



TAMPEREEN  
AMMATTIKORKEAKOULU

# UUNIEN KALIBROINTIPROSESSIN KEHITTÄ- MINEN

Standardin SAE AMS 2750E soveltaminen

Timo Mutula

Opinnäytetyö  
Tammikuu 2018  
Automaatioteknologia



## TIIVISTELMÄ

Tampereen ammattikorkeakoulu  
Automaatioteknologia ylempi AMK

Mutula Timo:  
Uunien kalibrointiprosessin kehittäminen  
Standardin SAE AMS 2750E soveltaminen

Opinnäytetyö 54 sivua, joista liitteitä 12 sivua  
Tammikuu 2018

---

Työn tavoitteena on kartoittaa Rolls-Roycen huoltomanuaaliin kuuluvan uunien kalibrointiprosessin vaatimuksia koskevan ohjeistus sisältöä, johon lukeutuu myös vaatimus standardin AMS 2750 mukaisesta järjestelmästä. Patrian Engines-yksikössä on useita erilaisia uuneja lämpökäsittelyä ja muita lämmitystä vaativia toimenpiteitä varten. Tarkoitus ei ole toteuttaa vaatimukset täyttävää kalibrointijärjestelmää kaikkien uunien kohdalla, vaan selvittää uunit joiden kohdalla se olisi mahdollista toteuttaa ja tehdä kunkin uunin kohdalle soveltuva luokitus ja selvitys sen vaatimista toimenpiteistä.

Tämän työn ohella saatettiin loppuun Engines-yksikössä käytössä olevan lämpökäsittelyuunin U1 vaatimusten mukaisen kalibrointiprosessin toteuttaminen. Järjestelmän toteutus vaati standardin soveltamista tietyiltä osin, sillä standardi on suunnattu isompien tuotantolaitosten käyttöön ja sitä on vaikea käyttää sellaisenaan suhteellisen pienillä tuotantomäärillä. Osin myös standardin sisältämien vaatimusten kyseenalaistamisen oli tarpeen ja tässä hyödynnettiin Engines-yksikön pitkää kokemusta uunien ja mittavälineiden kalibroinnista sekä tietoa ilmailualan yleisistä kalibrointikäytännöistä.

Useimpien uunien kohdalla oli mahdollista luoda toteuttamiskelpoinen ehdotus uunin päivittämisestä vaatimusten tasalle. Ainakin yhdelle uunille toteutetaan vaaditut toimenpiteet mahdollisimman pian ja muiden uunien kohdalla tiedoista on apua päätöksen tekemiseen. Joidenkin uunien kohdalla prosessi vaatisi uunille niin mittavat muutostyöt ja raskaan kalibrointiprosessin, ettei nykyistä järjestelmää kannata muuttaa.

## **ABSTRACT**

Tampere University of Applied Sciences  
Master of engineering  
Automation technology

Mutula Timo:  
Improvement of the furnace calibration process  
Application of the standard SAE AMS 2750E

Master's thesis 54 pages, appendices 12 pages  
January 2018

---

The goal of this thesis is to survey Rolls-Royce engine overhaul manual instructions regarding heat treatment oven's calibration process. It includes requirement that the calibration process is according to standard AMS 2750 latest version (E). Patria aviation's Engines-division has several different kinds of heat treatment furnaces and ovens that are included to the range of requirements. It is not necessary to take the calibration process in action with all heat treatment furnaces in use, but it is worthwhile to survey their applicability and make an implementation plan.

While making this thesis the new calibration process for the heat treatment furnace U1 was introduced. Application of the new calibration process required some mitigation with certain requirements because the standard is targeted to larger scale manufacturing and it's not practical to implement it for the needs of a smaller production facilities. Few of the requirements were found to be inconsistent and in need of rationalizing. Knowledge and experience of the heat treatment ovens and the general calibration methods that are used in the aviation industry were used as a guideline to decide the best practical process.

Most of the furnaces and ovens were found to be suitable for the requirements of the calibration process. It is planned that at least one paint drying oven will be updated to match the standard requirements as soon as possible. The information that this thesis gathers will be useful when deciding how to proceed with the other ovens. With some of the ovens it is not going to be worthwhile to update the calibration process.

