

Sami Haapalehto

**PYROMETRIMITTAUKSEN KUNNOSSAPIDON LUOTETTAVUUDEN PARANTAMINEN**

# **PYROMETRIMITTAUSTEN KUNNOSSAPIDON LUOTETTAVUUDEN PARANTAMINEN**

Sami Haapalehto  
Opinnäytetyö  
Kevät2018  
Sähkö- ja automaatiotekniikka  
Oulun ammattikorkeakoulu



# TIIVISTELMÄ

Oulun ammattikorkeakoulu  
Sähkö- ja automaatiotekniikan tutkinto-ohjelma, automaatiotekniikka

---

Tekijä: Sami Haapalehto

Opinnäytetyön nimi: Pyrometrimittauksen kunnossapidon luotettavuuden parantaminen

Työn ohjaaja(t): Samuli Ojanlatva (SSAB), Tero Hietanen (OAMK)

Työn valmistumislukukausi ja -vuosi: Kevät 2018

Sivumäärä: 50

---

Tämän työn tavoitteena on tutustua pyrometrimittausten käyttöön ja kunnossapitoon SSAB Raahen terästehtaalla. Lisäksi työn tarkoituksena on selvittää, kuinka korjaamon kalibrointitoimintaa seurataan tehtaalla laatujärjestelmässä. Tärkeänä osana kalibrointia on pohtia lämpötilan mittausjäljen tarkoitusta ja miten se toteutetaan tehtaalla. Lopussa pohditaan, miten mittareiden kunnossapitoa voisi kehittää. Työ suoritetaan Raahen tehtaalla.

Kalibrointitoiminta on tärkeä osa jäljitettävyyttä, millä varmistetaan laadullisesti paras tulos mittauksille. Työssä käydään läpi korjaamon kalibrointitoiminta pyrometrien osalta sekä selvitetään, miten mittauksen jäljitettävyys on toteutettu Raahen tehtaalla.

Lopputuloksissa pohditaan, miten kalibrointia, kalibrointitoimintaa ja kunnossapitoa olisi hyvä kehittää Raahen tehtaalla. Osastojen pyrometrimittauksiin löytyy myös kehittämiskohteita. Olennaisia kehittämiskohteita ovat joko vanhan pyrometrimallin uusiminen tai pyrometrin sijoittaminen uudelleen.

---

Asiasanat: SSAB, pyrometri, kalibrointi, jäljitettävyys

# ABSTRACT

Oulu University of Applied Sciences  
Degree programme of electrical and automation engineering, Automation

---

Author: Sami Haapalehto

Title of thesis: Improving the Reliability of the Pyrometer Measurement Maintenance

Supervisor(s): Samuli Ojanlatva (SSAB) Tero Hietanen (OAMK)

Term and year when the thesis was submitted: Spring 2018

Pages: 50

---

The aim of my thesis is to get acquainted with the use and maintenance of pyrometers at SSAB Raahe steelworks. In addition, the aim is to find out how the calibration in the repair shops activity is monitored in the factory quality system. I also study the purpose of the traceability of temperature measurement and how it is done in Raahe. Finally, I considered how to develop the maintenance of pyrometers. The work was done at the Raahe steelworks.

Calibration is an important part of traceability, which ensures the best qualitative result for measurements. I dealt with calibration in the repairshops and found out how the traceability of measurement is carried out in Raahe factory.

In the end I give suggestions about how to develop calibration in Raahe factory. There are also aspects development needs in departments pyrometer measurement. which need development in department's pyrometer measurement. Essential development targets are either renewing the old pyrometer model or re-fitting the pyrometer.

---

Keywords: Pyrometer, Calibration, Traceability

## ALKULAUSE

Haluan kiittää opinnäytetyön toimeksiantajaa, SSAB:n kunnossapitoinsinööri Samuli Ojanlatvaa, joka mahdollisti tämän opinnäytetyön tekemisen ja on kärsivällisenä seurannut matkaani opinnäytetyön varrella. Haluan myös kiittää SSAB:n osastojen useita työntekijöitä sekä toimihenkilöitä avunannosta ja ohjaamisesta opinnäytetyön eri vaiheissa. Haluan myös kiittää tutkintovastaava Tero Hietasta kärsivällisyydestä ja auttamisesta opinnäytetyössä esiin tulleiden ongelmien kanssa. Ennen kaikkea kihlattuni Riitta on ollut merkittävä tuki ja tsemppari opinnäytetyön tekemisessä. Haluan kiittää Riittaa kärsivällisyydestä ja niistä kaikista hetkistä, jolloin tekemisen aloittamisen vaikeus on ollut läsnä ja hän on tsempannut minut opinnäytetyöhön paneutumiseen. Hän on myös auttanut minua opinnäytetyön kirjoittamisprosessissa, minkä seurauksena ainakin merkittävimmät pilkku- ja yhdyssanavirheet on eliminoitu valmiista työstä.

Oulussa

Sami Haapalehto 26.05.2018

# SISÄLLYS

1 JOHDANTO	5
2 LÄMPÖSÄTEILYN MITTAAMINEN	6
2.1 Lämpösäteily	6
2.2 Pyrometrit	10
3 LÄMPÖTILAMITTAUSTEN KALIBROINTI	13
3.1 Jäljitettävyys	13
3.2 Mittanormaali	16
3.3 Epävarmuuslaskenta pyrometrille	16
4 TYÖN SUORITUS	19
4.1 Pyrometrin lämpötilakalibrointi korjaamalla	20
4.2 Tulosten merkkäminen Arttu-järjestelmän kalibrointipöytäkirjaan	30
4.3 Pyrometrien käyttö osastoilla	34
4.3.1 Masuuni	34
4.3.2 Sulatto	37
4.3.3 Nauhavalssaamo	41
5 YHTEENVETO	46
LÄHTEET	

# 1 JOHDANTO

SSAB on ruotsalainen teräsyhtiö, joka on perustettu vuonna 1878. SSAB työllistää yli 17 000 ihmistä ympäri maailman. Vuonna 2007 SSAB osti amerikkalaisen teräsyhtiön IPSCO:n ja vuonna 2014 SSAB osti suomalaisen teräsyhtiön Rautaruukki Oyj:n. SSAB on johtava lujien teräksien valmistaja, joka kehittää tuotteitaan yhteistyössä asiakkaiden kanssa. SSAB:n teräksillä ja palveluilla saadaan aikaan lujempia, kevyempiä ja pitkäikäisempiä terästuotteita. Yhtiöllä on tehtaita Yhdysvalloissa, Ruotsissa ja Suomessa, joiden tuotantokapasiteetti on yhteensä 8,8 miljoonaa tonnia vuodessa. Yhtiö on jaettu SSAB Americaan ja SSAB Europeen.

Raahen terästehdas on yksi pohjoismaiden suurimpia terästehtaita, jossa valmistetaan standardi-, Premium- ja erikoisteräksiä. Raahen tehdas työllistää noin 2400 ihmistä. Tehtaaseen kuuluvat koksaamo, masuunit, sulatto, voimalaitos, kuumavalssaamo ja korjaamo. Päätuotteet ovat kuumavalssatut levy- ja kelatuotteet.

Korjaamo työllistää noin 190 henkilöä, joista 14 on toimihenkilöitä ja 170 työntekijöitä. Korjaamo tarjoaa palveluita tehtaan eri osastoille, jotka tilaavat työnsä Arttu-toiminnanohjausjärjestelmän kautta. Korjaamo on jaettu neljään eri osastalueeseen: konetekniseen osastoon, sähkötekniiseen osastoon, voimalaitoksen sähkökunnossapitoon sekä kenttäkunnossapitoon. Korjaamon tehtävä on kunnostaa ja tuottaa varaosia osastoille sekä pidentää koneiden käyttöikä.

Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on selvittää pyrometriä käyttäen kunnossapitoa SSAB:n Raahen tehtaalla ja tarkastella, kuinka korjaamon kalibrointitoimintaa seurataan tehtaan laatuohjelmassa. Tavoitteena on myös selvittää, mitä lämpötilan mittausjälki tarkoittaa ja mistä se koostuu. Lisäksi työn tavoitteena on miettiä, löytyisikö mittalaitteiden kalibroinnista ja osaston mittauksista kehitettävää.



## 2 LÄMPÖSÄTEILYN MITTAAMINEN

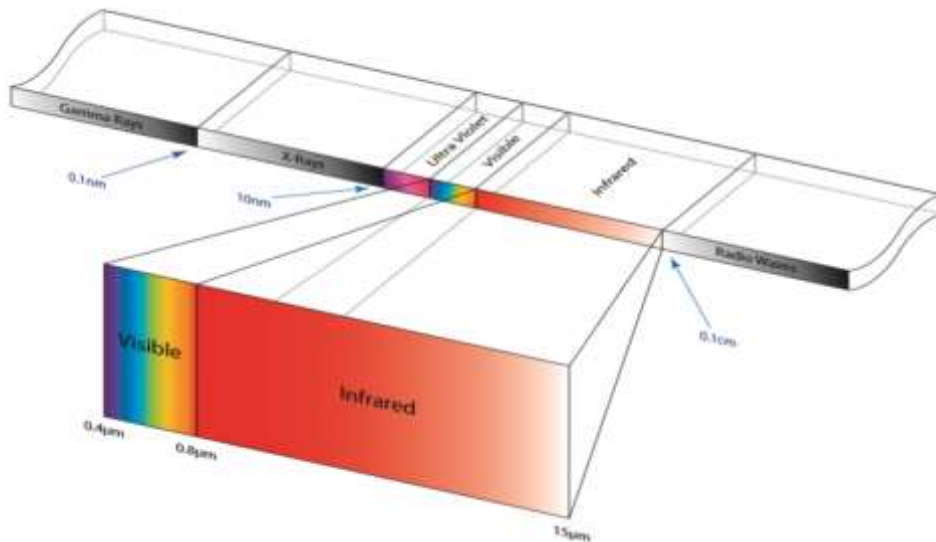
Lämpötila on teollisuuden yleisimpiä mitattavia suureita. Lämpötilasta ovat riippuvaisia lähes kaikki fysikaaliset ja kemialliset prosessit, koska lämpötila vaikuttaa merkittävästi useimpiin aineen fysikaalisiin ja kemiallisiin ominaisuuksiin. Lisäksi lämpötilan vaikutus on merkittävä mm. reaktionopeudessa, tuotteiden laadussa, energiankulutuksessa ja ympäristön päästöissä. Lämpötilan mittaaminen on yleensä hyvin hidas tapahtuma. Kun kappaleen lämpötilaa mitataan, tulee lämpötilamittarin lämpötilan asettua samaan lämpötilaan kuin kappaleen lämpötila. Tämän jälkeen voidaan vasta aloittaa kappaleen lämpötilan mittaaminen. Mittauksessa mittaria tulee lukea useita kertoja, jotta saadaan mahdollisimman tarkka mittaustulos. Olennaista on kirjata mahdollisimman monta mittaustulosta ylös. Mittaustulos on yleensä mitattujen lämpötilojen keskiarvo. Mittalaitteen tulee aina olla kalibroitu, jotta mitattuun arvoon voidaan lisätä tai vähentää kalibroinnissa esiintynyt poikkeama todellisesta lämpötilasta. (1, s. 35; 2, s. 9–10.)

