUVIO 2. Sähkömagneettinen spektri (Sintrol Oy 2003.)

2.3 Emissiivisyys

Eri kappaleilla on erilainen taipumus emittoida lämpösäteilyä. Tätä kutsutaan emissiokertoimeksi. Emissiokertoimesta käytetään symbolia ϵ (epsilon). Emissiivisyys tarkoittaa kappaleen kykyä luovuttaa säteilyä tietyssä lämpötilassa suhteessa samassa lämpötilassa olevaan mustaan kappaleeseen. Kuviossa 3 on esitelty pinnasta mitattavan lämpötilan muodostumista. Kappale voi päästää lävitseen sähkömagneettista säteilyä, josta vain kappaleeseen imeytyvä osa aiheuttaa lämpenemistä. Absorboitumista, läpäisyä ja heijastumista kuvaavien suhdelukujen summa on yksi. Lämpökameroissa emissionkertoimen avulla pyri-

tään korjaamaan tätä suhdetta niin, että mitataan vain kuvattavan kappaleen lämpötilaa eikä esimerkiksi heijastunutta komponenttia. (Uusitupa 2006.)

On hankalaa erottaa, onko kappaleesta mitattu arvo sen oma lämpötila vai onko osittain kysymyksessä ulkopuolisesta säteilystä johtuva heijastus. Mittaustilanteessa tätä suhdetta pyritään korjaamaan muuttamalla kappaleen emissiokertoimeksi annettua arvoa. Emissiokerroin vaihtelee välillä $0 \rightarrow 1$. Kun emissiokerroin on lähellä yhtä, kutsutaan sitä mustaksi kappaleeksi. Tällainen kappale ei heijasta säteilyä lainkaan vaan absorboi kaiken itseensä kohdistuvan säteilyn kaikilla aallonpituuksilla. (Uusitupa 2006.) Tässä opinnäytetyössä tärkeimmät emissiivisyyskertoimet ovat liitteessä 4.



KUVIO 3. Pinnasta mittava lämpötilan muodostuminen (Uusitupa 2006.)

2.4 Metalli- ja muovipintojen kuvaus

Metallien pinnan ollessa kiiltävä on emissiokerroin hyvin pieni, kun taas pinnan ollessa likainen, ruostunut, maalattu tai hapettunut on arvo suurempi. Kuvauksessa on huomioitava, mitä materiaalia metalli on. Myös metallin paksuus tulee huomioida, koska lämmön siirtyminen kestää paksussa metallissa kauemmin. Metallien kuvauksessa on aallonpituudella ja metallin lämpötilalla suuri merkitys emissiivisyyteen. Tämän vuoksi on tärkeää valita mittalaite, jonka aallonpituus ja lämpötila-alue ovat sellaiset, että metallin emis-

siokerroin on mahdollisimman suuri. Suurimmalla osalla metalleista mittausvirhe kasvaa aallonpituuden kasvaessa. (Sintrol Oy 2003.)

Muovin pinnan kuvauksessa tulee ottaa huomioon pinnan puhtaus. Jos pinta on kovin likainen, on emissiivisyysarvo korkeampi. Lika myös ottaa itseensä lämpöenergiaa, ja tämä antaa virheellisiä lämpötila-arvoja pinnasta mitattuna. Muovin materiaali ja paksuus myös vaikuttavat emissiivisyysarvon suuruuteen. Ohut muovi läpäisee lämpösäteilyä paljon enemmän kuin paksu muovi. Parhaimman tuloksen saamiseksi on valittava aallonpituus, jolla muovin lämpösäteilyn läpäisevyys on lähellä nollaa. (Sintrol Oy 2003.)

2.5 Emissiivisyyskertoimen määrittäminen

Emissiivisyyskertoimen määrittämiseen on monta keinoa. Emissiokerrointaulukosta voidaan etsiä sopiva kerroin mitattavan materiaalin perusteella. Taulukossa voi olla myös aallonpituus määritetty kyseiselle materiaalille, ja sen perusteella voi valita sopivan mittalaitteen. Emissiokerroin muuttuu paljon, jos mitattavan materiaalin pinta on kiillotettu, ruostunut, likainen tai hapettunut. Emissiokertoimen määrittelyyn voidaan myös käyttää seuraavia keinoja:

1. Lämpötilamittarilla mitataan kappaleen pintalämpötila, jolla voidaan selvittää lämpötila kosketuksen perusteella. Myös lämmittämällä kappale haluttuun lämpötilaan, jonka jälkeen voidaan mitata kappaleen lämpötila. Tämän jälkeen voidaan kuvata kappaletta lämpökameralla. Emissiokerrointa muuttamalla saadaan kappaleen lämpötila vastaamaan kosketukseen perustuvan lämpötilamittarin lukemaa. Lämpökameraa voidaan käyttää tämän kalibroinnin jälkeen samanlaisten materiaalien kuvauksessa. (Sintrol Oy 2003.)
2. Jos lämpötila on alhainen mitattavassa kohteessa eli alle 260 °C, voidaan käyttää tietynlaista muovitarraa. Tarra asennetaan kappaleen pintaan, jonka annetaan vähän aikaa tasoittua kappaleen lämpötilaan. Lämpökameraan asetetaan tarran tiedetty emissiokerroin ja kuvataan tarran lämpötila kappaleesta. Mitattua lämpötilaa verrataan seuraavaksi kappaleen omaan pintaan. Lämpökameran emissiokerrointa sääde-

tään niin kauan, että kappaleen pinnasta mitattu lämpötila vastaa tarran lämpötilaa. Tämä arvo on kappaleen emissiokerroin. (Sintrol Oy 2003.)

3. Kappale maalataan mattamustalla maalilla, jonka jälkeen asetetaan lämpökameran emissiokertoimeksi mattamustan maalin arvo 0.95. Tämän jälkeen mitataan lämpökameralla maalatun pinnan lämpötila. Seuraavaksi mitataan samaa kappaletta, mutta ei maalattua pintaa. Lämpökameran emissiokerrointa säädetään niin kauan kunnes lämpötila vastaa maalatulta pinnalta mitattua lämpötilaa, ja sen jälkeen kappaleen emissiokerroin on tiedossa. (Sintrol Oy 2003.)

2.6 Heijastumien vaikutus

Kuvattaessa sileää kohdetta tulee suojata se mahdollisimman hyvin ulkopuolisilta lämpösäteilykohteilta. Suuria virhe-analysointeja aiheuttavat esimerkiksi valaisimet, lämmitimet ja muut suurta lämpöä aiheuttavat kohteet. Kuviossa 4 on esitelty, kuinka heijastuma vaikuttaa kuvaan. Kuvassa oleva (Max) kohta on lämmin vesipatteri, joka heijastaa vasemmalla olevaan kiukaan kiiltävään metallipintaan. Johtopäätöksenä on helposti, että kiukaan on kuuma, vaikka todellisuudessa näin ei ole. Helpointa on suojata kohde eristämällä tai muuten poistamalla ulkoiset häiriötekijät tai vaihtamalla kuvauskulmaa ja etäisyyttä. (Uusitupa 2006.)



KUVIO 4. Vesipatterin heijastuma kiukaan kiiltävältä metallipinnalta (Uusitupa 2006.)

2.7 Ympäristöolosuhteet

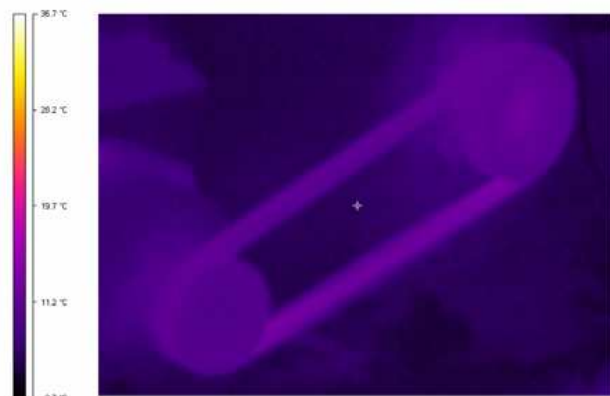
Ilmassa on vesihöyryä ja hiilidioksidia, jotka vaimentavat osan infrapunasäteilystä tietyillä aallonpituusalueilla. Jos vaimennuksen vaikutusta ei oteta huomioon, se vaikuttaa mittaus-tuloksen tarkkuuteen. Erilaiset lämpösäteilyt ympäristöstä tulisi ottaa huomioon kuvattaes-sa lämpökameralla, varsinkin jos kuvataan kylmempää kappaletta jonkin kuuman kappaa-leen vierestä. Kuuman kappaleen lämpösäteily aiheuttaa virhettä kylmän kappaleen mitta-uksessa, koska se heijastaa lämpösäteilyä kylmän kappaleen ja lämpökameran väliin. Ym-päristön lämpötilaa mittaavalla anturilla ja oikealla emissiokertoimella saadaan tarkempia mittaustuloksia. Mittausvirhettä aiheuttavat myös lämpökameran linssille tarttuvat pöly, lika ja savu. (Sintrol Oy 2003.)

2.8 Lämpötila-alueen ja väripaletin valinta

Silloin kun kuvataan kohdetta, jonka lämpötila eroaa vain vähän ympäristön lämpötilasta, on suhtauduttava kriittisesti saatuihin tuloksiin, koska häiriötekijät vaikuttavat suuresti kuvan tuloksiin. Lämpötila-alue tulisi säätää mahdollisimman tarkasti kohdalleen, jotta saadaan kameran koko väripaletti käyttöön. Seuraavaksi tulisi valita sopiva väripaletti, jolla erottaa kriittiset pisteet kohteesta. Kuviossa 5 on lämpötila-alue säädetty oikein, jol-loin kuvasta erottaa mahdolliset viat ja kuvattavat kohteet paremmin. Kuviossa 6 on läm-pötila-alue säädetty liian laajaksi, jolloin kuvassa näyttäisivät kaikki kohdat olevan matala-lämpöisiä ja kunnossa. (Uusitupa 2006.)