---

Key words: pyrometry, heat treatment, furnace, oven, calibration

## SISÄLLYS

1	JOHDANTO.....	7
2	UUNIEN KALIBROINTIPROSESSI YLEISESTI.....	9
2.1	Kalibrointi .....	9
2.2	Instrumentit .....	9
2.3	Lämpötilan mittaaminen .....	11
2.4	Lämpötilan tasaisuusmittaus TUS .....	12
2.5	Järjestelmän tarkkuusmittaus SAT .....	13
2.6	Lämpöanturien kalibrointi .....	14
2.7	Kalibrointitulosten käsittely.....	15
3	STANDARDIN ERITYISVAATIMUKSET.....	16
3.1	Termoparien luokittelu .....	16
3.1.1	Termoparien soveltuvuus AMS2750-mukaisesti.....	17
3.2	TUS-mittauksen vaatimukset.....	20
3.3	SAT-mittauksen vaatimukset.....	22
3.3.1	Ennakoiva huolto-ohjelma .....	23
3.3.2	Vaihtoehtoinen SAT-prosessi .....	24
3.3.3	SAT-mittauksesta luopuminen.....	25
3.4	Mittausinstrumenttien vaatimukset.....	26
3.4.1	Instrumentointivaatimus 1 (tyypit A, B, C, D, E).....	26
3.4.2	Instrumentointivaatimus 2 (tyypit A, B, C, D) .....	27
3.4.3	Instrumentointivaatimus 3 (tyypit A, C).....	27
3.4.4	Instrumentointivaatimus 4 (tyypit A, B).....	27
3.4.5	Instrumentointivaatimus 5 (tyypit A, B, C, D) .....	27
3.5	Instrumentointityypin määrittely .....	28
3.5.1	Instrumenttien yleiset vaatimukset.....	28
3.6	Kalibrointimittalaitteiden kalibrointi .....	30
4	STANDARDIN VAATIMUSTEN SOVELTAMINEN.....	31
4.1	Standardin tulkintaan perustuvat poikkeamat.....	32
4.2	Vaatimusten toteutus lämpökäsittelyuunille U1 .....	34
4.3	Tulokset ja vaatimusten soveltaminen muille uuneille.....	37
4.4	Rolls-Roycen ohjeistuksen vaatimukset .....	39
5	POHDINTA.....	41
	LÄHTEET.....	43
	LIITTEET .....	44
	Liite 1. SAT-vaatimustaulukko, [AMS 2750E] .....	44
	Liite 2. Uunin U1 luokittelu ja kalibrointivaatimukset .....	45

Liite 3. Suositus uunien luokittelusta ja kalibrointivaatimukset	1(10).....	46
--	------------	----

**LYHENTEET JA TERMIT**

AMS	Aerospace material specification
FINAS	Finnish accreditation service
VTT Mikes	Valtion teknologian tutkimuskeskus, Mittatekniikan keskus
RR	Rolls-Royce
RTD	Resistance temperature detector
SAE	Society of automotive engineers, Yhdysvaltalainen standardointijärjestö
SAT	System accuracy test
TUS	Temperature uniformity survey
% rdg	Prosenttia lukemasta

## 1 JOHDANTO

Patria Aviation Oy tuottaa pääasiassa ilma-alusten huoltotoimintaa Suomen Ilmavoimille. Patrian Engines – yksikkö sijaitsee Nokian Linnavuorella ja on keskittynyt nimensä mukaisesti erilaisten moottoreiden huolto- ja korjaustoimintaan. Yksikössä huolletaan Ilmavoimien lentokoneiden kaasuturbiineja, johon olennaisena osana kuuluu myös moottorien koekäyttäminen. Ilmailualan huoltovaatimukset ovat tarkkaan säädetyjä ja niin myös kaasuturbiinien huoltotoiminta. Niinpä moottorien huoltoon liittyy paljon erilaisten osakokoonpanojen testauksia, määryksiä ja kelpoisuusvaatimuksia.