Kun mitataan kiinteästä kappaleesta lämpötilaa, tulisi mittari sijoittaa tarpeeksi syvälle kiinteään aineeseen, jotta mittaustulos olisi mahdollisimman luotettava. Tätä mittaustapaa kutsutaan kosketusmittaukseksi. Kappaleen pinnan lämpötilaa mitattaessa pintalämpömittarin kosketus kappaleen pintaan on yleensä huono, mikä aiheuttaa yleensä virhettä mittauksessa. Tällaisissa tapauksissa pintaa tulisi mitata koskemattomalla mittauksella. Koskematon mittaustulos perustuu kappaleen lämpösäteilyyn, jota mitataan infrapunalämpömittarilla. Säteilyyn perustuvassa mittauksessa vaikuttavia tekijöitä ovat kappaleen pinnan tasaisuus, emissiivisyys ja optiikan virheet. (2, s. 9.)

### 2.1 Lämpösäteily

Lämpösäteily on valonnopeudella etenevää sähkömagneettista säteilyä, jota jokainen kappale lähettää, jos kappaleen lämpötila on korkeampi kuin absoluuttinen nolllapiste. Lämpösäteily syntyy kappaleen atomien tai molekyylien liikkeestä, jolloin ne lähettävät säteilyä. Lämpösäteilyn nimi tulee siitä, että ihmi-

nen aistii osan säteilystä lämpönä. Lämpösäteilyä kutsutaan usein myös infrapunasäteilyksi, koska kappaleet säteilevät infrapuna-alueella sitä voimakkaammin, mitä lämpimämpiä ne ovat. Säteilevä pinta lähettää aallonpituudeltaan eripituista säteilyä, jota voidaan tarkastella kuvasta 1. Kuvassa 1 nähdään sähkömagneettinen spektri, joka jaotellaan kuuteen eri osaan sähkömagneettisen säteilyn aallonpituuksien mukaan. (3, s. 19 – 20; 4.)



*KUVA 1. Sähkömagneettinen spektri (3, s. 21).*

Huoneen lämpötilassa kappale säteilee infrapunasäteilyä aallonpituudella 8-12  $\mu\text{m}$ . Silmiin näkyvän valon aallonpituus on noin 0,35-0,70  $\mu\text{m}$ . Lämpimät kappaleet säteilevät ympäristöön säteilyä hyvin laajalla aallonpituusalueella. Lämpösäteilyn teho eli intensiteetti riippuu siitä, kuinka paljon lämpimämpi kappaleen lämpötila on verrattuna ympäristön lämpötilaan ja minkä lämpöinen itse kappale on. Kappaleen lämpötilan ollessa 800°C se lähettää punaista näkyvää valoa, jota kutsutaan punahehkuksi. Kappaleen lämpötilan ollessa 3000°C muuttuu näkyvä valo valkohehkuksi. Korkeissa lämpötiloissa suurin osa lämpösäteilystä on infrapunasäteilyä. (4.)

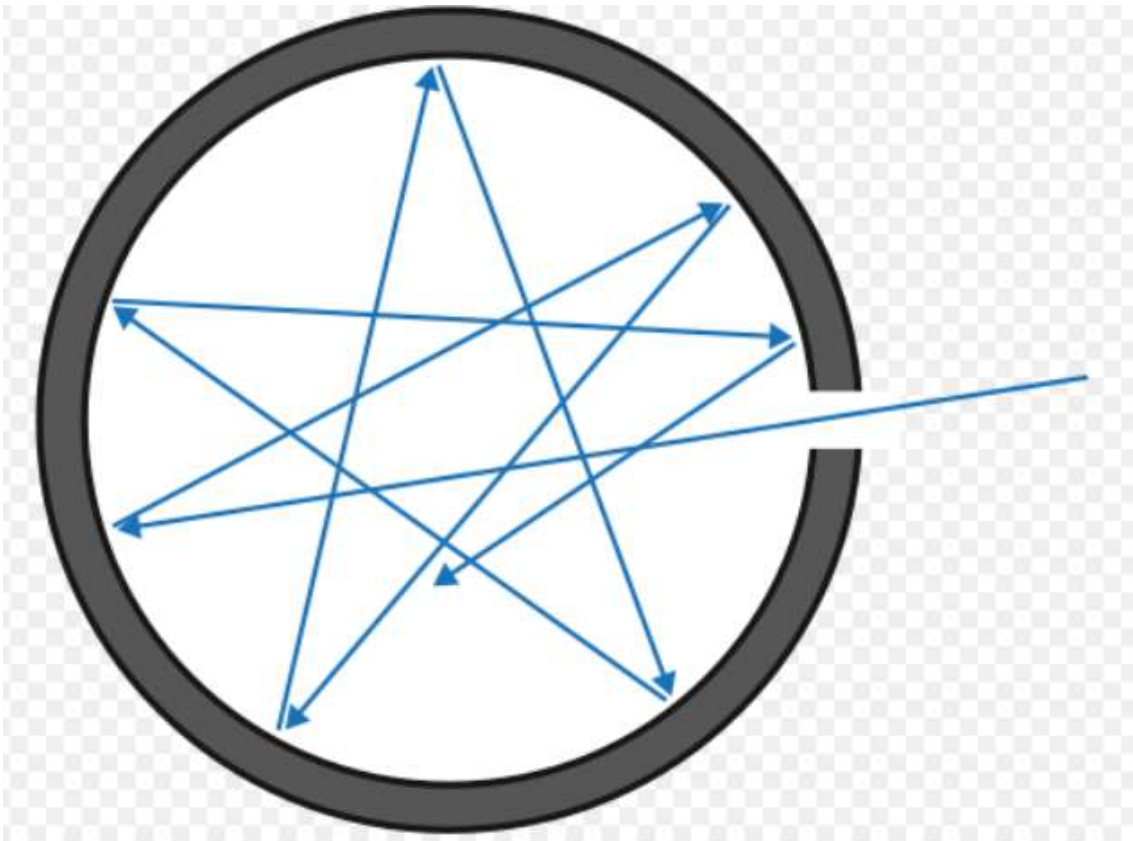
Kun lämpösäteilyä tulee kappaleen pinnalle, osa siitä heijastuu ja osa absorboituu pintaan hyvin lyhyellä matkalla. Se kuinka paljon säteily heijastuu tai absorboituu eri aallonpituuksilla, riippuu materiaalin pinnan laadusta. Kun puhutaan mustasta kappaleesta, on kyseessä ideaali kappale, joka absorboi kaiken siihen

tulevan säteilyn (kuva 2). Musta kappale ei lainkaan heijasta siihen osuvaa säteilyä, vaan emittoi lämpösäteilyä. Musta kappale on ideaali kappale, joten sen emissiokerroin on 1. Mustan kappaleen säteily noudattaa Stefan ja Boltzmannin lakia (kaava 1), jonka mukaan mustan kappaleen pinnan säteilyvoimakkuus  $M$  on suoraan verrannollinen kappaleen absoluuttiseen lämpötilan  $T$  neljänteen potenssiin:

$$M = \sigma T^4 ,$$

KAAVA 1

missä  $\sigma = 5,6705 \times 10^{-8} \text{Wm}^{-2}\text{K}^{-4}$  on Stefan-Boltzmannin vakio. Mustan kappaleen säteilyn maksimitehoa vastaava aallonpituus  $\lambda_{\text{max}}$  on kääntäen verrannollinen kappaleen lämpötilaan. (3, s. 26–27; 4, s. 4.)



KUVA 2. Musta kappale (6.)

Pinnan emissiivisyydellä tarkoitetaan kappaleen säteilyn voimakkuuden suhdetta samassa lämpötilassa olevan mustan kappaleen säteilyn voimakkuuteen. Emissiivisyys on materiaalin kykyä absorboida ja säteillä energiaa. Emissiivisyys on numeraalinen arvo, jota käytetään yleensä kertoimena. Emissiokerroin vaihtelee

nollan ja yhden välillä, riippuen mitattavan kappaleen materiaalista, lämpötilasta ja säteilyn aallonpituudesta. Mustalla kappaleella emissiokerroin on aina 1. Taulukossa 1 nähdään eri materiaalien emissiokerroimia. (2, s. 50; 3, s. 29; 7, s. 25.)

TAULUKKO 1. Eri materiaalien emissiokerroimet (2, s. 51).

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

Harmaiksi kappaleiksi kutsutaan kappaleita, jotka eivät ole täysin mustia kappaleita. Mustan kappaleen tapauksessa säteily riippuu lämpötilasta, eikä siihen vaikuta pinnan laatu, koska musta kappale on ideaali kappale. Harmaan kappaleen säteily on vähäisempää kuin mustan kappaleen, tähän vaikuttaa kappaleen emissiivisyys, joka on eri pinnoilla erilainen. Harmaan kappaleen emissiivisyys ei muutu eri aallonpituuksilla. Harmaan kappaleen säteilyteho (kaava 1) on lähes sama kuin samassa lämpötilassa olevan mustan kappaleen säteilyteho. Harmaan kappaleen säteily voimakkuutta laskettaessa on otettava emissiokerroin huomioon. Harmaan kappaleen säteilyn voimakkuus:

$$M = \epsilon \sigma T^4,$$

KAAVA 2

missä  $\epsilon$  on emissiokerroin,  $\sigma$  on Stefan-Bolzmanin vakio ja  $T$  on lämpötila. Säteilyn voimakkuuden voi esittää myös muodossa (kaava 3.):

$$M = \frac{P}{A},$$

KAAVA 3

missä P on teho ja A pinta-ala (3, s. 97; 7, s. 24 – 25; 8, s. 111.)

## 2.2 Pyrometrit

Pyrometria eli optinen lämpötilan mittaaminen on tekniikka, jossa mitataan lämpötilaa koskematta kappaleeseen käyttäen hyväksi kohteen lämpösäteilyä. Säteilyyn perustuva tekniikka mahdollistaa lämpötilan mittaamisen kohteista, joihin perinteiset kosketusmittaukset eivät sovellu. Tällaisia ovat hyvin korkeat lämpötilat, liikkuvat kohteet, räjähdysvaaralliset ympäristöt, etäällä olevat kohteet ja nopeasti muuttuvat lämpötilat. Pyrometri määrittää kappaleen lämpötilan mittaamalla sen emittoitua lämpösäteilyä. Pyrometreillä voidaan mitata lämpötiloja alueella  $-50^{\circ}\text{C}$ – $+3000^{\circ}\text{C}$ . Mittaukseen tulevien virheiden minimoimiseksi on ymmärrettävä säteilypyrometrin toiminta ja mitattavan kohteen ominaisuudet hyvin. (1, s. 49; 2, s. 53.)