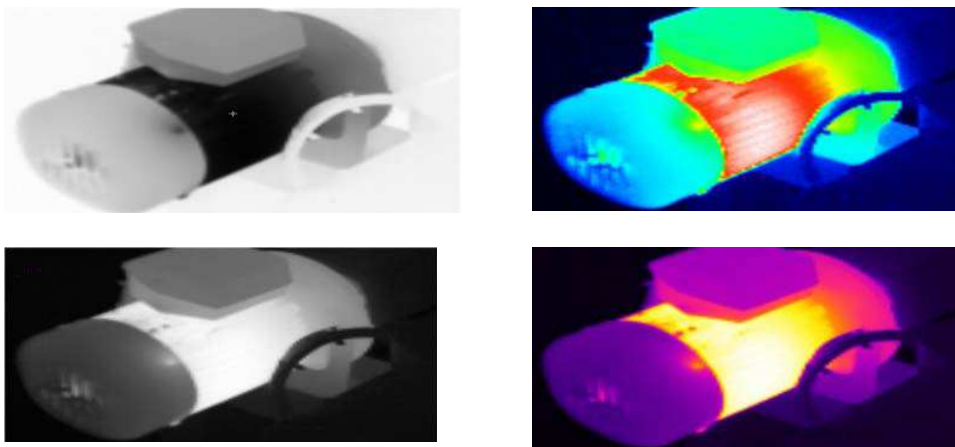


KUVIO 5. Lämpötila-alue säädetty oikein (Uusitupa 2006.)



KUVIO 6. Lämpötila-alue liian laaja (Uusitupa 2006.)

Väripaletin valinta vaikuttaa suuresti vika-alueen etsinnässä. Kuviossa 7 on esitelty erilaisia väripaletteja. Korkeinta lämpötilaa etsiessä huomataan, että grey reverse-, gray- ja ironbow-valinnalla koko moottori käy saman lämpöisenä. Valitaan väripaletti rainbow ja huomataan, että kuvassa vaaleimmassa kohdassa on suurin lämpötila. Tämä alue on mahdollinen vika-alue, joka kertoo kuvaajalle esimerkiksi mahdollisesta jäähdytyksen puutteesta.

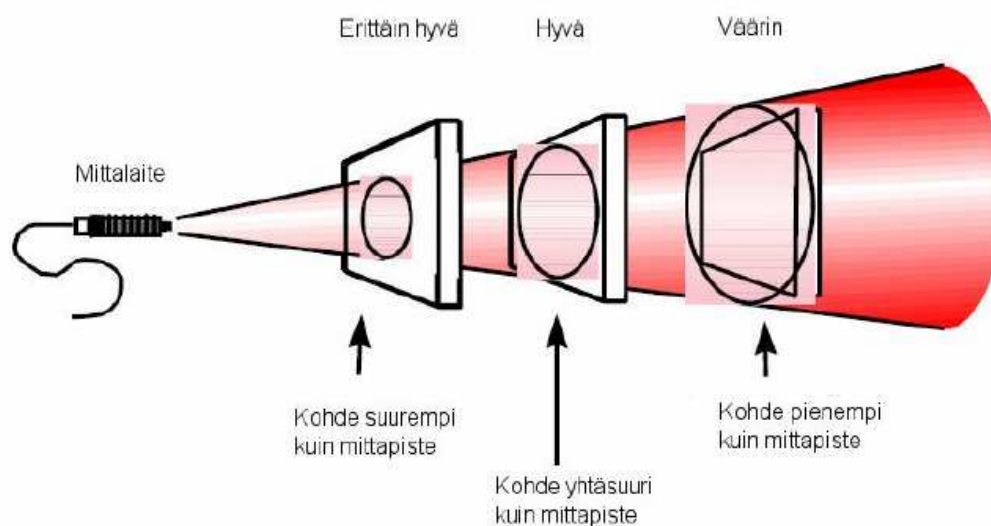


KUVIO 7. Väripaletteja vasemmalta oikealle luettaessa: Grey reverse, rainbow, gray ja ironbow (Uusitupa 2006.)

2.9 Kuvausetäisyys

Lämpökamera vastaanottaa ympyränmuotoiselta alueelta infrapunasäteilyä, jonka kappale lähettää. Kuviossa 8 esitetään, että mitattavan kohteen täytyy olla sitä ympyrämuotoista aluetta suurempi, jonka lämpökamera vastaanottaa. Tämä on tarpeen siksi, että taustalta

tuleva infrapunasäteily aiheuttaa mittausvirhettä, jos alue ei ole kappaleita suurempi. Kuvausväistyksen pitää olla oikea, jotta saataisiin paras mahdollinen mittaustulos. Jos löydetään jokin vika, on kuvattava lämpökameralla mahdollisimman läheltä niin, että kuvassa näkyy vain vikakohta tarkkana. Muita kuvia voi ottaa samasta kohteesta vähän kauempaa, jotta tiedetään kuvaus suunta ja paikka. (Sintrol Oy 2003.)



KUVIO 8. Kohteen tulee täysin kattaa mittapisteen alue tai muuten mittauksessa tapahtuu mahdollisia virheellisiä tuloksia (Sintrol Oy 2003.)

3 TEOLLISUUDEN LÄMPÖKAMERAKUVAT JA TULOKSET

Tässä luvussa esitellään mittauslaitteisto, lämpökamerakuvat ja kuvien analysointimenetelmät. Kuvissa esitellään eri kohteiden mahdollisia vikoja tai muita mahdollisia lämpökameran hyödynnyskeinoja. Luvuissa Kuvat ovat New Boliden Oy:n tehtaalta, jossa kuvausalueet olivat puhdistamo ja pasutto. Näillä alueilla kuvasin lähinnä sähkömoottoreita, sähkönsyöttöjä, putkistoja ja säiliöitä. Tässä luvussa ovat tärkeimmät lämpökamerakuvat. Näissä kuvissa näkyvät suurimmat mahdolliset viat, jotka löytyivät New Boliden Oy:n puhdistamon ja pasuton tehdastiloista. Myös erilaisia ehdotuksia lämpökameran tuotannon seurantamenetelmiksi esitellään kohdissa 3.7, 3.8 ja 3.9. Esimerkki lämpökamerakuvia käsitellään luvussa 4.

3.1 Guide Mobir M3 –lämpökamera ja kuvien analysointi

Mittauslaitteena käytin kuviossa 9 olevaa lämpökameraa Wuhan Guide Mobir M3:sta. Lämpökamera on Keski-Pohjanmaan ammattikorkeakoulun omaisuutta. Mobir M3 on näppärä pienen kokonsa vuoksi ja kameran lämpötila-alue on tarpeeksi laaja ($-20\dots+250$), jolloin se kävi melkein joka paikassa tehtaan kuvauksissa. Lämpökameran ohjelmiston käyttö oli helppoa ja nopeaa. Kohteesta otettua kuvaa pystyi analysoimaan lämpökameralla paikanpäällä. Lämpökameran muistikortille voidaan tallettaa otettuja kuvia noin 100 kappaletta. Lämpökamerassa on linssinsuoja, joka voidaan asentaa paikalleen silloin, kun siirrytään paikasta toiseen. Lämpökamera Wuhan Guide Mobir M3:sen tekniset tiedot ovat liitteenä englanniksi (LIITE 1) ja lämpökameran keskeiset ominaisuudet suomennettuna (LIITE 2).



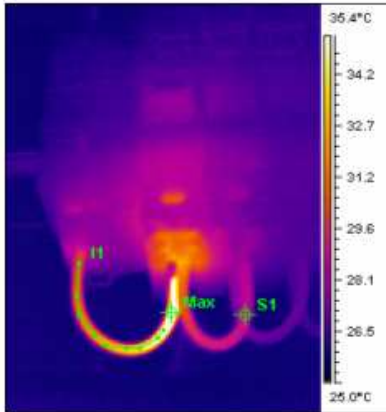
KUVIO 9. Lämpökamera Wuhan Guide Mobir M3 (Mobir M3 2009.)

Mittaustulosten analysointiin käytin lämpökameran omalta ohjelmisto-cd:ltä löytyvää analysointiohjelmaa Guide IrAnalyzer v.1.7. Analysointiohjelma oli englanninkielinen, mutta helppo ymmärtää. Asennus-cd:llä oli englanninkieliset ohjeet ohjelman käyttämiseen. Analysointiohjelmalla pystyy muuttamaan monia arvoja, esimerkiksi emissiivisyyden, väripaletin ja ilmankosteuden. Kuvista pystyy mittaamaan lämpötilojen maksimi-, minimi- ja keskiarvon eri alueilta. Ohjelmassa on valmiita raporttipohjia. Valitsin raporttipohja 2 kaikissa kuvissa, koska mielestäni siinä oli sopivasti informaatiota. Raporttipohja on englanninkielinen, joten suomensin avainsanat (LIITE 3).

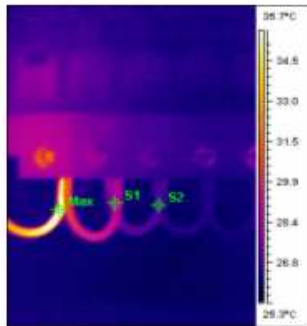
3.2 AT1-sähkökojeiston kuumentunut johtoliitos

Tutkin PS3:n ristikytcentätilaa ja löysin mahdollisen vian. Taulukossa 1 esitettyssä AT1-sähkökojeistossa on mahdollisesti huono johtoliitos, koska johto näyttäisi olevan kuumempi kuin muut johdot. Kuvassa huonon liitoksen omaavan johdon lämpötilanmittausviiva I1 ilmaisee, kuinka lämmin johto on. Mittauspiste S1 ilmaisee normaalilämpöisen johdon lämpötilan. Näiden kahden mittauspisteen lämpötila-ero on noin 10 °C. Kaikki johdot olivat samanvahvuisia ja samanvärisiä. Johtojen pintamateriaalin emissiivisyysarvo on lähellä muovinarvoa, joka on 0.95. Valitsin lämpökameran emissiivisyysarvoksi 0.9. Taulukossa 2 kuvasin kauempaa kohdetta, jotta saisin kaikki vikavirtasuojien sähköjohdot kuvaan. Tarvittava toimenpide tähän olisi kytkeä sähköt pois, tarkistaa kuumaliitoskohta ja kuvata kohde uudelleen.