Osana kaasuturbiinien huoltotoimiin kuuluu moottorin osien mekaaninen työstäminen, hitsaaminen, juottaminen ja erilaiset muut toimenpiteet, jotka vaativat metalliosien lämpökäsittelyä. Näitä käsittelyjä varten Engines-yksikössä on useita erilaisia lämpökäsittelyuuneja, joiden ominaisuudet poikkeavat toisistaan mm. toimintalämpötilan, tilavuuden ja käytettävän väliaineen mukaan. Useimmat uuneista ovat väliaineeltaan ilmauuneja, mutta valikoimaan kuuluu myös tyhjiö- sekä fluoridipuhdistusuunit. Toisaalta käytössä on myös useita osien sovitusuuneja sekä kuivausuuneja, joiden ei monesti käyttötarkoituksensa takia ajatella tarvitsevan erityisiä tarkastustoimia.

Jokaisen käytössä olevan uunin tarkastus on kuitenkin tarkkaan määritelty ja sisältää kullekin uunille tietyt tarkastustoimet. Yleisimmin suoritettava tarkastus on uunin lämpötilanäytön tarkkuuden toteaminen erillisillä tarkastusmittavälineillä. Tarkastuksia kutsutaan kalibroinneiksi ja niiden useimmiten uuneilla käytetty tarkastusintervalli on 6 kuukautta.

Patrialla käytössä olevien uunien kalibroittoiminta on jo pitkän aikaa ollut varsin kattavan valvonnan piirissä ja huomioinut hyvin uunien käyttötarpeen. Ilmailualalla kuitenkin yleistyy vaatimus lämpökäsittelyuunien kalibroittoimia koskevan AMS2750-standardin vaatimusten noudattamisesta ja sen toteutus voi olla erittäin haasteellista. Rolls-Royce on yksi Patrian asiakkaista ja asettanut standardin noudattamisen vaatimuksena alihankkijoilta tilatuille töille. Koska kalibroittoivaatimukset voivat edellyttää huomattavia uudistuksia käytössä oleviin vanhoihin uuneihin, ei niitä välttämättä ole mahdollista tai käytännöllisesti katsoen järkevää toteuttaa kuin tietyille tarpeelliseksi katsotuille uuneille. Standardi on osin tulkinnanvaraista ja monet vaatimuksista tuntuvat liioitelluilta, joten

vaatimusten soveltaminen suhteellisen pienen tuotantolaitoksen käyttöön vaatii perusteellista selvitystyötä.

Tämän työn tarkoituksena on käydä läpi Rolls-Roycen oman huolto-ohjeen ja AMS2750-standardin vaatimuksia, jotta saadaan muodostettua parempi kokonaiskuva siitä mitä vaatimukset tarkalleen ottaen ovat ja voidaanko nykyisillä uuneilla saavuttaa vaadittu taso. Tietynlaiselle kokonaiskuvalle ja selkeästi taulukoidulle vaatimusluettelolle on tarvetta, koska nykyisellään vain yhden uuneista voidaan katsoa täyttävän vaatimukset ja tiedossa on tarve useamman uunin saattamiseksi vaatimusten mukaiseksi. Koska standardi sisältää uuneille ja niiden instrumenteille erilaisia luokituksia, jotka johtavat erilaisten kalibrointijaksojen ja erityispiirteiden määrittämiseen kullekin uunille tapauskohtaisesti, on standardin vaatimuksista erittäin vaikeaa tehdä yleispäteviä ohjeita.

Kaikkia standardissa esitettyjä uunityyppejä ei käsitellä, koska työn pyrkimyksenä on kartoittaa vain Patrian Engines-yksikön käytössä olevien uunien soveltuvuutta vaatimusten mukaisiksi. Näin ollen työssä ei käsitellä esimerkiksi jatkuvasyöttöisiä, laboratorio- tai kylpytyyppisiä uuneja.

Markkinoilla on myös olemassa valmiita standardin vaatimukset täyttäviä uuneja, mutta ne ovat hyvin arvokkaita ja käytännössä tällaisen uunin hankkiminen ei ole ratkaiseva tekijä. Standardin vaatimusten mukainen kalibrointiprosessi täytyisi joka tapauksessa ottaa käyttöön ja sen hallitseminen vaatii standardin perusteellista ymmärtämistä.