Pyrometri muodostuu optiikasta, ilmaisimista ja elektroniikasta, jolla muodostetaan lämpötilaan verrannollinen sähköinen signaali, joka on joko jänniteviesti (0–10V) tai milliampeeriviesti (4mA–20mA). Hyvin suunniteltu pyrometri on rakennettu siten, että lämpösäteily kerätään mahdollisimman laajasti ja tehokkaasti ilmaisimelle. Tämä tarkoittaa sitä, että häiriöt nimellisen näköalueen ulkopuolelta on eliminoitu tai häiriölähteistä aiheutuvat virheet on poistettu ja optisella suodatimella on erotettu haluttu aallonpituuskaista. Pyrometreissä on käytetty joko linssi- tai kuituoptiikkaa. (1, s. 54; 2, s. 53 – 54.)

Pyrometrin linssi- ja kuituoptiikoilla kerätään säteilyä suodetusti pyrometrin ilmaisimelle. Lasilinssit soveltuvat normaalisti lyhyille aallonpituuksille. Muille lämpötiloille, joissa vaaditaan pitempiä aallonpituuksia, ei läpäisykyky ole riittävä, vaan tarvitaan muita materiaaleja. Tärkeää on pitää optiset pinnat vapaana pölystä ja

liasta. Joitakin sovelluksia ei ole mahdollista päästä tarkastelemaan tavanomaisilla optiikkajärjestelmillä. Asennuspaikka voi olla kuuma, ahdas, epäpuhtauksia sisältävä tai räjähdysvaarallinen. Näihin kohteisiin sopivat parhaiten kuituoptiikka käyttävät pyrometrit. Lämpösäteilyenergia siirretään optisella kuidulla suotuisampaan ympäristöön sijoitettuun vahvistimeen. Kuituoptisen mittauksen haittana pitkillä aallonpituuksilla on heikko optinen teho, mistä syystä kuidun pää tulee olla lähellä mittauskohdetta. Kuituoptikat soveltuvat käytännössä parhaiten yli 300 °C lämpötilojen mittaukseen. Pyrometrin optiikka voi perustua joko peiliin tai linssiin. Peili suojataan pölyntyemiseltä yleensä ohuella muovikalvolla. Suojakalvon tai linssin materiaali määrää anturille tulevan säteilyn aallonpituuden. Joskus voidaan käyttää erilaisia suodattimia. Toisaalta anturi voi reagoida säteilyyn koko alueella tai vain kapealla kaistalla. Käytettävä ilmaisintyyppi määräytyy lähinnä mitattavan lämpötila-alueen mukaan. Yleisimmät ilmaisintyypit ovat Si-, Ge-, PbSe-, HgCdTe-, termopatsas- ja pyroelektrinen ilmaisin. (1, s. 54; 2, 53–54.)

Pyrometreille määräytyy tietty etäisyysuhde eli mittausetäisyyden suhde tunnus-teltavan alueen halkaisijaan linssin tai peilin ja anturin avulla. Säteilyn voimakkuus heikkenee etäisyyden kasvaessa. Kun säteily vastaavasti kerätään suurem-malta alueelta, etäisyys ei periaatteessa vaikuta mittaukseen, mikäli kohde on riittävän iso. Kohteen lämpötilan lisäksi säteilyn voimakkuuteen vaikuttaa kohteen pinnan laatu. Pyrometrit viritetään ja kalibroidaan yleensä mustan kappaleen mu-kaan. Todellisten kohteiden säteilyn voimakkuus on 0.5–1 kertainen mustaan kappaleeseen verrattuna. (1, s. 54; 2, s. 54–56.)

Kokonaissäteilypyrometrit ovat laitteita, jotka mittaavat suhteellisen laajalta aal-lonpituusalueelta. Käytännössä alue on 1 mikrometrinä 100 mikrometriin, mikä vastaa lämpötila-aluetta -40–1400 C. Ilmaisimina käytetään yleensä termoele-menttejä, joita herkkyyden parantamiseksi on kytketty sarjaan. Ilmaisimen sar-jaan kytketyt termoelementit reagoivat hitaasti lämpötilan muuttumiseen, joten vasteaika on 1–3 sekuntia. Laajan aallonpituusalueen omaava pyrometri on altis erilaisille säteilystä ja mittausolosuhteista johtuville häiriöille. Myös emissiokertoim-en epävarmuus aiheuttaa huomattavia virheitä mittaustuloksiin. (1, s. 54–56; 2, s. 55; 3, s.49–50.)

Osittaissäteilypyrometrit keräävät säteilyä suodattimien ja ilmaisimien avulla hyvinkin kapealta aallonpituusalueelta. Tällaisia ovat yleensä piidetektorilla varustetut pyrometrit, joiden aallonpituusalue on 0,5 mikrometrinä 1,1 mikrometriin, joka vastaa lämpötilaa +700 – 4000°C. Piidetektorilla varustetun pyrometrin käyttö perustuu sen suureen herkkyyteen ja stabiiliuteen. Osittaissäteilypyrometrillä, joka on varustettu piidetektorilla, päästään muutaman millisekunnin vasteaikaan. Nopeutensa ansiosta se soveltuu liikkuvien kohteiden mittaamiseen. (1, s. 54–56; 2, s. 55; 3, s.49–50.)

Suhdepyrometrit eli 2-väripyrometrit ovat rakenteeltaan osittaissäteilypyrometrejä huomattavasti monimutkaisempia. Ne mittaavat säteilyvoimakkuuksien suhteen kahdella toisiaan lähellä olevalla aallonpituudella. Hehkuva kappale muuttaa väriään korkeampiin lämpötiloihin mentäessä tumman punaisesta aina valkoiseen saakka. Hehkuvan kappaleen väri ja säteilyn intensiteetti riippuvat aallonpituudesta. Näin saadaan värilämpötilasta mitta, jolla voidaan mitata kappaleen lämpötilaa. Mitattava lämpötila-alue on +700–3000 C. (1, s. 54–56; 2, s. 55; 3, s.49–50.)

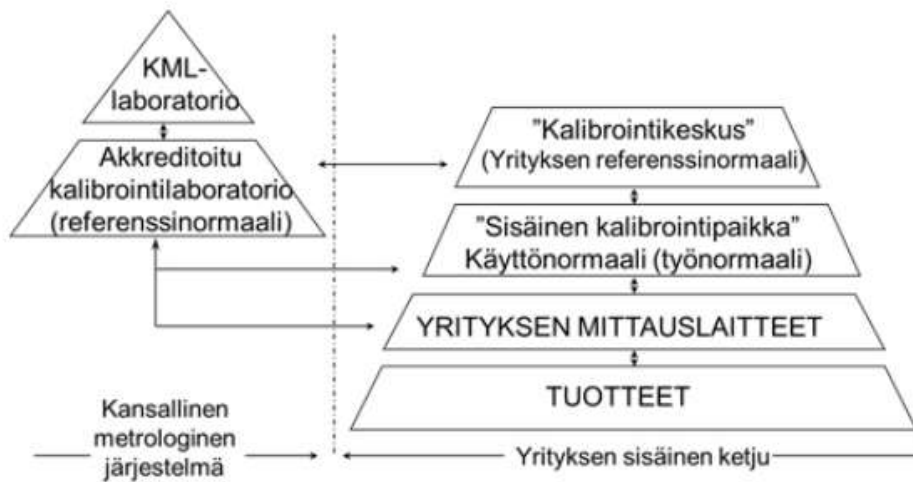
### 3 LÄMPÖTILAMITTAUSTEN KALIBROINTI

Kalibrointi on toimenpide, jonka tarkoituksena on saada erikseen määritetyssä olosuhteissa mittalaitteen tai mittausjärjestelmän näyttämien suureen arvojen ja mittanormaaleilla realisoitujen arvojen välinen yhteys. Toisin sanoen kalibroinnissa määritetään, paljonko mittarin lukema poikkeaa oikeasta arvosta. Kalibrointi mahdollistaa mittarin näyttämän korjauksen määrittämisen. Kalibroinnilla tarkoitetaan yleensä vertailua, missä laitteen tulosta verrataan tarkempaan mittalaitteeseen, jonka tarkkuus tunnetaan. Kalibrointi tulee toteuttaa sopivin väliajoin mittalaitteen kulumisen ja muuttumisen vuoksi. Kalibroinnin tulos merkitään kalibrointitodistukseen tai kalibrointipöytäkirjaan. Mittalaitetta voidaan kutsua jäljitettävästi kalibroiduksi, jos kalibrointi suoritetaan siihen tarkoitettuun laboratorioissa. Tällaisissa laboratorioissa henkilökunta kykenee kalibroimaan lämpömittareita mittanormaaleja käyttäen ja laskemaan epävarmuudet kalibroinneille. (11, s. 95.)

#### 3.1 Jäljitettävyys

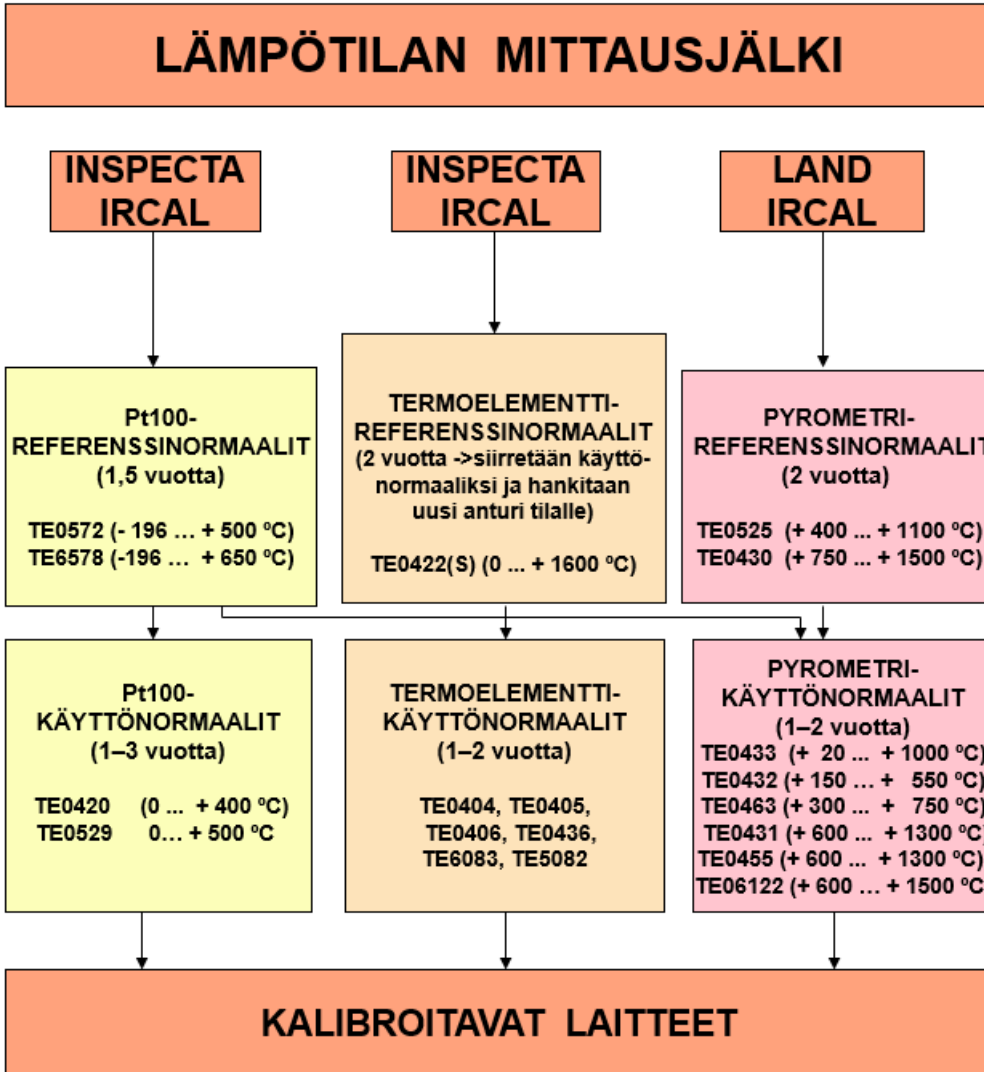
Metrologia on tiede, joka tutkii mittaamista ja mittayksiköitä. Metrologian kulmakivi on mittauksien toistettavuus, joka toteutetaan jäljitettävyydellä. Jäljitettävyyden perustana ovat kalibroinnit, joissa mittalaitteen arvoja verrataan mittanormaanin antamiin arvoihin. Mittanormaali on yleensä mittalaite, jota käytetään referenssinä, jolle on ilmoitettu suureen arvo ja mittausepävarmuus. Kalibroinnissa nähdään siis, kuinka paljon mittalaitteen näyttämä poikkeaa todellisesta arvosta. Jäljitettävyys perustuu katkeamattomaan kalibrointiketjuun, jossa kaikista ketjun osista on kalibrointitodistus, dokumentoitu mittausmenetelmä, kirjatut ja säilytetyt mittaustulokset, ajan tasalla olevat kalibroinnit, yksilöivät laitteet, tiedossa oleva ja ilmoitettu mittausepävarmuus sekä pätevyytensä osoittanut kalibrointia suorittava henkilö. Jäljitettävyys on eri aikoina ja eri paikoissa tehtyjen mittausten yhtäpitävyyden perusta. (12, s. 95.) Kuvasta 3 näkee, miten jäljitettävyys toteutuu:





KUVA 3. Jäljitettävyyden toteutuminen (9).

Raahan tehtaan korjaamolla on määritetty työohje KPP1017T, joka käsittelee lämpötilan mittausjälkeä (kuva 4). Lämpötilan mittausjälki on yksi osa jäljitettävyyttä. Mittausjäljellä pyritään pitämään tehtaalla käytettävien antureiden mittaus-tulos mahdollisimman jäljitettynä. Työohjeessa KPP1017T lämpötilan mittausjälki tuodaan kansainvälisestä mittanormaallaboratoriosta akkreditoituun kalibrointilaboratorioon, joka tässä ohjeessa on Land, Ircal tai Inspecta. Edellä mainittuihin kalibrointilaboratorioihin lähetetään korjaamon referenssinormaalit kalibroita-vaksi. Näillä referenssinormaaleilla voidaan korjaamon sisäisessä kalibrointipaikassa itsenäisesti kalibroida käyttönormaalit, joilla taas kalibroidaan osastoilla käytettävät mittalaitteet. (11.)



KUVA 4. Lämpötilan mittausjälki (11).

### **3.2 Mittanormaali**

Mittanormaalilla tarkoitetaan kiintomittaa, mittauslaitetta, vertailuainetta tai mittausjärjestelmää, jolla määritellään, realisoidaan, säilytetään tai toistetaan suureen mittayksikkö tai suureen yksi tai useampi referenssiarvo. Referenssiarvolla tarkoitetaan tässä suureen määritelmän mukaista sovittua arvoa tai suureen arvon parasta arviota. Primaarinormaali on mittanormaali, jonka metrologinen laatu on yleisesti tunnustettu parhaaksi ja jonka arvo on hyväksyttävissä vertaamalla sitä muihin saman suureen mittanormaaleihin. Sekundaarinormaali on mittanormaali, jonka arvo määritetään vertaamalla sitä saman suureen primaarinormaaliiin. (11, s. 94.)

Vertailu- tai referenssinormaali on mittanormaali, jolla on tietyssä paikassa tai organisaatiossa yleensä paras saatavissa oleva metrologinen laatu ja, johon sillä tehtävät mittaukset perustuvat. Käyttönormaali on mittanormaali, jota käytetään rutiiniluontoisesti mittauslaitteiden kalibrointiin tai tarkastukseen. Käyttönormaali kalibroidaan tavallisesti vertailunormaalien avulla. Siirtonormaali on mittanormaali, jota käytetään välittävänä laitteena normaalien vertailussa. (11, s. 94.)

Mittanormaalien ylläpidolla tarkoitetaan toimenpiteitä, joiden avulla varmistetaan mittanormaalien metrologisten ominaisuuksien pysyminen asianmukaisten rajojen sisällä. Toimenpiteisiin kuuluu tavallisesti säännöllisin väliajoin tapahtuva kalibrointi ja vakioisuuden tarkistus, säilytys sopivissa olosuhteissa ja huolellinen käyttö. (11, s. 94.)

### **3.3 Epävarmuuslaskenta pyrometrille**

Tässä luvussa on laskettu laajennettu epävarmuus pyrometrille, jonka mittausalue on 400°C – 1500°C. Laskelmat on tehty ohjeen EA-4/02 (Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration) mukaan. Pyrometrin epävarmuuslaskelmissa on huomioitu kalibrointilaboratorion omat laitteet ja kalibroitava laite. Yhdistetty epävarmuus on epävarmuuskomponenttien neliönsumman neliöjuuri.

Laajennettu epävarmuus on yhdistetty epävarmuus kerrottuna normaalija-  
kauman 95%:n todennäköisyyttä vastaavalla kattavuuskertoimella  $k=2$ . Laajennettu epävarmuus voidaan laskea pyrometrille kaavalla 4.

$$t_{90} = t_{pyroref} + \delta t_{pyrocal} + \delta t_{pyrostab} + \delta t_{pyrotemp} + \delta t_{pyroaim} + \delta t_{hpcal} + \delta t_{black\epsilon} + \delta t_{furgrad} + \delta t_{furstab} + \delta t_{pyrosse}$$

KAAVA 4

missä

$t_{pyroref}$  = mittaustulos kalibroitavalla pyrometrillä.

$\delta t_{pyrocal}$  = referenssinormaalien kalibrointiepävarmuus (kalibrointitodistuksesta), se on pienimmillään  $\pm 1^\circ\text{C}$  ja suurimmillaan  $\pm 3^\circ\text{C}$ .

$\delta t_{pyrostab}$  = referenssinormaalien pitkänajan stabiilius (kalibrointihistorian mukaan)

$\delta t_{pyrotemp}$  = kalibroitavan pyrometrin sisäisen lämpötilan muutoksen aiheuttama mittausrvirhe ( $0,1 \text{ } \%/^\circ\text{C}$ ).

$\delta t_{pyroaim}$  = pyrometrin kohdistuksesta aiheutuva epävarmuus

$\delta t_{hpcal}$  = DVM-mittajälki, mittaustulos on  $10 \text{ V}$  ( $\pm 20 \text{ mV}$ ).

Epävarmuuslaskelmassa yleismittarin kalibrointiepävarmuuteen on sisällytetty myös yleismittarin pitkänajan stabiilius  $\pm 6 \text{ mV}$  (2 vuotta).

$\delta t_{black\hat{1}}$  = kalibrointiuunin mustan kappaleen tehollinen säteily

$\delta t_{furgrad}$  = kalibrointiuunin mustan kappaleen lämpötilagradienteista johtuva epävarmuus (perustuu omiin tai uunin valmistajan testeihin)

$\delta t_{furstab}$  = kalibrointiuunin mustan kappaleen lämpötilan stabiiliudesta johtuva epävarmuus (5 min),

$\delta t_{pyrosse}$  = näköalueen koko (SSE-efekti), joka lasketaan kaavalla 5

$$u = \left(\frac{\lambda T^2}{C_2}\right) \times \left(\frac{\delta SSE}{SSE}\right) \times \left(\frac{1}{\sqrt{3}}\right),$$

KAAVA 5

missä

$l$  = testipyrometrin aallonpituusalue

$T$  = mustan kappaleen lämpötila [K]

$C_2 = 0,014388 \text{ m} \times \text{K}$  (säteilyvakio)

$SSE = V\emptyset 1/V_{\text{max}}$

$V\emptyset 1$  = säteilyenergia kohdealueen nimellishalkaisijalla

$V_{\text{max}}$  = maksimisäteilyenergia

$V\emptyset 2$  = säteilyenergia kaksinkertaisella näköalueen halkaisijalla

Taulukosta 2 nähdään 1000°C:n laskettu laajennettu epävarmuus  $U$ .

TAULUKKO 2. Laajennettu epävarmuus 1000°C asteessa (13).

Tulosuureen symboli	Tulosuureen arvio	Tulosuureen standardi-epävarmuus $\pm$	Yksikkö	Todennäköisyys-jakauma	Jakaja	Herkkyysskerroin $C_i$	$u_i$ (T) $\pm$ °C
$t_{\text{pyroref}}$	1000,922	0,112	°C	Normaali	1	1	0,112
$\delta t_{\text{pcal}}$		1	°C	Normaali	2	1	0,5
$\delta t_{\text{pstab}}$	0	0,3	°C	Tasainen	$\sqrt{3}$	1	0,173
$\delta t_{\text{ptemp}}$	0	0,3	%	Tasainen	$\sqrt{3}$	1,004	0,174
$\delta t_{\text{paim}}$	0	0,05	%	Tasainen	$\sqrt{3}$	1,004	0,029
$\delta t_{\text{psse}}$	0	0,506	°C	Tasainen	$\sqrt{3}$	1	0,292
$\delta t_{\text{hpcal}}$	0	26	$\mu\text{V}$	Normaali	2	0,00007	0,001
$\delta t_{\text{black}\epsilon}$	0	0,2	%	Tasainen	$\sqrt{3}$	1,004	0,116
$\delta t_{\text{igrad}}$	0	0,5	°C	Tasainen	$\sqrt{3}$	1	0,289
$\delta t_{\text{fstab}}$	0	0,217	°C	Tasainen	$\sqrt{3}$	1	0,125
$t_{g0}$	1000,922					Yhdistetty epävarmuus $u(t_{g0})$	0,722
$U$	Laajennettu epävarmuus, $k = 2$						1,444

## 4 TYÖN SUORITUS

SSAB:n laatujärjestelmän keskeiset asiat ovat ympäristö, terveys, turvallisuus ja laatu. Vahvana osana laatujärjestelmää on SSAB ONE, joka käsittelee visioita, arvoja ja periaatteita. SSAB ONE on rakennettu strategian käyttöönottoon ja asiakkaiden erityisvaatimusten arviointiin.