TAULUKKO 1. AT1-sähkökojeisto läheltä

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka			
Inspected Time: 2007-10-28 3:29 PM			Inspected Location: Pasutto			
File Name	IMAGE001	Created Date	Thursday, August 23, 2007	Created Time	7:53:31 AM	
Emissivity	0.90	Humidity	70 %	Distance	0.8m	
Ambient	27.5 °C	Max Temp	40.3 °C	Min Temp	28.2 °C	
IR Image				Object Parameter		Value
				Max		40.3 °C
				S1		28.2 °C
				I1:AvgTemp		33.7 °C
				I1:MaxTemp		39.3 °C
				I1:MinTemp		29.3 °C
Analysis & Recommended Action: AT1-sähkökojeisto läheltä kuvattuna. Kuvassa olevat laitteet vasemmalta oikealle ovat: pääkatkaisija, vikavirtasuojaja, vikavirtasuojaja ja vikavirtasuojaja. Kuten kuvasta huomaa, on pääkytkimestä vikavirtasuojajakytkimelle oleva liitäntäjohto (kuvassa I1) lämpimämpi kuin muut hyppyjohdot (kuvassa S1). Tämä johtuu luultavasti siitä, että johto on huonosti kiinni vikavirtasuojajakytkimen liitännässä.						

TAULUKKO 2. AT1-sähkökojeisto kauempaa

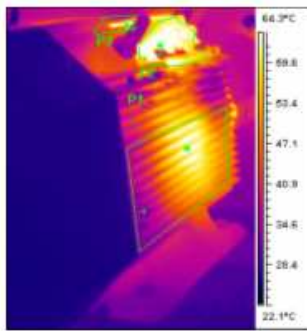
Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka			
Inspected Time: 2007-10-28 3:29 PM			Inspected Location: Pasutto			
File Name	IMAGE003	Created Date	Thursday, August 23, 2007	Created Time	7:54:33 AM	
Emissivity	0.90	Humidity	70 %	Distance	0.3m	
Ambient	26.6 °C	Max Temp	40.4 °C	Min Temp	25.0 °C	
IR Image				Object Parameter		Value
				Max	40.4 °C	
				S1	27.2 °C	
				S2	25.0 °C	
Analysis & Recommended Action: AT1-sähkökojeisto kauempaa kuvattuna. Kuvassa olevat laitteen vasemmalta oikealle ovat kaikki vikavirtasuojia. Kuten kuvasta huomaa, on pääkytkimestä vikavirtasuojajkytkimelle oleva liitäntäjohto (kuvassa Max) lämpimämpi kuin muut hyppyjohdot (kuvassa S1 ja S2). Tämä johtuu mahdollisesti siitä, että johto on huonosti kiinni vasemmanpuoleisimman vikavirtasuojajkytkimen liitännässä.						

3.3 LIR-paluuhiippopumppu 2 sähkömoottorin kytkentäkopan korkea lämpötila

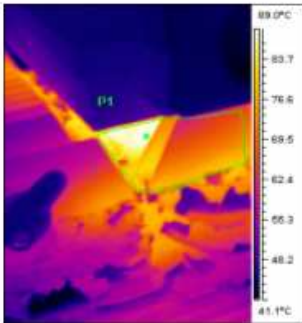
Tutkin LIR-paluuhiippopumppu 2:n sähkömoottoria, jossa huomasin suuren lämpötila-poikkeaman. Moottorin runko oli valuraudasta, vähän hapettunut ja hieman likainen. Emissiivisyysarvo valuraudalla, jonka pinta on hieman hapettunut, vaihtelee välillä 0.6–0.95. Valitsin emissiivisyysarvoksi 0.7. Taulukossa 3 P3-lämpötilanmittausalueella sähkömoottorin kytkentäkopan alapuolella näyttäisi olevan korkea lämpötila, 96,5 °C. Lämpötila sähkömoottorin kyljessä P1-lämpötilanmittausalueella on korkeimmillaan 72,1 °C, joten ero kytkentäkopan lämpötilaan on 22,7 °C. Taulukossa 4 kuvasin läheltä kytkentäkoppaa, jotta ympäristön lämpösäteily ei vääristäisi tuloksia. Tästäkin huolimatta sain P1-lämpötilanmittausalueen maksimilämpötilaksi 96,5 °C.

Taulukossa 5 kuvasin sähkömoottorin vasenta kylkeä, josta erottui P1-lämpötilanmittausalueelta korkea lämpötila. Kytkentäkopan kohdalta lämpötila oli noin 95 °C. Sähkömoottorin kytkentäkopassa voi olla johdot huonosti kiinni. Tämä aiheuttaa sen, että liitokset lämpenevät säteillen lämpöenergiaa kytkentäkopan runkoon, mikä näkyy lämpökamerassa korkeana lämpötilana. Toimenpide tähän olisi avata kytkentäkoppa ja kuvata johtoliitokset uudestaan. Jos johtoliitokset ovat kuumat kytkentäkopassa, tulee tarkistaa johtoliitoksien kytkennät ja kuvata uudestaan.

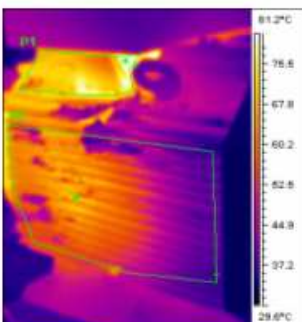
TAULUKKO 3. LIR-paluuhiippopumppu 2 sähkömoottorin kuva oikealta

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-28 4:14 PM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE009	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	7:46:41 AM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	26.6 °C	Max Temp	94.8 °C	Min Temp	27.8 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	52.5 °C
				P1:MaxTemp	72.1 °C
				P1:MinTemp	27.8 °C
				P3:AvgTemp	52.5 °C
				P3:MaxTemp	94.8 °C
				P3:MinTemp	27.8 °C
				P2:AvgTemp	67.0 °C
				P2:MaxTemp	81.0 °C
				P2:MinTemp	39.0 °C
Analysis & Recommended Action: Sähkömoottorin P2- ja P3-lämpötilanmittausalueella on korkea lämpötila verrattuna P1-lämpötilanmittausalueeseen. Lämpötila-ero on suurimmillaan maksimiarvojen suhteen jopa 22,7 °C.					

TAULUKKO 4. LIR-paluuhiappopumppu 2 sähkömoottorin kytkentäkoppa

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-28 4:14 PM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE013	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	7:48:48 AM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	25.3 °C	Max Temp	96.5 °C	Min Temp	51.8 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	79.0 °C
				P1:MaxTemp	96.5 °C
				P1:MinTemp	51.8 °C
Analysis & Recommended Action: Edellinen kuva image009 ja siinä olevan P3-lämpötilanmittausalueen tarkempi tarkastelu. Lämpötila on P1-lämpötilanmittausalueella jopa maksimissaan 96,5 °C.					

TAULUKKO 5. LIR-paluuhiappopumppu 2 sähkömoottorin kuva vasemmalta

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-28 4:14 PM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE011	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	7:47:57 AM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	25.8 °C	Max Temp	95.0 °C	Min Temp	31.1 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	77.4 °C
				P1:MaxTemp	95.0 °C
				P1:MinTemp	58.1 °C
				P2:AvgTemp	55.5 °C
				P2:MaxTemp	76.2 °C
				P2:MinTemp	31.1 °C
				Analysis & Recommended Action: Sähkömoottorin P1-lämpötilanmittausalueella on korkea lämpötila verrattuna P2-lämpötilanmittausalueeseen. Lämpötila-ero on suurimmillaan maksimiarvojen suhteen jopa 18,8 °C.	

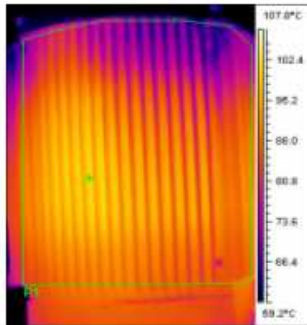
3.4 NR2-sekoittimen sähkömoottorin korkea käyntilämpötila

Tutkiessani NR eli neutraalireaktorin sähkömoottoreita huomasin korkean lämpötilan NR2-sähkömoottorin kyljessä. Sekoittimien sähkömoottorit ovat suuria ja ottavat ison määrän virtaa. Tämä taas johtaa suuriin sähkömoottorilämpötiloihin, joten saadakseni varmuutta mahdollisesta viasta otin lämpökamerakuvia eri NR-moottoreista. Vertailuun otin kolme sähkömoottoria, NR1, NR2 ja NR3, jotka kaikki olivat valurautasähkömoottoreita. Valitsin emissiivisyysarvoksi 0.7, joka on sopiva hapettunutta valurautaa kuvattaessa. Seuraavaksi otin valvomon prosessikuvasta moottorien kuluttamat virta-arvot ja vertailin näitä keskenään. NR2 ja NR3 ottivat melkein saman määrän virtaa, noin 140 A, mutta moottorien lämpötilat olivat erilaiset.

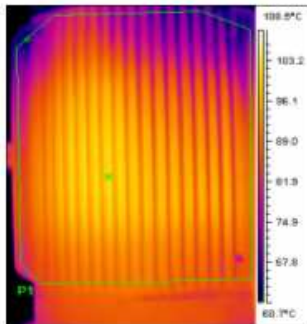
Taulukossa 8 NR2-sähkömoottorin lämpötila oli hälyttävän korkea, noin 130 °C, ja taulukossa 10 NR3-sähkömoottorin lämpötila oli noin 80 °C. Näiden kahden moottorin lämpötila-ero on todella suuri noin 50 °C. Jos näitä lämpötiloja ja virtoja suhteutetaan vielä taulukossa 6 olevaan NR1-sähkömoottoriin, huomataan, että taulukossa 6 NR1-lämpötila on noin 105 °C ja moottorin ottama virta 180 A. Yläosassa kuvaa näkyy puhaltimen vaikuttama jäähdytys, joka on alimmillaan 49,8 °C. Toinen kuvauskierrös tapahtui seuraavana päivänä, ja kuten taulukoista 7, 9 ja 11 voi huomata ei havaittavissa ollut suuria muutoksia sähkömoottoreiden lämpötiloissa ja virta-arvoissa.

Johtopäätöksenä tästä tutkimuksesta on, että NR2-sähkömoottorissa voi olla vikaa joko jäähdytyksessä tai kelojen kunnossa. Sekoituslavoissa voi olla pinttyneenä paljon likaa, joka kuormittaa sähkömoottoria.