Työn tavoitteena oli siis selvittää standardin vaatimusten erityispiirteet juuri Engines-yksikön käytössä olevien uunien kohdalla, koska yksikössä on selkeä tarve kahdelle standardin vaatimusten mukaiselle uunille. Työn aikana yhden uunin päivitys saatiin onnistuneesti vietyä loppuun ja selvityksen ansiosta voitiin aloittaa myös maalaus-uunin kalibrointiprosessin päivittäminen. Muiden uunien kohdalla tuloksista on suuri hyöty, kun arvioidaan, onko tiettyä uunia mahdollista saattaa vaatimusten mukaiseksi. Samalla pystytään myös arvioimaan muutoksen vaatimia kustannuksia. On oletettavissa, että jatkossa myös muita uuneja päivitetään vaatimusten tasolle ja selvityksen ansiosta kynnyksen niiden päivittämiselle on matalampi.



## 2 UUNIEN KALIBROINTIPROSESSI YLEISESTI

### 2.1 Kalibrointi

Kalibroinnilla tarkoitetaan minkä tahansa mittavälineen mittaustarkkuuden varmistamista, joka käytännössä tarkoittaa vertaamista tarkemmaksi tiedetyn mittavälineen lukemaan. Koska vertailuun käytettävän mittavälineen on oltava aina tarkempi kuin tarkastelun alainen mittalaite, on myös se tietyin väliajoin kalibroitava ja tämä mittausetju johtaa lopulta mittaustalaboratorion kautta kansallisesti ylläpidettävään tarkkuuteen. Tätä tarkastusketjua nimitetään jäljitettävyydeksi ja Suomessa sen korkein taso on mittalaitetekniikan keskus Mikes.

Kansallisen mittanormaallaboratorion tehtävänä on ylläpitää kansallista mittanormaalia ja sen jäljitettävyyttä sekä siirtää sen kautta mittayksikkö muihin mittanormaaleihin. Lisäksi sen tulee hoitaa kansallisten mittanormaalien ylläpitoon ja kehittämiseen liittyvää mittatieteellistä tutkimusta, osallistua kansainvälisiin vertailumittauksiin ja muuhun kansainväliseen yhteistyöhön sekä toimia asiantuntijana pätevyysalueellaan. (VTT Mikes)

Kansalliseen kalibrointipalveluun kuuluvia tehtäviä hoitavat FINASin päteväksi toteamat kalibrointilaboratoriot. Akkreditoitujen kalibrointilaboratorioiden avulla voidaan antaa virallisia kalibrointitodistuksia pätevyysalueellaan tekemistään kalibroinneista. Akkreditointi eli pätevyyden toteaminen, on kansainvälisiin kriteereihin perustuva menettelytapa, jonka avulla toimijan pätevyys ja sen antamien todistusten uskottavuus voidaan luotettavasti todeta. (FINAS)

### 2.2 Instrumentit

Uunien kalibrointiprosessiin liittyen instrumenteilla tarkoitetaan lähinnä sähköisiä mittaustalaitteita ja niihin lukeutuvat sekä erilaiset anturit että näyttölaitteet. Uuneilla käytettävistä instrumenteista vähimmäisvaatimuksena tarvitaan aina lämpötilansäädin sekä siihen liittyvä lämpöanturi. Lämpötilan säätimen tehtävänä on mitata prosessin lämpötilaa ja verrata sitä asetusravoon, jonka perusteella säädin ohjaa uunin lämmitysvastuksille syötettävää tehoa. Käytössä on myös mekaanisesti toimivia lämpötilansäätimiä, joita käytetään lähinnä yksinkertaisissa lämmitysuuneissa, joissa lämpötilan tarkkuudelle ei ole asetettu kovin tarkkoja vaatimuksia ja käyttölämpötila on yleensä suhteellisen matala.

Usein näilläkin uuneilla on lisäksi myös elektroninen lämpötilänäyttöä, josta uunin lämpötila voidaan varmistaa.