Raahen tehdas on sertifioitu standardin SFS-EN ISO 9001:2018 vaatimuksen mukaisesti. Lisäksi tehdas on sertifioitu ympäristöstandardin SFS-EN ISO 14001 mukaisesti. Kaikki tehtaan käsikirjat ja ohjeet löytyvät tuotannon ohjejärjestelmästä.

Korjaamolla on käytössä laatukäsikirja (dokumenttitunnus KPP001M). Korjaamon laatukäsikirjassa on huomioitu jäljitettävyys kohdassa ”tuotteen tunnistus ja jäljitettävyys”. Tuotteen tunnistuksessa ja jäljityksessä käytetään Arttu-toiminnan-ohjausjärjestelmässä työnumeroa. Yleisesti korjaus- tai huoltokierrossa olevalla laitteella on yksilöivä numero, mikä on tärkeä osa jäljitettävyyttä. Kaikki huolto- ja korjaustyöt kirjataan Arttu-järjestelmään.

Standardissa SFS-EN ISO 9001 kohdassa ”mittausten jäljitettävyys” sanotaan: jos mittausten on vaatimusten mukaan oltava jäljitettäviä tai, jos organisaatio pitää jäljitettävyyttä olennaisena osana mittaustulosten paikkansapitävyyden varmistamisessa mittalaitteet on:

- kalibroitava tai todennettava tai sekä kalibroitava että todettava joko määräjain tai ennen käyttöä verraten mittanormaaleihin, jotka ovat jäljitettävissä kansainvälisiin tai kansallisiin mittanormaaleihin; jos tällaisia mittanormaaleja ei ole, kalibroinnin tai todentamisen perusteet on säilytettävä dokumentoituna tietona
- merkittävä siten, että niiden tila voidaan määrittää
- suojattava virityksellä, vaurioilta tai huononemiselta, jotka mitätöisivät kalibroinnin tilan ja seuraavat mittaustulokset

#### 4.1 Pyrometrin lämpötilakalibrointi korjaamolla

Kalibrointi on osa laadunohjausta. Korjaamon automaatiohuollon kalibrointi henkilöstö tekee jäljitettäviä, SFS-EN ISO 9001 standardin vaatimuksien täyttäviä kalibrointitöitä. Systemaattisella ja säännöllisellä mittalaitteiden kalibroinnilla varmennetaan tuotteeseen, ympäristöön, turvallisuuteen ja toiminnan häiriöttömyyteen liittyvien mittausten oikeellisuus. SSAB:n Raahen tehtaan korjaamolla suoritetaan monen eri mittaussuureen kalibrointia. Kalibroitavia mittasuureita ovat muun muassa: sähkösuureet, lämpötila, massa, analyysit ja kosteus. Kaikista kalibroinneista tehdään kalibrointipöytäkirja Arttu-järjestelmään, jota käytetään myös kalibrointijärjestelmänä. Kalibroitavilla laitteilla käytetään kriittisyyskoodia A, mikä tarkoittaa että laite on laatumiksausessa. Jos kalibroitavassa laitteessa havaitaan rajojen ylitys, tulee siitä ilmoittaa osaston työnjohtajalle, kalibrointivastaavalle ja laaturapäälikölle. Rajojen ylittyessä kalibrointihenkilöstö virittää laitteen ja kalibroi sen uudelleen. Jos laitetta ei saa viritettyä, sopii kalibroinnin suorittanut henkilö osaston vastuuhenkilön kanssa laitteen romutuksesta. (13.)

Pyrometrin lämpötilakalibrointi tapahtuu automaatiohuollon kalibrointilaboratoriossa työohjeen KPP1071T tai valmistajan ohjeiden mukaisesti. Pyrometrin kalibrointi tapahtuu vertailumenetelmällä, jossa pyrometriä verrataan käyttönormaaliiin. Pyrometrit ovat osa laatumittausta, joten mittalaitteiden kalibrointi tulisi suorittaa mahdollisimman tarkasti. Pyrometrien kalibrointiväli määräytyy pyrometri-mittauksen tärkeyden ja olosuhteiden mukaan. Kalibrointiväli vaihtelee 7 viikosta aina 52 viikkoon. Kalibrointivälit on määritelty Arttu-järjestelmään, josta lähtee ilmoitus kalibrointitarpeesta osastojen vastuuhenkilöille. Osastot ovat siis vastuussa, että pyrometrit tulevat kalibrointiin ajallaan. Kuvassa 5 nähdään osastolta tulleita pyrometrejä. (11.)

Pyrometrin kalibroinnissa käytetään seuraavia laitteita:

- kalibrointiuunit
- kalbrointikelkka
- käyttönormaali pyrometri
- Meas test uunien -ohjausohjelma
- Arttu-järjestelmä

- pyrometrit



*KUVA 5. Osastolta tulleet kuitupyrometrit.*

Kalibrointi aloitetaan, kun kalibrointiuunit (kuva 6) ovat lämmenneet pyrometrille vaadittuun lämpötilaan. Pyrometrien kalibroinnissa käytetään kolmea eri lämpötiloissa toimivaa uunia (TE0571/1400°C, TE0566/800°C ja TE00526/1100°C). Uunin lämpötila tarkistetaan käyttönormaaliksi määritetyllä Landin käsipyrometrillä (kuva 7).



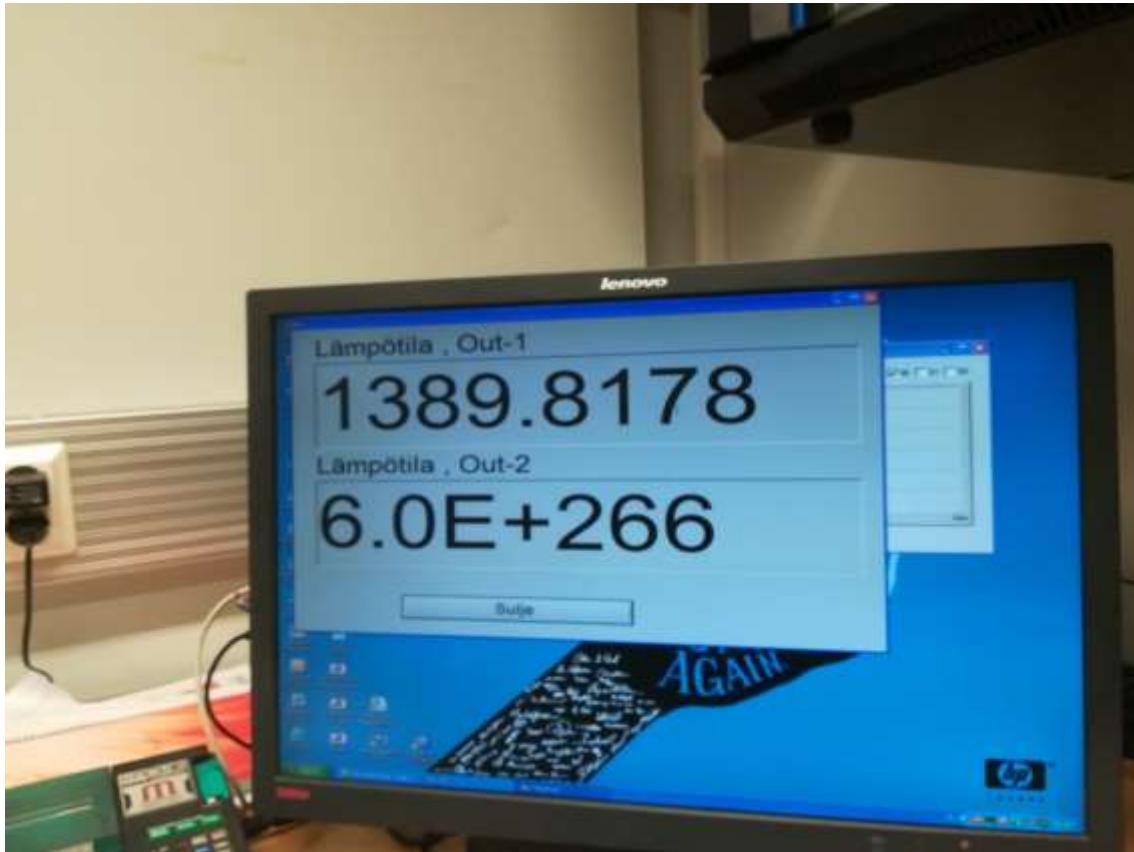


*KUVA 6. Kalibrointiuuni.*



*KUVA 7. Käyttönormaalina käytettävä käsipyrometri.*

Uuneja ohjataan Meas test tietokoneohjelmalla (kuva 8), josta näkee myös kalibroivien pyrometrien mittaustulokset.



*KUVA 8. Meas Test uunien ohjausohjelma.*

Ensimmäisenä kalibroitavana oli Landi U1 kuituoptiikalla varustettu osittaissäteilypyrometri (kuva 9), jonka mittausalue on 600°C–1600°C.



KUVA 9. Osittaissäteilypyrometri.

Pyrometrin asetukset nollattiin kalibroinnin ajaksi, jotta pyrometri näyttäisi mahdollisimman oikeaa arvoa. Nollauksen jälkeen kalibroitava pyrometri asetettiin kalibroitikelkkaan (kuva 10), jonka jälkeen kalibroitikelkkaa ohjattiin ensimmäisen kalibroituuunin kohdalle ohjausyksiköllä (kuva 11).



*KUVA 10. Kalibrointikelkka.*



KUVA 11. Kelkan ohjausyksikkö.

Pyrometri suunnataan mahdollisimman keskelle ja lähelle kalibrointiunin aukkoa. Kelkan paikoitus ja pyrometrin keskittäminen on tehtävä tarkasti, jotta voi-

daan minimoida tästä aiheutuvat mittausvirheet. Tämän jälkeen kirjataan mitaustulos ylös ja ajetaan kelkka seuraavan uunin kohdalle. Jokaisen uunin kohdalla mitaustulos kirjataan ylös.

Toinen kalibroitava pyrometri oli Ladin V1 suhdepyrometri, jonka mittausalue on 600 °C –1600 °C. Kalibrointi suoritettiin samalla tavalla kuin Landi U1 kalibrointi. Kalibroinnin aikana huomattiin mittauksen poikkeavan yli 5°C sallituista rajoista. Ensimmäisenä puhdistettiin optiikan linssin (kuva 12), jotta pystyttiin näkemään, johtuisiko virhe siitä.