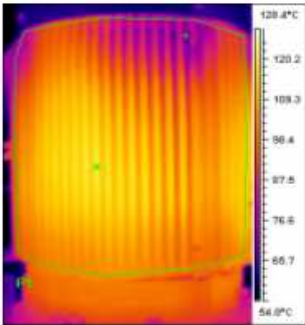
TAULUKKO 6. NR1-sekoittimen sähkömoottorin ensimmäinen kuvauskierrös

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-25 9:52 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE010	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	2:53:00 PM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	34.6 °C	Max Temp	105.4 °C	Min Temp	49.8 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	90.4 °C
				P1:MaxTemp	105.4 °C
				P1:MinTemp	49.8 °C
Analysis & Recommended Action: NR1-sekoittimen sähkömoottorin kylki on kuvassa P1 lämpötilanmittausalueella maksimissaan jopa 105,4 °C (keltainen alue). Yläosassa kuvaa näkyy puhaltimen vaikuttama jäähdytys (violetti alue), joka on alimmillaan 49,8 °C. Moottorin ottama virta oli 180 A, jonka sain valvomon tietokoneelta prosessikuvasta.					

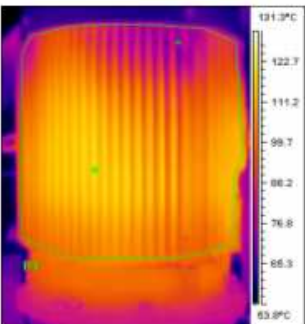
TAULUKKO 7. NR1-sekoittimen sähkömoottorin toinen kuvauskierrös

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-25 9:52 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE001	Created Date	Thursday, August 23, 2007	Created Time	7:32:07 AM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	25.5 °C	Max Temp	104.9 °C	Min Temp	54.2 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	90.1 °C
				P1:MaxTemp	104.9 °C
				P1:MinTemp	54.2 °C
Analysis & Recommended Action: NR1:n toinen kuvauskierrös lämpökameralla. Sähkömoottorin lämpötila-arvot eivät ole juuri muuttuneet edellisen kuvauskierröksen arvoista kuin muutaman asteen.					

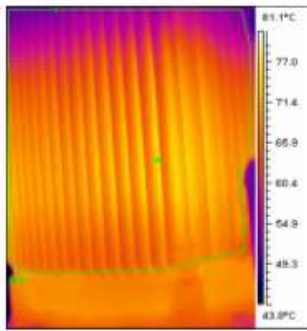
TAULUKKO 8. NR2-sekoittimen sähkömoottorin ensimmäinen kuvauskierros

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-25 10:03 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE016	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	2:57:33 PM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	35.9 °C	Max Temp	129.7 °C	Min Temp	60.2 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	110.1 °C
				P1:MaxTemp	129.7 °C
				P1:MinTemp	60.2 °C
Analysis & Recommended Action: NR2-sähkömoottorin kylki on kuvassa P1-lämpötilanmittausalueella maksimissaan jopa 129,7 °C (keltainen alue). Yläosassa kuvaa näkyy puhaltimen vaikuttama jäähdytys (violetti alue), joka on alimmillaan 60,2 °C. Moottorin ottama virta oli 134 A, jonka sain valvomon tietokoneelta prosessikuvasta.					

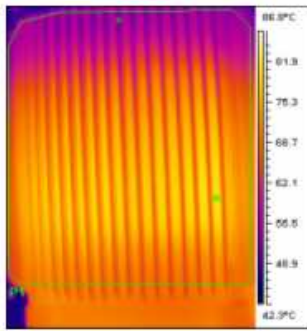
TAULUKKO 9. NR2-sekoittimen sähkömoottorin toinen kuvauskierros

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka			
Inspected Time: 2007-10-25 10:03 AM			Inspected Location: Puhdistamo			
File Name	IMAGE004	Created Date	Thursday, August 23, 2007	Created Time	7:33:10 AM	
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m	
Ambient	27.1 °C	Max Temp	128.9 °C	Min Temp	63.1 °C	
IR Image				Object Parameter		Value
				P1:AvgTemp		110.8 °C
				P1:MaxTemp		128.9 °C
				P1:MinTemp		63.1 °C
Analysis & Recommended Action: NR2:n toinen kuvauskierros lämpökameralla. Sähkömoottorin lämpötila-arvot eivät ole juuri muuttuneet edellisen kuvaus kierroksen arvoista kuin muutaman asteen.						

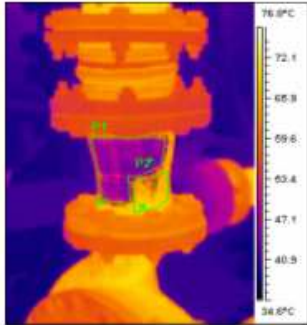
TAULUKKO 10. NR3-sekoittimen sähkömoottorin ensimmäinen kuvauskierros

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-25 10:20 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE027	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	3:02:17 PM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	35.7 °C	Max Temp	79.9 °C	Min Temp	46.6 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	68.2 °C
				P1:MaxTemp	79.9 °C
				P1:MinTemp	46.6 °C
Analysis & Recommended Action: NR3-sähkömoottorin kylki on kuvassa P1-lämpötilanmittausalueella maksimissaan 79,9 °C (keltainen alue). Yläosassa kuvaa näkyy puhaltimen vaikuttama jäähdytys (violetti alue), joka on alimmillaan 46,6 °C. Moottorin ottama virta oli 143 A, jonka sain valvomon tietokoneelta prosessikuvasta.					

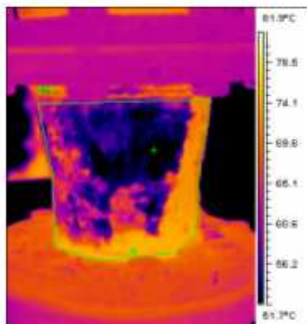
TAULUKKO 11. NR3-sekoittimen sähkömoottorin toinen kuvauskierros

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-25 10:20 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE009	Created Date	Thursday, August 23, 2007	Created Time	7:34:46 AM
Emissivity	0.70	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	28.5 °C	Max Temp	86.6 °C	Min Temp	46.5 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	70.2 °C
				P1:MaxTemp	85.6 °C
				P1:MinTemp	46.5 °C
Analysis & Recommended Action: NR3:n toinen kuvauskierros lämpökameralla. Sähkömoottorin lämpötila-arvot eivät ole juuri muuttuneet edellisen kuvaus kierroksen arvoista kuin muutaman asteen.					

TAULUKKO 13. CoS1-alitepumppu 2:n putkistotukos kauempaa

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-08-09 10:25 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE026	Created Date	Monday, August 06, 2007	Created Time	10:29:44 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	31.5 °C	Max Temp	74.7 °C	Min Temp	40.5 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	47.4 °C
				P1:MaxTemp	69.0 °C
				P1:MinTemp	40.5 °C
				P2:AvgTemp	70.2 °C
				P2:MaxTemp	74.7 °C
				P2:MinTemp	50.9 °C
	Analysis & Recommended Action: Putkessa on alkamassa mahdollinen tukos P1-lämpötilanmittausalueessa. P2-lämpötilanmittausalue kuvaa puhdasta putkea. Lämpötilaero tukoksen ja avonaisen kohdan välillä on 34,2 °C.				

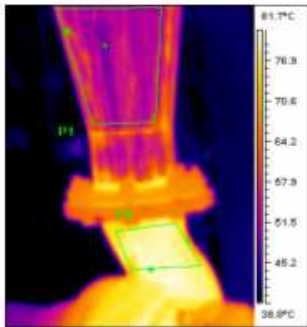
TAULUKKO 14. CoS1-alitepumppu 2 putkistotukoksen toinen kuvauskierrös

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-26 11:15 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE001	Created Date	Wednesday, August 15, 2007	Created Time	7:31:26 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	25.5 °C	Max Temp	76.4 °C	Min Temp	55.1 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	60.8 °C
				P1:MaxTemp	76.4 °C
				P1:MinTemp	55.1 °C
Analysis & Recommended Action: Toinen kuvauskierrös myöhemmin. Kuvasta näkyy edelleen mahdollinen alka- va tukos P1-lämpötilanmittausalueella. Lämpötilaero on 21,3 °C tukoskohdan ja puhtaan putkiston välillä.					

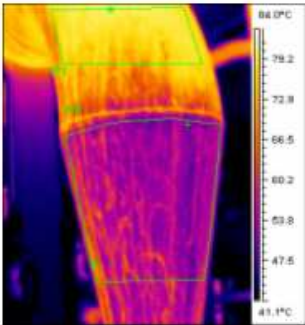
3.6 CuR2-pumppu 1:n putkistotukos

Putkilinjaa tutkiessani huomasin suuren lämpötilaeron supistuskohdan ja siihen tulevan suuren putken välillä. Putken materiaali on haponkestävää terästä, jolle en löytänyt emissiivisyysarvoa. Mutta luultavasti se on lähellä hapettuneen teräksen arvoa, joka on 0.7–0.9, joten valitsin emissiivisyysarvoksi 0.85. Taulukossa 16 supistuskohdassa on luultavasti pinnittynyt likaa putken sisäseinämiin, ja tämä aiheuttaa noin 40 °C:n lämpötila-eron lämpökamerakuvassa. Taulukossa 15 kuvasin supistuskohtaa kauempaa. Toisella kuvauskierroksella noin 16 päivää myöhemmin ei kohteessa ollut suuria eroja, mikä ilmenee taulukosta 17. Putkilinjoista olisi hyvä ottaa kuvia alku vaiheessa, jotta voitaisiin vertailla mahdollisia alkavia tukoksia. Myös putkien vaihdossa tai korjauksissa olisi hyvä katsoa putken sisälle mahdollisten tukkeumien löytämiseksi.

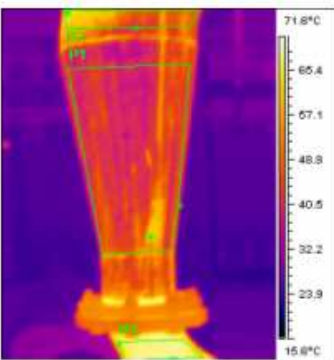
TAULUKKO 15. CuR2-pumppu 1:n putkistotukos kauempaa

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-08-09 8:35 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE046	Created Date	Monday, August 06, 2007	Created Time	9:43:36 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	28.0 °C	Max Temp	87.3 °C	Min Temp	45.7 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	53.7 °C
				P1:MaxTemp	66.2 °C
				P1:MinTemp	45.7 °C
				P2:AvgTemp	85.1 °C
				P2:MaxTemp	87.3 °C
				P2:MinTemp	76.2 °C
	Analysis & Recommended Action: Supistuskohdassa P1-lämpötilanmittausalueessa on mahdollisesti alkava tukos. Lämpötilaero tukoksen ja avonaisen putken P2-lämpötilanmittausalueen välillä on 41,6 °C.				