Säätimen lisäksi uunilla tulisi aina olla erillinen ylikuumenemissuoja, jolla on oma lämpötila-anturinsa. Ylikuumenemissuoja voi olla myös yksinkertainen mekaanisesti toimiva katkaisija, mutta useimmiten se on elektroninen mittalaite, jolla on säädettävissä oleva katkaisuraja. Säätöarvon ylityttyä ylikuumenemissuojan pitää suoraan tai välillisesti katkaista uunin lämmitysvastuksille syötettävä teho. Yksinkertaisissa uunisovelluksissa lämpötilan tehonsyöttö palaa ennalleen lämpötilan laskettua raja-arvon alle, mutta lämpökäsittelyuuneissa käytössä on useimmiten aina järjestelmää, joka vaatii myös vian kuittamisen ennen kuin tehonsyöttö palautuu.

Lämpökäsittelyuuneilla tehtäville käsittelyille on yleensä asetettu tiettyjä vaatimuksia lämpötilan tarkkuuden ja käsittelyajan suhteen, joten usein on tarpeen tallentaa käsittelyn kulku jollain tavalla. Perinteisesti tähän on käytetty sähkömekaanisia piirtureita, jotka mittaavat prosessin lämpötilaa yhdellä tai useammalla lämpöanturilla ja piirtävät mittaus-tuloksen paperille. Sähkömekaanisten piirturien ongelmana on musteen kuivuminen, mekaanisen piirtopään takeltelu ja tuloksen lukutarkkuus paperilta. Nykyisin käytössä on niin sanottuja paperittomia piirtureita, jotka suorittavat saman tehtävän tulostamalla mit-taustulokset näytölle ja tallentamalla ne samalla myös muistiin. Paperittomat piirturit ovat siis näytöllä varustettuja dataloggereita, joiden mittaustarkkuus on yleensä merkittävästi vanhoja sähkömekaanisia piirtureita parempi ja käsittelyn tuloksia voi halutessaan tarkas-tella myös tietokoneella.

Jotkut erikoisemmat lämpökäsittelyt suoritetaan tyhjiössä tai tietyntylaisessa väliaineessa ja paineessa, jolloin tarvitaan erityinen uuni, joka on tähän tarkoitukseen tehty. Uunin käsittelytilan tulee olla sijoitettuna paineenkestävään ja tiiviiseen astiaan. Lämpökäsitte-lyn onnistumiselle on asetettu tietyt painerajat, joten myös paineen mittaamiselle tulee olla omat instrumenttinsa. Tyhjiöuunin kohdalla asiaan voi kuulua myös ajoittainen vuo-tomittausten tekeminen.

Lämpökäsittelyuunien lämpötilaa mittaavat näyttölaitteet kalibroidaan aina määrätyn ka-librintijakson mukaisesti, mutta yksinkertaisemmissa uunisovelluksissa näyttölaitteiden kalibrointi ei ole välttämätöntä. Instrumenttien kalibroinnilla tarkoitetaan lämpöanturien

simulointia, jossa mittalaitteeseen kytketyn anturin tilalle kytketään lämpötilakalibraattori, jolla on mahdollista syöttää halutut lämpötila-arvot mittalaitteelle ja näin tarkastaa mittalaitteen näyttämän tarkkuus. Tulokset kirjataan pöytäkirjaan ja säätimen sekä piirturin virhelukemia voidaan tarvittaessa hyödyntää järjestelmän tarkkuutta kuvaavan SAT-mittauksen tulosten korjaamiseen.

### 2.3 Lämpötilan mittaaminen

Uunien lämpötilan mittaamiseen on olemassa kaksi hieman toisistaan poikkeavaa mitaustekniikkaa. RTD-tyyppisten antureiden toiminta perustuu lämpötilan mukaan muutuvaan resistanssiin, jota mitataan pienen vakiosähkövirran ja anturin aiheuttaman jännitehäviön avulla. Esimerkkinä RTD-antureista on Pt100-lämpöanturit ja termistorit. RTD-anturit ovat hyvin tarkkoja, mutta eivät yleisesti ottaen sovellu lämpökäsittelyuunien korkeisiin käyttölämpötiloihin.