*KUVA 12. Kuitupyrometrin optiikan linssi.*

Tämän jälkeen kalibroitiin uudestaan, mutta mittaus poikkesi edelleen yli 5 °C. Seuraavaksi viritettiin pyrometri se tehtiin valmistajan ohjeiden mukaisesti. Virituksen jälkeen mittaustulos saatiin pysymään määritetyissä arvoissa. Tämän jäl-

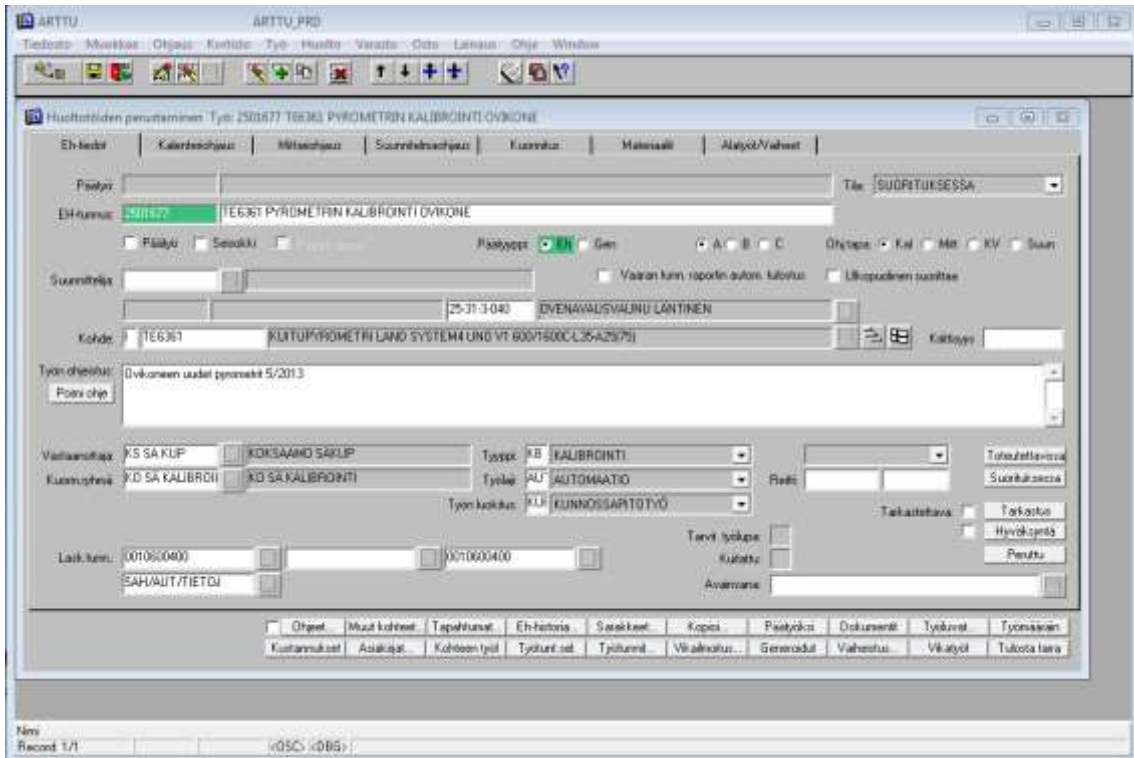


keen kalibroituja mittareita tulokset merkittiin kalibrointipöytäkirjaan Arttu-järjestelmään ja poikkeavista mittaustuloksista ja virityksestä ilmoitettiin osastolle ja työjohtajalle.

#### 4.2 Tulosten merkkäminen Arttu-järjestelmän kalibrointipöytäkirjaan

Kalibroinnin jälkeen tulee aina kalibroinnin tulos merkata kalibrointipöytäkirjaan joko virheenä tai korjauksena. Korjaus tarkoittaa, että mittarin näyttämään lisätään poikkeava arvo, kun taas virheessä mittarin näyttämästä vähennetään poikkeava arvo.

Kirjaus tehdään seuraavasti Arttu-järjestelmässä: avataan kalibroitava pyrometriin kohdistettu ennakkohuoltotyö (kuva 13).

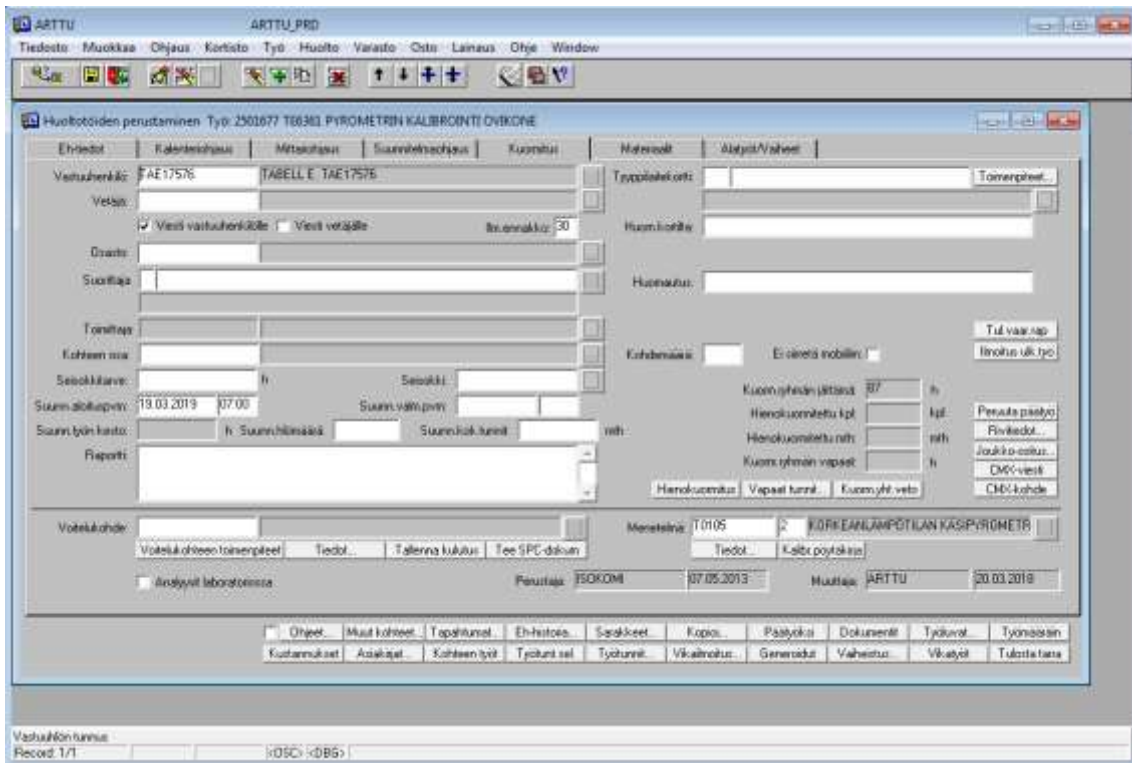


KUVA 13. Ennakkohuoltotyö Arttu-järjestelmässä.

Seuraavaksi valitaan ylävalikosta "kalenteriohjaus". Kalenteriohjauksesta selviää pyrometrin yksilöivä numero, pyrometrin nimi ja tyyppi, kalibroinnin jaksotus sekä edellinen kalibrointi ja seuraava kalibrointi (kuva 14).

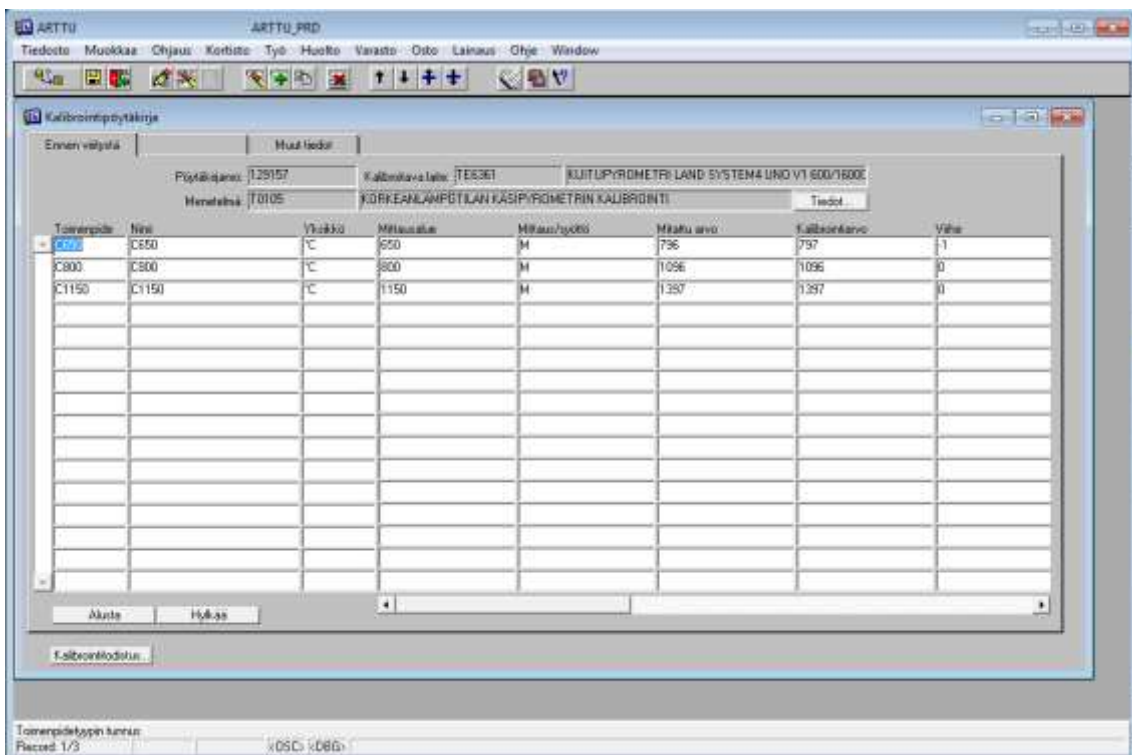
KUVA 14. Ennakkohuoltotyön kalenteriohjaus.

Seuraavana ylävalikosta valitaan ”kuormitus”, josta selviää mm. osaston vastuuhenkilö sekä linkki kalibrointipöytäkirjaan. (Kuva 15.)