TAULUKKO 16. CuR2-pumppu 1:n putkistotukos läheltä

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-08-09 8:35 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE048	Created Date	Monday, August 06, 2007	Created Time	9:43:58 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	28.0 °C	Max Temp	86.2 °C	Min Temp	45.7 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	84.0 °C
				P1:MaxTemp	86.2 °C
				P1:MinTemp	69.5 °C
				P2:AvgTemp	54.9 °C
				P2:MaxTemp	75.1 °C
				P2:MinTemp	45.7 °C
Analysis & Recommended Action: Supistuskohdassa on mahdollisesti alkava tukos. Lämpötilaero tukoksen P2-lämpötilanmittausalueen ja avonaisen putken P1-lämpötilanmittausalueen välillä on 40,5 °C.					

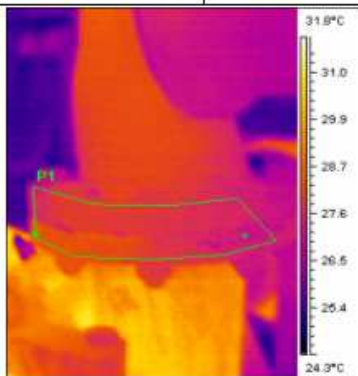
TAULUKKO 17. CuR2-pumppu 1 putkistotukoksen toinen kuvauskierrös

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-26 11:30 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE054	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	8:21:12 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	27.6 °C	Max Temp	84.0 °C	Min Temp	34.2 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	51.4 °C
				P1:MaxTemp	74.0 °C
				P1:MinTemp	34.2 °C
				P2:AvgTemp	62.8 °C
				P2:MaxTemp	81.8 °C
				P2:MinTemp	46.9 °C
				P3:AvgTemp	81.8 °C
				P3:MaxTemp	84.0 °C
				P3:MinTemp	76.2 °C
Analysis & Recommended Action: Toisella kierroksella lämpökamerakuvassa ei ole suurempia muutoksia P1- ja P2-lämpötilanmittausalueen lämpötilaeron suhteen, joka on nyt 40,2 °C.					

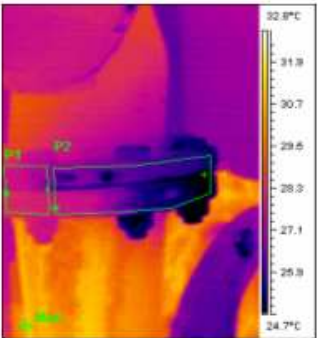
3.7 SSR2-pumppun putkistovuoto

Tutkittavana oli putkiston laippojen vuoto. Putken materiaali on haponkestävää terästä, jolle en löytänyt emissiivisyysarvoa. Mutta luultavasti se on lähellä hapettuneen teräksen arvoa, joka on 0.7–0.9, joten valitsin emissiivisyysarvoksi 0.85. Lämpökameralla kuvasin laippojen liitoskohtaa, josta silmin erotti vuotokohdan. Tästä olisi hyvä ottaa vertauskuva esimerkiksi tulevien mahdollisten vuotojen valvontalaitteistojen suunnittelussa. Taulukossa 18 laipan lämpötila on melkein sama kuin ympäristönlämpötila, joka ilmenee P1-lämpötilanmittausalueesta. Taulukossa 19 vuotokohdan näki selvästi lämpökameralla, ja tästä kohdasta otetusta kuvasta näkee, että P2-lämpötilanmittausalue on kylmempi kuin laipan tiivis osa P1-lämpötilanmittausalue. Taulukossa 20 vuotokohtaa oli kuvattu kauem-paa, jotta kuvausalueen erottaisi paremmin. Toimenpide olisi kiristää laippojen pultit. Jos vuoto jatkuu edelleen, laippojen välissä oleva tiiviste on luultavasti hajalla.

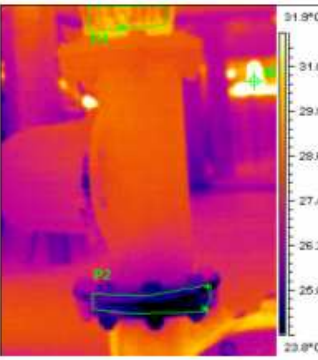
TAULUKKO 18. SSR2-pumppun putkiston laipan tiivis osa

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-26 11:44 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE001	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	7:38:37 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	24.0 °C	Max Temp	29.0 °C	Min Temp	26.7.0 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	27.9 °C
				P1:MaxTemp	29.0 °C
				P1:MinTemp	26.7 °C
Analysis & Recommended Action: Kuvassa P1-lämpötilanmittausalueessa on laippojen liitoskohta, jossa alin laip- pa on pumpun ja ylin tuloputken. Kuvassa P1-lämpötilanmittausalueen maksimi- ja minimiarvojen lämpötila on mel- kein sama, joten tässä kohdassa laipat eivät vuoda.					

TAULUKKO 19. SSR2-pumppun putkiston laipan vuotokohta läheltä

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-26 11:44 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE003	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	7:39:13 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	23.9 °C	Max Temp	32.5 °C	Min Temp	20.8 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	32.5 °C
				P1:AvgTemp	27.8 °C
				P1:MaxTemp	27.9 °C
				P1:MinTemp	24.3 °C
				P2:AvgTemp	25.5 °C
				P2:MaxTemp	27.9 °C
				P2:MinTemp	20.8 °C
	Analysis & Recommended Action: Kuvassa P1-lämpötilanmittausalueella laippojen välillä ei ole vuotoa, mutta P2-lämpötilanmittausalueella on. Tämän tietää, kun vertaa P1-lämpötilanmittausalueen minimi- ja maksimilämpötila-arvojen eroa. P2-lämpötilanmittausalueen minimi- ja maksimilämpötila-arvojen eroon. Tällöin huomataan, että lämpötilaero on puolet suurempi P2-lämpötilanmittausalueella, joten vuoto on P2-lämpötilanmittausalueella. Vuoto oli pieni, mutta näkyi silminnähävästi paikan päällä.				

TAULUKKO 20. SSR2-pumppun putkiston laipanvuotokohta kauempaa

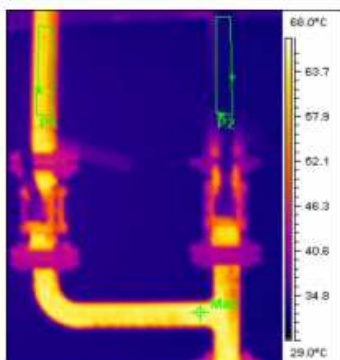
Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-10-26 11:44 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE008	Created Date	Wednesday, August 22, 2007	Created Time	7:41:54 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	1.1m
Ambient	23.8 °C	Max Temp	32.5 °C	Min Temp	19.6 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	Heijastus
				P1:AvgTemp	31.3 °C
				P1:MaxTemp	32.5 °C
				P1:MinTemp	29.0 °C
				P2:AvgTemp	23.2 °C
				P2:MaxTemp	24.3 °C
				P2:MinTemp	19.6 °C
	Analysis & Recommended Action: Tässä kuvaus on tehty kauempaa, jolloin lämpötilaero näkyy selvemmin. P2-lämpötilanmittausalue on vuotokohta.				

3.8 HPS1-happopesusäiliön putkiston nesteen virtaus

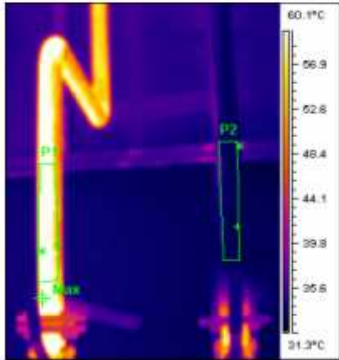
Lämpökameralla tutkin avointa ja suljettua putkistolinjaa. Putken materiaali on haponkestävää terästä, jolle en löytänyt emissiivisyys arvoa. Mutta luultavasti se on lähellä hapettuneen teräksen arvoa, joka on 0.7–0.9, joten valitsin emissiivisyysarvoksi 0.85. Taulukoissa 21 ja 22 tarkastellaan putkessa liikkuvaa liuosta. Se oli molemmissa kuvissa tarpeeksi lämmintä, jotta se erottui ympäristön lämpötilasta. Siinä osassa putkistoa on virtausta, joka näkyy P1-lämpötilanmittausalueessa. Kun lämpötila oli melkein ympäristön lämpötilan luokkaa P2-lämpötilanmittausalueessa, virtausta ei ollut tässä osassa putkistoa. Kuvassa molemmat käsiventtiilit olivat auki kuvaushetkellä.

Lämpökamera ei pysy mukana, jos sulkuventtiilejä avattaisiin ja suljettaisiin nopeaa tahtia, koska lämpö siirtyy putken metalliin ja sulkutilanteessa putki hohtaa vielä jonkin aikaa lämpöä, vaikka liuosta ei olisikaan enää putkessa. Tästä aiheutuu mahdollisia virheitä. Jos liuoslämpötila on todella kuuma verrattuna ympäristölämpötilaan, voidaan nähdä helpommin liuoksen kulku putkistossa.

TAULUKKO 21. HPS1-happopesusäiliön putkiston risteyskohta

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-08-09 8:47 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE039	Created Date	Monday, August 06, 2007	Created Time	9:38:34 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	30.8 °C	Max Temp	72.5 °C	Min Temp	25.5 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	72.5 °C
				P1:AvgTemp	63.5 °C
				P1:MaxTemp	70.3 °C
				P1:MinTemp	54.4 °C
				P2:AvgTemp	27.8 °C
				P2:MaxTemp	29.0 °C
				P2:MinTemp	25.5 °C
				Analysis & Recommended Action: Putkessa P1-lämpötilanmittausalueessa virtaa liuos ja P2-lämpötilanmittausalueessa putkessa ei ole virtausta.	

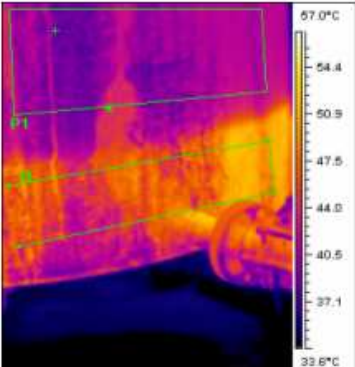
TAULUKKO 22. HPS1-happopesusäiliön putkisto

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2007-08-09 8:47 AM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE040	Created Date	Monday, August 06, 2007	Created Time	9:38:45 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	0.8m
Ambient	30.6 °C	Max Temp	71.4 °C	Min Temp	26.6 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				Max	71.4 °C
				P1:AvgTemp	64.7 °C
				P1:MaxTemp	71.4 °C
				P1:MinTemp	54.4 °C
				P2:AvgTemp	27.8 °C
				P2:MaxTemp	33.7 °C
				P2:MinTemp	26.6 °C
	Analysis & Recommended Action: Putkessa P1-lämpötilanmittausalueessa virtaa liuos ja P2-lämpötilanmittausalueessa putkessa ei ole virtausta.				