Uuneissa yleisimmin käytettävä lämpötilan mittaustapa on termopari. Sen toiminta perustuu niin kutsuttuun Seebeck-efektiin, jossa kahdesta eri metallista tehdyn liitoksen muodostama anturi tuottaa lämpötilaan verrannollisen pienen potentiaalieron, eli jännitteen. Yleisesti jännitteen oletetaan syntyvän kahden metallin liitospisteessä, mutta tarkalleen ottaen johtimissa asteittain muuttuva lämpötilaero anturin liitoskohdasta sen mittauspisteeseen, asti synnyttää jännite-eron. (Beamex) Termoparin anturipäätä kutsutaan kuumaksi pisteeksi ja vastaavasti mittalaitteeseen kiinni kytkettävien johtimien päätä sanotaan kylmäksi pisteeksi.

Termoparianturien etuna on se, että ne ovat yksinkertaisia, edullisia, kestävät korkeita lämpötiloja ja niitä on suhteellisen helposti saatavissa. Termoparit eivät kuitenkaan toimi tarkasti ilman niiden mittaamiseen soveltuvaa mittalaitetta, koska jännitemittauksen lisäksi laitteen pitää samanaikaisesti mitata termoparijohtimien ja mittavälineen liitosrajapinnan lämpötilaa ja kompensoida sen vaikutus pois mittaustuloksesta. Mittavälineitä on kuitenkin markkinoilla runsaasti ja ne ovat edullisia. Olennaista termoparien käytössä on tiedostaa kunkin termoparityypin vaativan oman tyyppinsä mukaiset jatkojohtimet, eli niin sanotut kompensointijohtot, sekä liittimet. Termoparin toiminta perustuu kahden tarkasti määritetyn metallin liitospisteeseen synnyttämään sähkömotoriseen voimaan ja jos kytkentään sekoitetaan mukaan muita metalleja, syntyy myös niiden vaikutuksesta omat sähkömotoriset voimansa ja se muuttaa mittaustulosta.

## 2.4 Lämpötilan tasaisuusmittaus TUS

Tärkein uunin toimintaa mittaava tarkastus on lämpötilan tasaisuusmittaus, jonka aikana uunin todellista lämpötilaa mitataan erillisillä kalibrointi-antureilla ja kalibrointi-mittavälineellä. Lämpötilan tasaisuusmittauksesta käytetään nimitystä TUS, joka tulee sanoista temperature uniformity survey. TUS-mittauksessa uuniin asetetaan uunin käyttötilavuuden perusteella ennalta päätetty määrä kalibroituja lämpöantureita, jotka sijoitetaan määrättyihin paikkoihin. Pienissä osien sovitusuuneissa käytetään yleensä vain yhtä kalibrointianturia, mutta lämpökäsittelyuuneissa mitataan samanaikaisesti yhdeksääkin anturia.

TUS-tarkastuksen aikana uuni lämmitetään uunin todellisia käyttölämpötiloja vastaaviin lämpötilapisteisiin ja riittävän pitkän tasaantumisaajan jälkeen uunin lämpötila mitataan kalibrointiantureilta erityisellä lämpötilan kalibrointiin tarkoitetulla mittalaitteella ja verrataan sitä uunin omien instrumenttien lukemiin. Riittävä tasaantumisaika on suhteellinen käsite ja tarvittu tasaantumisaika on riippuvainen myös uunin ominaispiirteistä. Standardin mukaan tasaantumisaika alkaa siitä, kun TUS-mittauksessa kaikki anturit ovat saavuttaneet tavoitelämpötilalle määritetyn toleranssialueen ja tasaantumisen tulisi kestää vähintään 30 minuuttia. Koska aikaa ei ole sen tarkemmin määritelty ei tasaantumisaajan alkuhetkeä yleensä sen tarkemmin seurata vaan lämpötilan annetaan tasaantua riittävän pitkän ajan.