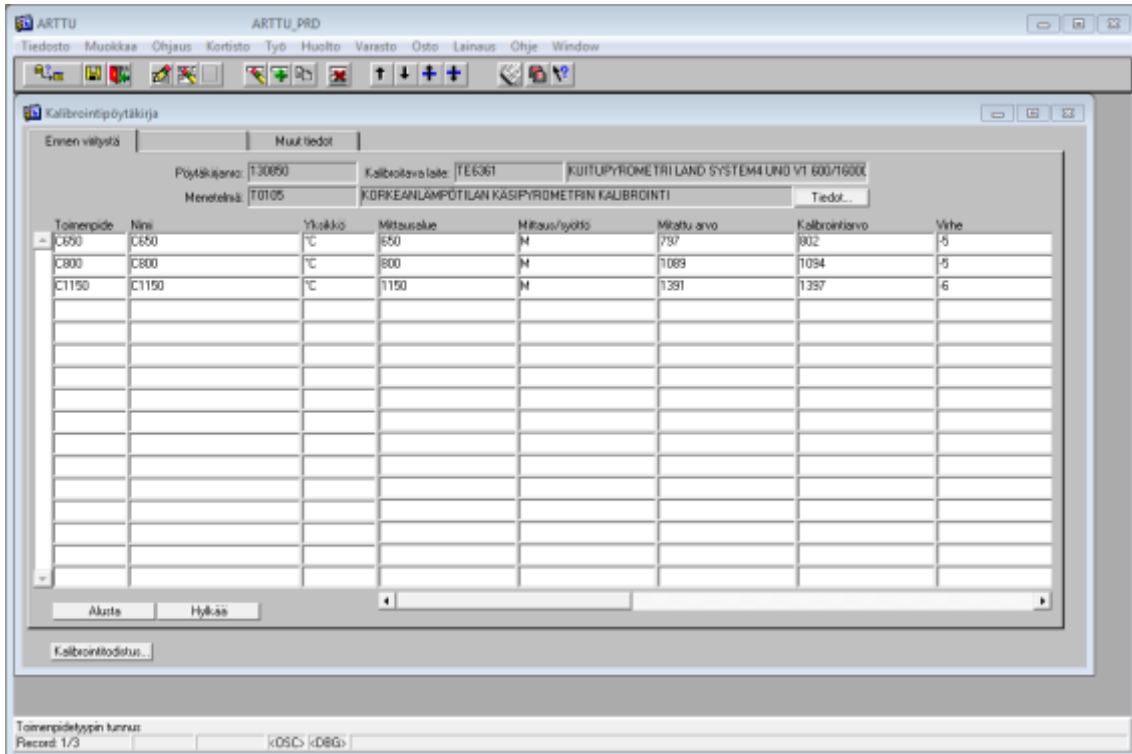
KUVA 15. Ennakkohuoltotyön kuormitus osio.

Kalibrointipöytäkirjasta näkee edellisen kalibroinnin tulokset ja siinä ilmenneet virheet. Pöytäkirjasta näkee myös lämpötilat, missä pyrometrit tulisi kalibroida, referenssillä mitattu lämpötila sekä kalibrointiarvo. (Kuva 16.)



*KUVA 16. Kalibrointipöytäkirja*

Suoritetun kalibroinnin jälkeen uudet arvot kirjataan pöytäkirjaan, jonka jälkeen järjestelmä laskee toteutuneet virheet eri mittausalueille (kuva 17).



The screenshot displays the ARTTU software interface for a calibration report. The window title is 'ARTTU\_P80'. The menu bar includes 'Tiedosto', 'Muokkaa', 'Ohjaus', 'Kortisto', 'Työ', 'Huolto', 'Varasto', 'Osto', 'Lainaus', 'Ohje', and 'Window'. The main window is titled 'Kalibrointipöytäkirja' and contains a form with the following fields:

- Ennen välitystä
- Muut tiedot
- Pöytäkirjanro: T130650
- Kalibrointilohke: TE6361
- KUITTUPYROMETRI LAND SYSTEM4 UNO VT 600/1600
- Menetelmä: T0105
- KORKEANLAMPÖTILAN KASIPYROMETRIN KALIBROINTI
- Tiedot...

The main data table is as follows:

Toimenpide	Nimi	Yksikkö	Mittausalue	Mittaus/ytö	Mittaus-arvo	Kalibrointiarvo	Virhe
C650	C650	°C	650	N	737	802	-5
C800	C800	°C	800	N	1089	1094	-5
C1150	C1150	°C	1150	N	1391	1397	-6

Buttons at the bottom include 'Alusta', 'Hyväks', and 'Kalibrointitodistus...'.

*KUVA 17. Kalibrointipöytäkirjaan merkatut tulokset.*

Kun arvot on syötetty pöytäkirjaan, tulee enää kuitata huoltotyö valmiiksi (kuva 18).

Ennakkohuoltotyön kuittaus (Kalenteriohjaus)

Työnro: 2501677 Nimi: TE6361 PYROMETRIN KALIBROINTI OVIKONE

Pöytäkirjanro: Kansal.mittaj:

Suorituspvm: 20.03.2018 Suorittaja:

Seur.suor.pvm: 19.03.2019 Ulk. suorit:  Ei poisteta suorittaja

Kopioi tapaht.raportti työlle Vuoro:  1  2  3  4  pv

Tapaht.raportti:

Työn raportti:

Kuittaaja: Kuittauspvm: Kuittaustapa: KASIN

KUVA 18. Ennakkohuoltotyön kuittaus.

### 4.3 Pyrometrien käyttö osastoilla

Pyrometrejä on käytössä olevana laitteena tai varalaitteena ympäri tehdasta yli 600 kappaletta. Lämpötilan mittaaminen on olennainen osa laadun ja turvallisuuden takia. Otin työhöni muutaman esimerkin eri osastoilla, missä eri prosesseissa pyrometrimittausta käytetään.

#### 4.3.1 Masuuni

Masuunilla kävin tarkastelemassa kohdetta Masuuni 2:lla, missä pyrometrit mittaavat Cowperin kupolin lämpötilaa. Cowperit eli esikuumentimet ovat yksi osa raudan valmistusprosessia, jossa esilämmitetään masuunin sisälle puhallettava ilma. Tarkasteltavassa kohteessa kyseisen mittauksen pyrometri on sijoitettu cowperin kupolin päälle, josta se mittaa reiästä kupolin pintaa ja sen lämpötilaa

(KUVA 19.) Mittauksen tarkoituksena on seurata kupolin lämpötilaa, jotta huomattaisiin alkava puhkeama. Kohteessa on käytössä Landin kokonaissäteily- eli yksiväripyrometri. Pyrometrin mittaustulos viedään Valmetin automaatiojärjestelmään vahvistimen kautta. Pyrometrin ja järjestelmän välissä täytyy olla vahvistin, koska etäisyydet ovat pitkiä ja signaali heikentyisi pitkien välien takia ja se vääristäisi mittaustulosta.





*KUVA 19. Cowperin sisälle kuvaava pyrometri.*

### **4.3.2 Sulatto**

Sulatolla tarkasteltavana kohteena olivat jatkuvavalukoneet, missä pyrometrejä käytetään valun loppupäässä. Jatkuvavalukone on sulaton loppupään prosessi, missä sula teräs muutetaan kiinteään muotoon eli ahioksi. Jatkuvavalukoneita on kaikkiaan sulatolla 3 kappaletta. Jatkuvavalukoneet on nimetty seuraavasti Jatkuvavalukone 4, jatkuvavalukone 5 ja jatkuvavalukone 6, joka on valukoneista uusin. Kaikilla kolmella jatkuvavalukoneella pyrometrit on sijoitettu koneen loppupäähän ennen kaasuleikkausta (kuva 20.)





*KUVA 20. Jatkuvavalukoneella 4 sijaitseva linssioptiikalla toimiva pyrometri.*

Jatkuvavalukoneilla 4 ja 5 on käytössä linssioptiikalla varustettu Landin system 3 pyrometreillä, kun taas jatkuvavalukoneella 6 on kuituoptiikalla (kuva 21) varustettu Landin system 3 pyrometri (kuva 22). Pyrometrit on varustettu paineilmalla,

jotta pyrometri ei vahingoittuisi kohteen lämmöstä ja optiikan linssi ei sotkeutuisi. Kun linssi pysyy mahdollisimman puhtaana, mittausvirheet vähenevät.



*KUVA 21. Pyrometrin kuituoptiikka jatkuvavalukone 6:n loppupäässä.*



*KUVA 22. Kuitupyrometri jatkuvalukone 6:lla.*

Pyrometrien mittaustietoa käytetään kaasuleikkurin nopeudensäätöön. Mittauksella ei ole laadullista merkitystä, koska lämpötila tulisi saada valukoneen kaarelta. Kaaren mittauksella nähtäisiin vielä sulan pinnan lämpötila, tällä tiedolla voitaisiin vaikuttaa teräksen laatuun. Valukoneen kaarelle olisi laadun kannalta

tärkeä saada lämpötilan mittaus. Kaarella on ollut ennen pyrometrejä, mutta mitaus on jätetty pois käytöstä, koska laitteet eivät kestäneet prosessin olosuhteita. Valukoneiden loppupäässä sijaitsevat pyrometrit ovat suhteellisen vanhoja ja ne olisi hyvä uusia. Ei myöskään ollut varmuutta, onko pyrometrit käytetty säännöllisesti kalibroitavana.

### **4.3.3 Nauhavalssaamo**

Nauhan valssausprosessissa kiinteä aihio valssataan valmiiksi kelatuotteeksi. Valssausprosessi tapahtuu todella nopeasti ja olosuhteet ovat haasteelliset, mikä tarkoittaa, että pyrometri on ainoa hyvä vaihtoehto lämpötilan mittaamiseen. Nauhan lämpötilan seuranta on tärkeää laadun kannalta. Prosessissa on käytössä todella paljon pyrometrejä, jotka mittaavat nauhan lämpötilaa prosessin eri vaiheissa. Jokainen lämpötilamittaus on kahdennettu sitä varten, jos toiseen mittaukseen tulee vika (kuva 23).



*KUVA 23. Maan alle sijoitettu kahdennettu nauhan lämpötilamittaus ennen ke-  
lainta.*

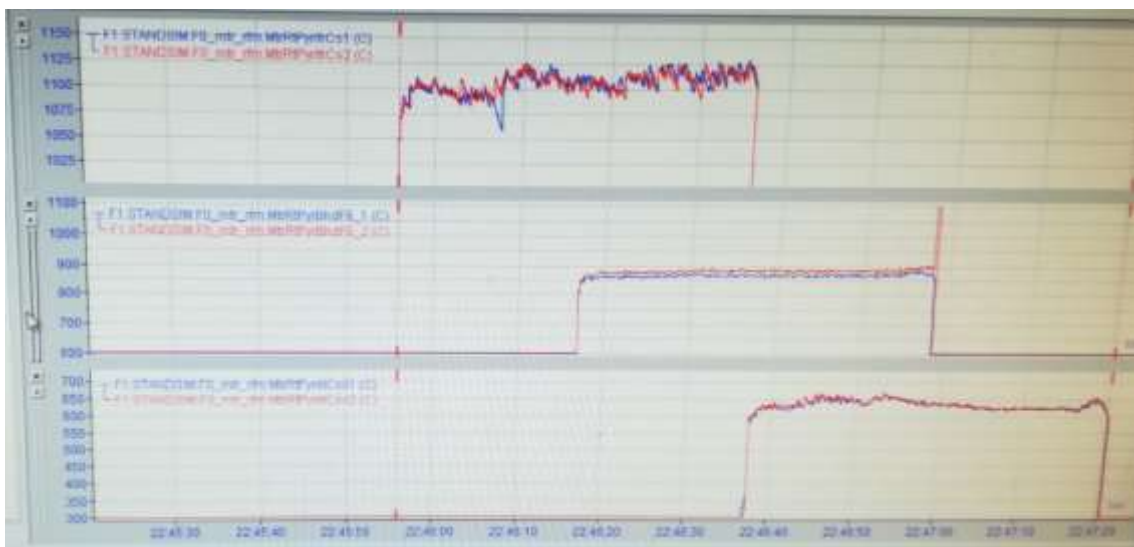


Nauhan haluttu lämpötila on noin 100°C–300 °C tai 800 °C–1000 °C laadusta riippuen. Tämä tarkoittaa, että pyrometrejä täytyy olla kahdenlaisia, jotka mittaavat eri lämpötila-alueelta. Pyrometrimittaus on toteutettu kuitupyrometrillä (kuva 24), jottei itse pyrometrin tarvitse olla liian lähellä kuumaa prosessia ja tätä kautta tulisi virheitä mittaukseen. Kuituoptikkaan on rakennettu kiertoilma, ettei se sulaa korkeasta lämpötilasta.