3.9 HPS1-happopesusäiliön pinnankorkeuden mittaus

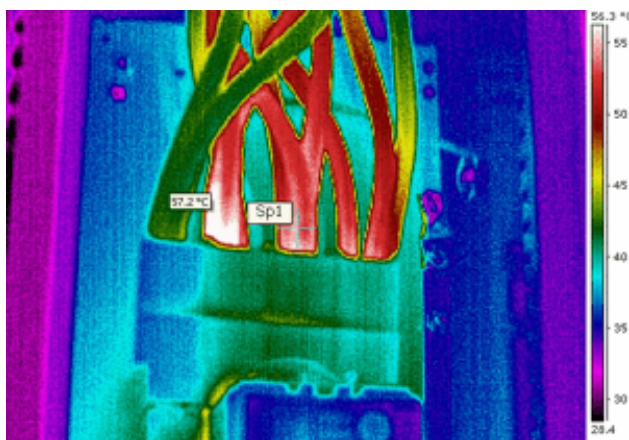
Tutkimuksen kohteena oli happopesusäiliö, ja siitä tarkastelin liuoksen pinnankorkeutta. Säiliön materiaali on haponkestävää terästä, jolle en löytänyt emissiivisyys arvoa. Mutta luultavasti se on lähellä hapettuneen teräksen arvoa, joka on 0.7–0.9, joten valitsin emissiivisyysarvoksi 0.85. Taulukon 23 lämpökamerakuvasta voi erottaa säiliön liuoksen pinnankorkeuden. Lämpimämpi osa I1-lämpötilanmittausviiva on liuoksen pinta, ja kylmempi osa P1-lämpötilanmittausalue on säiliön tyhjä tila. Pinnankorkeus näyttäisi kuvan mukaan olevan jotain 20–30 cm:n luokkaa. Valvomokuvasta tarkastin pinnankorkeuden, joka oli 20 cm. Lämpökameralla voi seurata pinnankorkeutta tietyin varauksin. Pinnankorkeuden arvioinnissa on otettava huomioon mahdollinen virhemarginaali, koska lämpötila siirtyy säiliön metalliin ja siitä säteilee lämpökameraan. Tämän vuoksi nopea pinnankorkeuden muutos on lämpökameralla hankala mitata. Jos säiliö esimerkiksi on täynnä liuosta ja sitä aletaan tyhjentää nopeasti, lämpö jää silti säteilemään säiliön pintaan. Metallin täytyy jäähtyä ensiksi, ennen kuin pinnankorkeutta voidaan tarkastella luotettavasti uudelleen.

TAULUKKO 23. HPS1-happopesusäiliön pinnankorkeuden mittaus

Inspected By : Pasi Hietapakka			Audited By: Pasi Hietapakka		
Inspected Time: 2009-11-10 5:43 PM			Inspected Location: Puhdistamo		
File Name	IMAGE018	Created Date	Monday, August 06, 2007	Created Time	10:23:27 AM
Emissivity	0.85	Humidity	70 %	Distance	1.0m
Ambient	30.3 °C	Max Temp	58.0 °C	Min Temp	35.0 °C
IR Image				Object Parameter	Value
				P1:AvgTemp	42.0 °C
				P1:MaxTemp	46.6 °C
				P1:MinTemp	35.0 °C
				I1:AvgTemp	51.2 °C
				I1:MaxTemp	58.0 °C
				I1:MinTemp	44.3 °C
	Analysis & Recommended Action: Kuvasta nähdään säiliön pinta. I1-lämpötilanmittausviiva on liuoksen pinta ja P1-lämpötilanmittausalue on tyhjä osa säiliöstä. Tämän voi päätellä näiden kahden mittauksen maksimiarvojen erotuksesta, joka on n. 15 °C. Valvomon HPS1 säiliön pinnankorkeuden mittaus oli kuvaushetkellä 20 cm.				

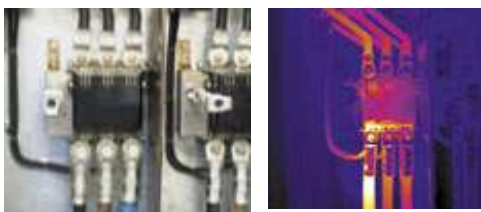
4 ESIMERKKI LÄMPÖKAMERAKUVAT JA TULOKSET

Tässä luvussa käsitellään muiden kuvaamia lämpökamerakuvia ja heidän saamiaan tuloksia. Tiedot ja kuvat ovat suurimmaksi osaksi internetistä saatuja, mutta luotettavista lähteistä. Näitä tietoja käytetään vertailtaessa johtopäätöksiä keskenään. Kuviossa 10 oli kuvattu lämpökameralla sähköjohtojen huonoa liitoskohtaa. Kuvassa mittauspiste Sp1 lämpötila on noin 55 °C ja vasemmalla olevan johdon lämpötila on noin 57 °C. Kuvasta voi päätellä, että kaikki liitokset olisi hyvä tarkistaa.



KUVIO 10. Huono johtoliitos (Horton Levi Ltd.)

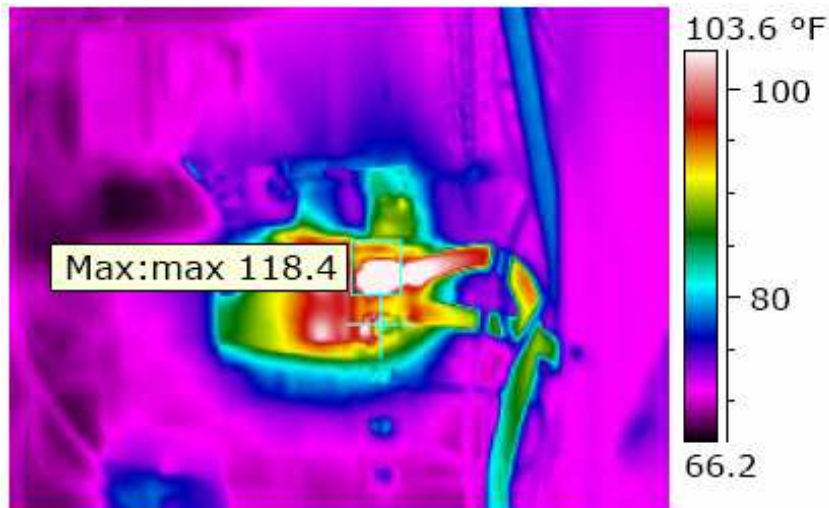
Kuviossa 11 löystyneet tai huonosti asennetut kaapelit ovat ylikuumenneet. Tässä tapauksessa kaapelit tai niiden eristeet voivat sulaa, ja tästä voi mahdollisesti syntyä tulipalo. (InfraCAM 2005.)



KUVIO 11. Löystynyt tai huono johtoliitos (InfraCAM 2005.)

Kuviossa 12 oli tutkittu sähköjohtojen lämpötiloja eri kuormituksilla. Talossa oli kytketty kaikki mahdolliset sähkölaitteet päälle. Tarkastaja näki lämpökameralla, että yksi johto oli kuumempi kuin muut. Lämpötila oli kuumimmillaan johdossa, jossa suurin kuorma vaikutti 118,4 °F eli 48 °C. Tarkastaja oli vielä pyytänyt talonmistajaa kytkemään vaatekuivaa-

jan päälle, jolloin lämpötila nousi 130 °F eli 54,4 °C:een. Talossa olevat johdotukset olivat noin 50 vuotta vanhoja ja jotkut valot olivat samanikäisiä. Tämä aiheuttaa verkkoon suurta kuormitusta, josta aiheutuu johtojen korkea lämpötila. Talon johdotukset ja valot olisi hyvä vaihtaa uudempiin. Kuviossa 13 on kuva samasta kohteesta, joka on esitetty lämpökamera-kuvana kuviossa 12. (InfraMation 2007.)

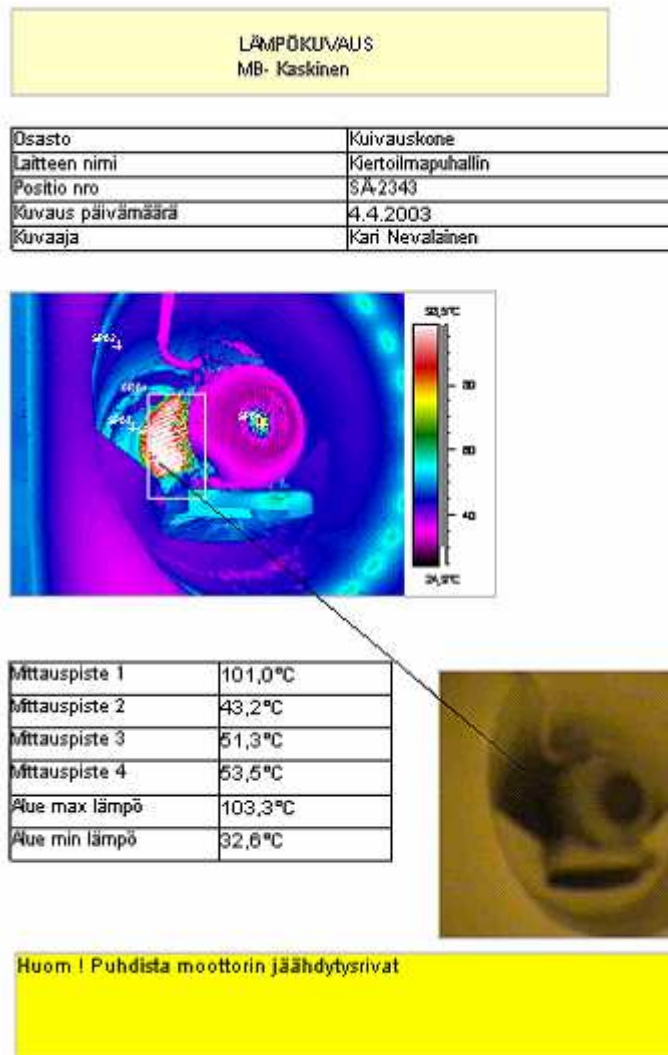


KUVIO 12. Sähköjohdossa on suuri ylikuorma (InfraMation 2007.)