Kalibrointianturien kalibrointituloksia hyödynnetään uunin kalibrointitulosten korjaamiseen, eli kunkin anturin tiettyä lämpötilaa koskevaa virhelukemaa voidaan etumerkkiä vaihtamalla käyttää uunin kalibroinnissa mitatun lämpötilalukeman korjaamiseen. Näin uunin kalibroinnissa saadut tulokset ovat aina mahdollisimman todenmukaisia lämpötiloja. Taulukossa 1 on esimerkkinä kahden kalibrointianturin kalibrointitulosten hyödyntäminen TUS-mittauksen tulosten korjaamisen. Taulukon yläosassa nähdään anturien kalibrointipöytäkirjasta saadut anturien mittausvirheet lämpötilapisteessä 800,0 °C. Alempana uunin mittaustulosten kirjaamisessa virhelukemaa käytetään korjauksena todellisen lämpötilan selvittämiseksi. Korjatun mittaustuloksen perusteella todetaan uunin lämpötilan tarkkuus ja se voi olla ratkaiseva tekijä uunin TUS-tarkastuksen hyväksymiselle.

TAULUKKO 1. Anturien kalibrointitulosten korjauslukemien hyödyntäminen

Referenssianturi / °C	Anturi 1 / °C		Anturi 2 / °C	
	Mittaustulos	Virhe	Mittaustulos	Virhe
800,0	798,9	-1,1	800,9	+0,9

Uunin kalibrointipöytäkirja	Anturi 1: sijainti XY / °C	Anturi 2: sijainti ZX / °C
Mittaustulos	798,8	803,2
Anturin korjauslukema	+1,1	-0,9
Korjattu mittaustulos	799,9	802,3

## 2.5 Järjestelmän tarkkuusmittaus SAT

Järjestelmän tarkkuusmittaus on standardissa vaadittu tarkastusmenetelmä, jonka suorittamiseksi saatetaan usein joutua tekemään muutoksia uunin anturointeihin. Järjestelmän tarkkuusmittauksesta käytetään nimitystä SAT, joka tulee sanoista system accuracy test. SAT-mittauksella tarkoitetaan lämpötilan säätimen (tai piirturin) ja siihen kytketyn lämpöanturin muodostaman mittaustuloksen vertaamista rinnakkaisen kalibroidun järjestelmän mittaustulokseen. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että säätimen anturin mittapään lähietäisyydelle asetetaan toinen kalibroitu lämpöanturi, jonka tuottama lämpötilatieto luetaan kalibrointimittalaitteella ja tuloksia verrataan keskenään.

SAT-Mittauksen haasteena on ylimääräisen anturin sijoittaminen mahdollisimman lähelle säätimen anturin mittapäätä, sillä standardissa määrätty maksimietäisyys anturien välille on vain 76 mm. Jos säätimen anturi on mahdollista korvata kaksoisanturilla, jossa on SAT-mittaukseen tarvittava anturi saman kuoren sisällä, on kalibrointianturi aina paikallaan, joten SAT-mittauksen voi tehdä milloin vain. Standardi käyttää tällaisesta mallista nimitystä kiinteä SAT-mittausanturi. Jos säätimen anturi malliltaan on sellainen, ettei kaksoisanturin käyttäminen ole mahdollista, on SAT-anturi jollain keinoin vietävä säätimen anturin läheisyyteen.

Järjestelmän tarkkuudelle on asetettu uunin luokitukselta riippuen erilaisia hyväksymisrajoja, joista on kerrottu tarkemmin jäljempänä. Järjestelmän tarkkuusmittausta ei aiemmin ole käytetty Engines-yksikön uunien kalibroinnissa.

## 2.6 Lämpöanturien kalibrointi

Uunien muut instrumentit voidaan kalibroida paikoillaan, mutta antureita ei voi kalibroida ilman tarkkaa laboratoriouunia, joten antureiden kalibrointi täytyy suorittaa asianmukaisessa mittauslaboratoriossa. Patrialla vaatimuksena on käyttää vain akkreditoituja mittauslaboratoriota, joita on lämpötilasuureillekin Suomessa käytettävissä muutamia vaihtoehtoja.

Useimmiten uunien omia antureita ei erikseen kalibroida, koska niiden toiminta ja tarkkuus todennetaan uunin kalibroinnin yhteydessä. Siksi ulkopuolisissa kalibroinneissa käytetään yleensä vain TUS- ja SAT-tarkastuksessa käytettävät kalibrointianturit, mutta AMS2750-standardin vaatimusten myötä myös osa uunin käytössä olevista antureista täytyy kalibroida. Ylikuumenemissuojan anturia tämä ei koske, mutta joissain tapauksissa säätimen sekä piirturin anturit tulee olla kalibroinnin piirissä. Usein vaatimus tosin täytyy tehdä vain ennen anturin käyttöönottoa. Standardi määrittelee näiden anturien tarkkuudelle vaatimusrajan uuniluokan perusteella.