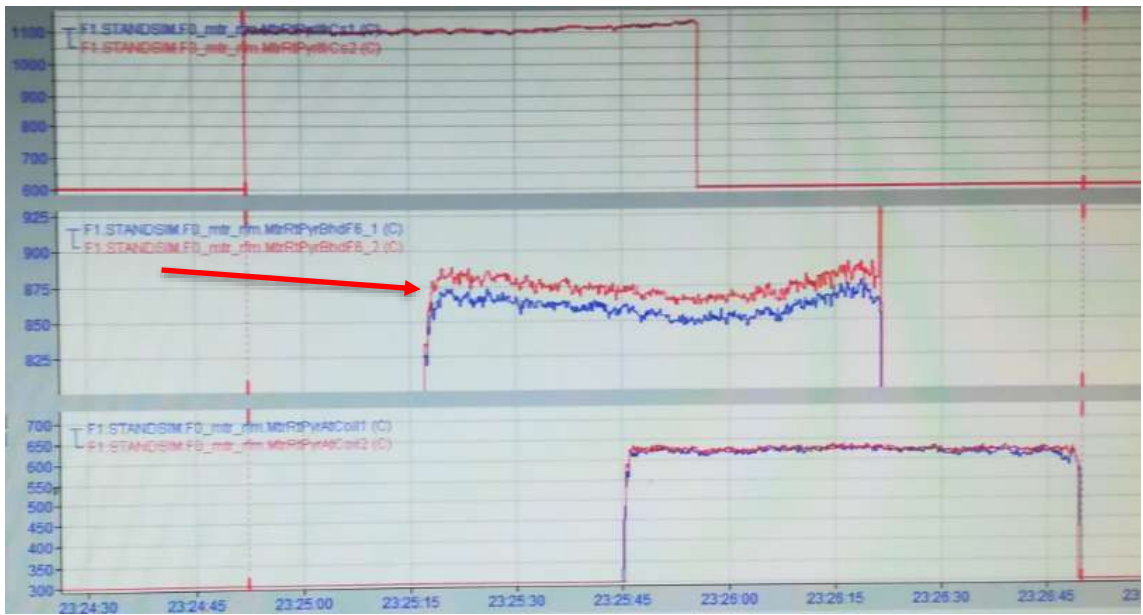
*KUVA 24 Kuitupyrometrit esivalssin jälkeen.*

IBA -tiedonkeruujärjestelmästä tarkasteltiin prosessin kolmea eri pyrometrimittaus-  
 tausta (kuva 25). Kuvassa 25 nähdään kolme kuvaajaa, joissa kussakin havain-  
 nollistuu kahdennettu mittaus kahdella eri värillä (punainen ja sininen). Kuvan ylin  
 kuvaaja on pyrometrimittaus ennen valssituoleja. Keskimmaisessä kuvaajassa  
 on pyrometrimittaus valssituolien jälkeen. Alin kuvaaja on puolestaan pyrometri-  
 mittaus ennen kelainta linjan loppupäässä. Kuvasta näkee hyvin, miten nauha  
 etenee linjastolla ja miten lämpötila muuttuu matkan aikana, koska nauhaa jääh-  
 dytetään vedellä prosessin aikana. Kuvasta näkee myös, kuinka linjalla tarvitaan  
 paljon eri mittausalueella toimivaa pyrometria.



*KUVA 25. Kolme eri mittaus pistettä linjalta. (16.)*

Seuraavan nauhan valssauksessa nähdään (kuva 26), että jokin aiheuttaa häi-  
 riötä valssituolien jälkeisessä mittauksessa. Mittaus on paljon epätasaisempaa,  
 kuin aiemmin ja kahdennetun mittauksen välille tulee 5°C–10°C eroa. Tämä voi  
 johtua prosessissa muodostuneista teräksen hilseistä ja pölystä tai vedestä, jota  
 voi kertyä pyrometrin linssiin.



KUVA 26. Mittauksessa esiintyvä häiriö. (16.)



## 5 YHTEENVETO

Opinnäytetyössäni oli tarkoitus ymmärtää pyrometriä käyttöä ja kunnossapitoa Raahen terästehtaalla. Työ keskittyi tarkastelemaan pyrometriä kalibrointien laatu- ja järjestelmän mukaista seuranta.

Kalibrointi on keskeinen osa jäljitettävyyttä, joten Raahen terästehtaalla on määritetty tarkat ohjeet, miten kalibrointi mahdollisimman laadukkaasti. Osa pyrometreistä on kriittisiä tuotannolle. Varsinkin ne, missä lämpötila vaikuttaa merkittävästi tuotteen laatuun.

Kalibroinnissa kävi ilmi, että kalibrointiuunien lämpötilan ohjaus tapahtuu vanhan Meas Test -ohjelman kautta. Ohjelmaan ei saa enää minkäänlaista tukea, eikä osaamista ole "maailmalla". Tämä voi aiheuttaa ongelmia kalibroinnissa, jos tietokone hajoaa tai ohjelma lakkaa toimimasta. Lämpötilaohjaus voitaisiin toteuttaa Siemensin S7-1200 -logiikalla. Valmiudet olisivat hyvät, sillä kelkan paikoitus on jo tehty kyseisellä logiikalla. Tulevaisuudessa myös uunien ohjauksen voisi toteuttaa tämän logiikan kautta.

Kalibroitavien pyrometriä kalibrointiin lähettämisessä on ongelmia, joka tosin koskee myös muitakin kalibrointeja. Arttu-järjestelmään on määritetty osastoitain vastuuhenkilöt, jotka ovat vastuussa kalibroitavien pyrometriä lähettämisestä korjaamolle kalibrointiin. Arttu-järjestelmä lähettää osaston vastuuhenkilölle sähköpostiin muistutuksen lähestyvistä kalibroinnista. Arttu-järjestelmän avulla olisi hyvä muistuttaa myös laitteen kalibroinnin vanhenemisestä useammalle henkilölle osastoilla, jotta kalibroitavat laitteet saataisiin ajoissa kalibrointiin. Näin saataisiin parannettua laitteen mittausvarmuutta ja vähennettyä kalibrointihenkilöiden työmäärää selvittelyn osalta.

Tässä on esitetty Osastoilla esiin tulleita ajatuksia, miten pyrometrimittausta tulisi kehittää:

Masuuni 2:lla Cowperin kupolin lämpötilaa seuraavan pyrometrin kalibrointia menetelmää tai pyrometrin tyyppiä tulisi miettiä uudelleen. Kalibroinnista tulleen pyrometrin mittaus vääristyy, kun se asennetaan takaisin paikolleen. Pyrometri joudutaan käsipyrometrin avulla virittämään uudelleen.

Sulatolla Jatkuvalukokoneiden 4 ja 5 pyrometrit tulisi uusia, koska kyseisille pyrometreille ei löydy enää varaosia eikä varalaitetta. Valukoneiden kaarelle olisi laadun kannalta hyvä asentaa pyrometrit. Tällöin nähtäisiin vielä sulan pinnan lämpötila kaaren eri kohdista, ennen kuin se muuttuu kiinteäksi. Kaarella on ollut ennen pyrometrit, mutta mittalaitteet eivät kestäneet olosuhteita. Myös olosuhteet vääristävät mittauksen tulosta liikaa.

Nauhavalssaamalla pyrometrien laitekanta on myös vanhaa Landin system 3:sta, mutta pyrometrejä on ruvettu järjestelmällisesti vaihtamaan uudempaan Land system 4 -mallistoon. Prosessin aikana ilmenneiden häiriöiden poistoon voitaisiin miettiä jonkinlaista ennakkohuoltotyötä. Esimerkki tällaisesta huoltotyöstä voisi olla pyrometrin linssin säännöllinen putsaus linjaston seisoessa.

## LÄHTEET

1. Pihkala, Juhani 2008. Prosessisuureiden mittaustekniikka. Helsinki: Juvenes Print Suomen yliopisto paino Oy.
2. Weckström, Thua 2005. Lämpötilan mittaus. MIKES METROLOGIA. Saatavissa: <https://www.vtt.fi/inf/pdf/MIKES/2005-J4.pdf>. Hakupäivä: 20.2.2018
3. Taylor, James 2010. Foundation level infrared training. LAND. Saatavissa: <https://www.isa.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=136908>. Hakupäivä: 14.3.2018
4. Oulun Yliopisto. Fysiikan laboratoriot 2018. Saatavissa: <https://noppa oulu.fi/noppaimages/766106P/LAMPOSATEILY.pdf>. Hakupäivä: 14.5.2018
5. Mustan kappaleen säteily 2018. Saatavissa: <http://www.kotiposti.net/ajniemi-nen/mks.pdf>. Hakupäivä: 14.3.2018
6. Wikipedia musta kappale 2018. Saatavissa: [https://fi.wikipedia.org/wiki/Musta\\_kappale](https://fi.wikipedia.org/wiki/Musta_kappale). Hakupäivä: 20.4.2018
7. Turun ammattikorkeakoulu. Lämpöoppia 2018. Saatavissa: <http://docplayer.fi/18786315-Lampooppia-haarto-karhunen-www-turkuamk-fi.html> Hakupäivä: 29.5.2018
8. Infradex. Lämpökuvauksen teoria 2018, Saatavissa: <https://www.infradex.com/wp-content/uploads/2016/08/teoria.pdf> . Hakupäivä: 23.4,2018
9. FINAS. Metrologijärjestelmä 2016. Saatavissa: <https://www.finas.fi/akkreditointi/jaljitettavyys/Sivut/Metrologiaj%C3%A4rjestelm%C3%A4.aspx>. Hakupäivä: 20.4.2018
10. Mäkelä, Mikko – Soininen, Lauri – Tuomola, Seppo – Öistämö, Juhani 2017 Tekniikan kaavasto. Tammertekniikka.
11. SSAB Raahe 2016. Työohje KPP1017T.

12. Järvinen, Hannu 2018. Mittanormaalit ja mittaustarkkuus saatavissa:  
[https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja1\\_3.pdf/73cc5a01-72ce-42d4-ab46-dc1a93300f9](https://www.stuk.fi/documents/12547/494524/kirja1_3.pdf/73cc5a01-72ce-42d4-ab46-dc1a93300f9). Hakupäivä: 20.3.2018
13. SSAB Raahen menettelyohje KPP010M.
14. SSAB Raahen 2014. Menettelyohje KPP001M.
15. Suomen standardisoimisliitto 2018. SFS-En ISO 9001 laadunhallinta.
16. IBA -tiedonkeruujärjestelmä 2018.