KUVIO 13. Kuva kuvion 10 ylikuormituskuvasta (InfraMation 2007.)

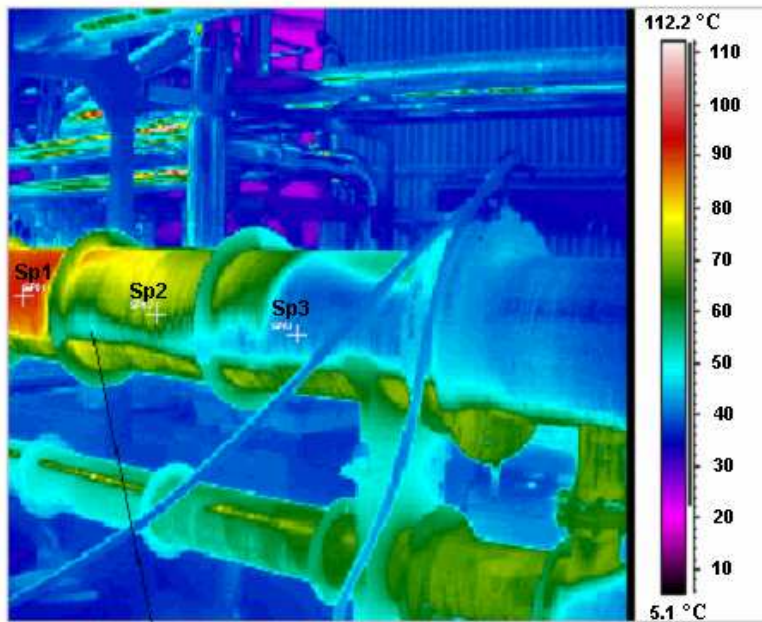
Kuviossa 14 kuvattu sähkömoottori on ylikuumennut, koska suuri määrä likaa peittää jäähdytysrivat. Kari Nevalainen on antanutkin korjauskehotteeksi, että rivat puhdistettaisiin. Omasta mielestäni tämä olisi tehtävä mahdollisimman pian, jotta moottorin käyttöikä ei laskisi.



KUVIO 14. Kiertoilmapuhaltimen sähkömoottori (Nevalainen 2005.)

Kuviossa 15 Kari Nevalainen oli kuvannut putkitukosta lämpökameralla. Kuvasta huomaa, että kylmissä mittauskohdissa on mahdollisesti tukosta. Hän olettaa, että mahdollisesti haketta on päässyt höyrypuolelle ja tämä tukkii putkea.

Kohde	Hönkälauhdutin
Kuvauspäivä	17.08.1999
Kuvaaja	Kari Nevalainen



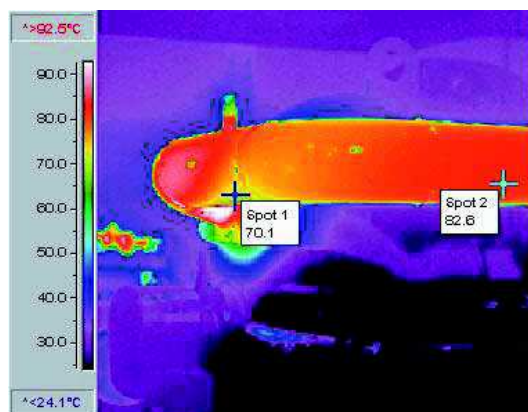
Tukkeuma alkaa tästä

Sp1	91.6 °C
Sp2	68.2 °C
Sp3	41.9 °C

Todennäköinen syy tukkeutumiseen on hakkeen pääsy höyrypuolelle.

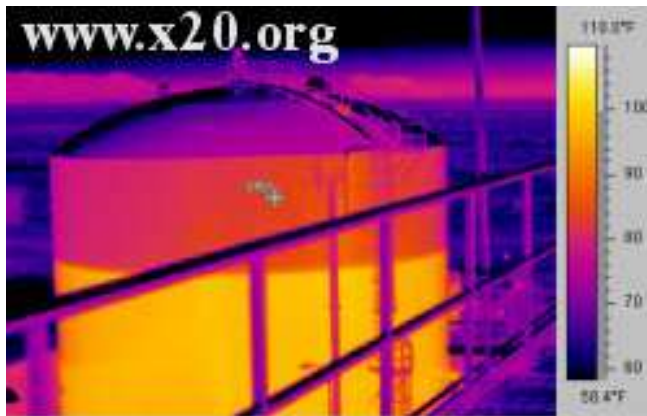
KUVIO 15. Putkitukos (Mukaillen Nevalainen 2005.)

Putkitukosta epäillään myös kuviossa 16. Kuvasta huomaa, että lämpötilaero Spot1 ja Spot2 välillä on 12,7 °C. Spot1-kohdassa on mahdollisesti alkava tukos.



KUVIO 16. Putkitukos (Stjernberg 2000.)

Kuviossa 17 on kuvattu lämpökameralla säiliön pinnankorkeutta. Kuumempi puolisko säiliöstä on nestemäärä ja kylmempi puolisko tyhjää tilaa.



KUVIO 17. Säiliön pinnankorkeus (IR-CAM EPM.)

5 POHDINTA JA PÄÄTELMÄT

Opinnäytetyön tavoitteena oli tutkia ja löytää lämpökameran eri mahdollisuuksia teollisuudessa. Luotettavista lähteistä etsin mahdollisimman paljon informaatiota ja esimerkkitutkimuksia lämpökamerasta. Tavoitteena oli myös saada mahdollisimman paljon informaatiota tutkittavista kohteista ja analysoida mahdollisimman luotettavasti lämpökameran kuvia. Tutkimuksen tavoitteet saavutettiin. Lämpökamerasta löytyi internetistä kovan etsinnän tuloksena paljon luotettavaa materiaalia ja esimerkkitutkimuksia. Suurin osa materiaalista oli lämpökameratutkimuslissenssin omaavilta yrityksiltä tai lämpökameroiden valmistajilta, joilla on paljon kokemusta lämpökameroista ja niillä kuvaamisesta. Löysin kaksi opinnäytetyötä, joissa käsiteltiin lämpökameraa, ja näistä sain paljon informaatiota. Internetistä löysin luotettavia esimerkkikuvia tuloksineen, jotta voi vertailla niitä omiin kuviini ja tuloksiini. Lämpökameran teoriaa ja kuvausopetusta löytyi myös paljon. Opin käyttämään englanninkielistä analysointiohjelmaa kuvieni tutkimiseen ja sain selville ohjelmasta tärkeimmät toiminnot. Tehtaan kuvatuista kohteista löysin tärkeimmät ja sopivimmat tähän tutkimukseen.

Opinnäytetyön alussa esitellyt ongelmat saatiin ratkaistua. Lämpökamerakuvaus oli uutta, ja aluksi tietojen hankkiminen ja ymmärtäminen oli vaativaa. Pitkäjänteisyydellä löysin paljon informaatiota ja pääsin sisälle tekniikan saloihin. Saatu materiaali oli luotettavilta tahoilta saatua ja tietoja vertailemalla sain varmuutta asiaan. Tutkimuskohteiden oikeassa analysoinnissa tarvitaan tiedot kohteesta ja mahdolliset valvomon tietokoneilta saadut mitausarvot. Nämä tiedot sain valvomosta ja kyselemällä työntekijöiltä tehtaassa. Tietoa kohteesta ei koskaan ole liikaa. Huomasin vasta projektin päätyttyä, että olisin voinut kirjata projektin aikana enemmän tietoa, lähinnä sen takia, että olisin saanut kerrottua enemmän kohteista ja niiden toiminnasta. New Boliden Oy:n tehtaasta löytyi mahdollisia vikakohteita ja muutamia tutkimuskohteita jälkiseurantaan ja kehitykseen. AT1-sähkökojeistosta löytyi kuumennut johto, joka on mahdollisesti seuraus huonosta johtoliitoksesta tai ylikuormituksesta. Kuvioissa 10 ja 12 käsittelemieni vertailututkimuksien pohjalta tämä on todennäköinen syy johdon kuumentumiseen. LIR-paluuahappopumppu 2 sähkömoottorin kuumentunut kytkentäkoppa on mahdollisesti seuraus huonosta johtoliitoksesta, mutta kyseessä voi olla myös moottorivika. NR2-sekoittimen sähkömoottori on todella kuuma noin 130 °C. Moottorin elinkaari lyhenee varmasti näin korkean lämpötilan vuoksi. NR2-moottorin

jäähdytysrivoissa ei ollut likaa, joka nostaisi lämpötilaa. Voi myös olla, että sekoittimen lavoissa on pinttynyt likaa tai muuten jokin ahdistaa moottorin pyörintää. Moottorin elinkaari voi olla lopussa, jonka takia se lämpenee. Vertailukuvia tutkiessani huomasin, että kuviossa 14:ssä oli moottorin lämpötila korkealla, koska jäähdytysrivat olivat täynnä likaa. Moottorin lämpötila oli noin 103 °C, ja taulukossa 8 NR2:n lämpötila oli 130 °C. Johtopäätöksenä NR2:n sähkömoottorissa on liian korkea lämpötila, ja tämä tulisi tutkia mahdollisimman pian. CoS1-alitepumppu 2:n ja CuR2-pumppu 1:n putkistoissa on mahdollisesti jonkinlainen tukos. Tälle löytyi myös esimerkkitutkimuksia, joissa oli havaittu tukos putkistossa. Nämä vertailukuvat löytyvät kuvioista 15 ja 16. Tämä vahvistaa, että mahdollisesti CoS1-alitepumppu 2:n ja CuR2-pumppu 1:n putkistossa on todella jonkinlainen tukos, joka tulisi tutkia. SSR-pumppu oli tutkittavana laippojen välissä olevan vesivuodon takia, jonka näki selvästi ilman lämpökameraa. Tutkimuksen tarkoituksena oli, että tätä esimerkkivuototilannetta voisi hyödyntää esimerkiksi sellaisissa paikoissa, jossa olisi vaarallista ihmisen olla. Lämpökamera tarkkailisi putkistoa mahdollisten vuototilanteiden varalta ja hälyttäisi valvomoon tämän sattuessa.

HPS1-happopesusäiliön putkistoa kuvasin lämpökameralla ja mietin mahdollisuutta seurata virtausten kulkua putkistossa. Johtopäätöksenä tästä on se, että lämpökamera ei pysy mukana jos sulkuventtiilejä avattaisiin ja suljettaisiin nopeaa tahtia. Lämpö nimittäin siirtyy putken metalliin, ja sulkutilanteessa putki hohtaa vielä jonkin aikaa lämpöä, vaikka liuosta ei olisikaan enää putkessa. Tästä aiheutuu mahdollisia virheitä. Jos liuoksen lämpötila on todella kuuma verrattuna ympäristönlämpötilaan, voidaan nähdä helpommin liuoksen kulku putkistossa. HPS1-happopesusäiliön pinnankorkeuden mittaus lämpökameralla on mahdollista, jos pinnankorkeus ei vaihtelee paljon ja se on tarpeeksi lämmintä, mutta silti se olisi epätarkkaa. Lämpökameralla on hyvä katsoa pinnankorkeutta silloin, kun säiliön omaan pinnanmittausanturiin ole luottamista. Tällöin voisi tarkistaa pinnankorkeuden lämpökameralla ilman, että tarvitsisi avata säiliötä tai keskeyttää tuotantoa. Säiliön pinnankorkeuden mittauksesta lämpökameralla löytyy esimerkki kuvioista 17. Opinnäytetyö oli mielestäni tarpeeksi haastava, koska aihe ei ollut entuudestaan kovinkaan tuttu. Mielenkiintoa aiheeseen löytyi hyvin paljon, koska lämpökameralla voi tutkia monia eri asioita.

LÄHTEET

Fluke Ti20 2006. Fluke Ti20 thermal imager manual. Fluke corporation. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://us.fluke.com/usen/products/Fluke+Ti20.htm>. Luettu luettelosta 8.10.2009.

Hakatek Oy 2007. Lämpökamerakuvauksen esite. Hakatek Oy, Koulukatu 13, 30100 Forssa. Www-dokumentti. Saatavissa: http://www.hekatek.fi/index.php?action=download_resource&id=1&module=resourcesmodule&src=%40random481704c3a2430. Luettu 11.11.2009.

Horton Levi Ltd. Thermal imaging and infra-red specialists. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.hortonlevi.co.uk/electrical/default.htm>. Luettu 12.11.2009.

InfraCAM 2005. Lämpökamera sähkö tarkastuksiin. Flir Systems AB. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.etherma.fi/WebRoot/etherma/Shops/etherma/45E2/B0F4/802B/9C4A/43E3/C0A8/071C/ABC9/InfraCAM350Sahko.pdf>. Luettu 12.11.2009.

InfraMation 2007. Home electrical safety using infrared. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.goinfrared.com/media/2007-022Demonte.pdf>. Luettu 12.11.2009.

IR-CAM EPM. Thermal Infrared Camera. Sierra pacific innovations. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.ir55.com/thermacam.html>. Luettu 12.11.2009.

Mobir M3 2009. Mobir M Series. Wuhan Guide Infrared Co., Ltd. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.wuhan-guide.com/Content.aspx?lang=en&id=198>. Luettu 13.11.2009.

Mobir M3 manual 2006. Mobir M3 Thermal Camera: User Manual. Wuhan Guide Infrared Technology Co, Ltd, 2006. Pdf-dokumentti. Saatavissa: Keski-Pohjanmaan AMK, Tekniikan ja liiketalouden yksikkö, Kokkola. Luettu 22.1.2007.

Sintrol Oy 2003. Kosketuksettomien lämpötilamittauksen perusteet. Www-dokumentti. Saatavissa: <http://www.sintrol.com/files/sintrol/productfiled/561file1Upload.pdf>. Luettu 18.5.2007

Stjernberg Timo, Infradex Oy 2000. Lämpökamera kunnossapidon työkaluna. Kunnossapitokoulu, Kunnossapitolehden erikoisliite, no:56 4/2000.

Www-dokumentti. Saatavissa: www.promaint.net/downloader.asp?id=80&type=1. Luettu 7.10.2009.

Uusitupa Tero 2006. Lämpökamerakuvaaminen ja kuvien analysointi. Tampereen ammattikorkeakoulu, talotekniikan koulutusohjelma, talotekniikka, tutkintotyö. Www-dokumentti. Saatavissa:

<http://oa.doria.fi/bitstream/handle/10024/5666/Uusitupa.Tero.pdf?sequence=1>. Luettu 11.11.2009.

Julkaisettomat lähteet

Nevalainen Kari 2005. Lämpökuvauspäivä Uudessakaupungissa 20.1.2005. Kemira GrowHow Oy. Luettu 18.5.2007.

Lämpökamera Guide Mobir M3 tekniset tiedot englanniksi (Mobir M3 manual 2006.)

Technical Specifications

Image Performance	
Detector Type:	Focal plane array uncooled microbolometer UFPA (160 x 120 pixels, 35µm)
Spectral Range:	8-14µm
Field of View/ Focus:	25°x 19°/0.3m
Thermal Sensitivity:	≤120mk @30°C
Image Frequency:	50 Hz PAL/60 Hz NTSC, non-interlaced
Electronic Zoom:	× 2
Image Presentation	
External Display:	2.2" TFT & 1.2" CSTN high resolution color LCD
Display Color:	256 level, 5 palettes
Video Output:	PAL/NTSC, composite video
Measurement	
Temperature Range:	-20°C-+250°C
Accuracy:	±2°C or ± 2%of reading
Measurement Modes:	Auto hot-spot trace, spot, area, line profile, isotherm, auto alarm
Emissivity Correction:	Emissivity variable from 0.01 to 1.00 (in 0.01 increment)
Measurement Features:	Automatic correction based on user input for reflected ambient temperature, distance, relative humidity, atmospheric transmission and external optics
Image Storage	
Type:	Built-in Flash memory
Capacity:	100 images
Voice Annotation:	Variant for different files, up to 30 seconds per file
System Status Indication	
LCD Display:	Display of battery status, indication of power
Sound Alarm	Automatic alarm for power shortage
Laser Locator	
Classification:	Class 2
Type:	Semiconductor AlGaInp Diode Laser; 1mW/635nm (red)
Battery System	
Type:	Li-ion battery, rechargeable, field replaceable
Operating time:	Over 2 hours continuous operation
Charging System:	In camera via USB interface from AC adapter (96 – 250 VAC) or in external battery charger
Power consumption:	< 3W

Lämpökamera Guide Mobir M3 tekniset tiedot englanniksi (Mobir M3 manual 2006.)

Environmental Specification	
Operating Temperature:	-10°C -+50°C
Storage Temperature:	-20°C -+60°C
Humidity:	Operating and storing 10% to 95%, non-condensing
Encapsulation:	IP54
Shock:	Operational: 25g, IEC 68-2-29
Vibration:	Operational: 2g, IEC 68-2-6
Interfaces	
USB1.1:	Image, measurement, and voice transfer to PC
Physical Characteristics	
Size:	120mm x 60mm x 30mm (Standard Model)
Weight:	0.265Kg (including battery)

Lämpökameran keskeiset ominaisuudet suomennettuna (Mobir M3 manual 2006.)

- Kaikki kuvat näkyvät LCD-näytössä mustavalkoisena tai 256-värisenä kuvana.
- Elävä kuva kameran näytössä voidaan pysäyttää ja tallentaa sen jälkeen kameran sisäiselle flash-muistikortille.
- Kuvattavaa kohdetta voidaan 2-kertaisella suurennoksella lähentää, jos ei olla valikkotilassa.
- Tallennettu kuva voidaan lähettää liittämällä kamera USB-kaapelilla tietokoneen USB-porttiin.
- Kuvia sopii flash-muistikortille 100 kappaletta, ja jokaista kuvaa kohti voidaan tallentaa 30 sekunnin ääninauhitus.
- Pysähdyksissä olevaa kuvaa tai tallennettua kuvaa voidaan muokata kameran omalla näytöllä.
- Tallennettuja kuvia voi katsoa kameran tai tietokoneen näytöltä ja samaan aikaan voi myös kuunnella tallennettuja äänitteitä.
- Tallennettuja kuvia voi tutkia tietokoneella lämpökameran omalla analysointiohjelmalla.
- Näytöllä on automaattinen kuumimman pisteen etsintätoiminto.
- Näytöllä näkyvät kuvattavan kohteen lämpötila-arvot joko minimi-, maksimi- tai keskiarvo.
- Kameran valikossa voi määrittää eri asetuksia, kuten emissiivisyys, etäisyys ja ilman kosteus.
- Kamerassa on automaattinen ympäristönlämpötila-anturi.
- Automaattinen kameran kalibrointi pitää lämpötila-arvot vakaana.

Lämpökamerakuvien analysoinnin suomennot

Englanti / Suomi

Inspected by = Tutkijan nimi

Audited by = Tarkastajan nimi

Inspected time = Tutkimuksen analysoinnin ajankohta

Inspected location = Alue / paikka missä kuvaus on tapahtunut

Created date = Kuvanoton viikontäivä, kuukausi, päivä ja vuosi

Created time = Kuvanoton kellonaika

Emissivity = Emissiivisyysarvo

Humidity = Ilmankosteus prosentteina

Distance = Kuvausetäisyys

Ambient = Ympäristön lämpötila

Max temp = Maksimilämpötila

Min temp = Minimilämpötila

IR Image = Infrapuna / lämpökamerakuva

Object parameter = Kuvan mittausparametrit

Value = Arvo

P1 = Lämpötilanmittausalue

I1 = Lämpötilanmittausviiva

Analysis & recommended action = Kuvan analyysi ja tarvittavat toimenpiteet

Eri kappaleiden emissiivisyyskertoimet (Mukaillen Fluke Ti20 2006.)

Materiaali		Emissiivisyys		
		1.0 μm	1.6 μm	8 to 14 μm
Rauta				
	Hapettunut	0.4-0.8	0.5-0.9	0.5-0.9
	Ruostunut	n.r.	0.6-0.9	0.5-0.7
Valurauta				
	Hapettunut	0.7-0.9	0.7-0.9	0.6-0.95
Teräs				
	Hapettunut	0.8-0.9	0.8-0.9	0.7-0.9
	Ruostumaton	0.35	0.2-0.9	0.1-0.8
Muovi yli 20mm läpinäkymätön		n.r.	0.95	0.95
Kumi		n.r.	0.9	0.95