TUS- ja SAT-mittauksiin käytettävien kalibrointianturien kalibrointituloksia hyödynnetään aina, sillä kalibrointipöytäkirjoista saadaan tietää kunkin anturin virhelukema tietyssä lämpötilapisteessä. Tätä tietoa käytetään korjauslukemana uunin kalibroinnin yhteydessä, kun mitataan vastaavia lämpötiloja. Uunin käytössä olevien anturien kalibrointituloksista voidaan vain todeta virheen suunta ja suuruus, mutta tietoa ei voida varsinaisesti hyödyntää, koska lämpötilan säätimelle tai piirturille ei voida syöttää useita erilaisia korjauslukemia. Lämpötilansäätimessä voidaan tosin käyttää manuaalista offset-säätöä, mutta se ei ole suositeltava tapa.

Uunilla käytettävien kuorma-anturien täytyy standardin mukaan aina olla kalibroituja. Antureille sallittuun käyttöaikaan vaikuttaa termoparityyppi, anturin rakenne sekä käytettävät lämpötilat. Edullisten perusmetallitermoparien käyttöä on rajoitettu eniten, kun taas jalometallisten anturien käyttö sallitaan yleensä jatkuvasti, kunhan niitä kalibroidaan uudelleen.

Antureille on useita nimityksiä eri käyttötarkoituksen mukaan ja standardin sisällöstäkin on olla vaikea määritellä esimerkiksi mikä erottaa toisistaan kuorma-anturin, tarkkailuan-

turin ja tallennusanturin. Standardin alussa oleva termiluettelo määrittelee kuorma-anturiksi vain sellaisen anturin, joka on fyysisesti kosketuksessa uunissa lämmitettävän tuotantomateriaalin tai sen lämpöominaisuuksia vastaavaan elementin kanssa. Tämä erottaa kuorma-anturit tarkkailu- ja tallennusantureista, joita ei kiinnitetä kuormakappaleeseen. Näillä kahdella anturilla on omat selityksensä standardin termiluettelossa, mutta niiden välistä eroa ei kuitenkaan erikseen selitetä ja niillä ilmeisesti tarkoitetaan hyvin samankaltaista asiaa, joten tässä työssä näistä antureista käytetään vain nimitystä tarkkailuanturi.

## **2.7 Kalibrointitulosten käsittely**

Kalibrointiin olennaisena osana kuuluu mittaustulosten kirjaaminen pöytäkirjaan ja pöytäkirjan tallentaminen mittalaiterekisterin avulla ylläpidettyyn järjestelmään. Standardi määrittelee erittäin tarkkaan mitä tietoja pöytäkirjasta ja hyväksytyyn kalibroinnin merkiksi laitteeseen asetettavasta kalibrointitarrasta tulee löytyä. Engines-yksikössä käytössä olevassa kalibrointiprosessissa on jo ennalta hyvin tarkkaan määritelty ne tiedot ja asiat, jotka pöytäkirjoista tulee ilmetä. Järjestelmä on todettu toimivaksi, joten standardin näihin osiin ei katsota olevan tarvetta syventyä tarkemmin. Myös standardissa esitetty vaatimus kalibrointipöytäkirjojen tallentamisesta ja säilyttämisestä tietyn mittaisen ajanjakson yli on lyhyempi kuin Patrialla käytössä oleva vaatimustaso.

### 3 STANDARDIN ERITYISVAATIMUKSET

#### 3.1 Termopariien luokittelu

Termoparityyppejä on useita ja niiden herkkyydet ja toimintalämpötilat poikkeavat toisistaan, jonka vuoksi ne soveltuvat hieman erilaisiin käyttötarkoituksiin. Termoparin kahden eri metallin synnyttämästä potentiaalierosta voidaan aina päätellä anturin kuuman pisteen lämpötila, kunhan tunnetaan termoparin tyyppi. Taulukosta 2 nähdään yleisimmät termoparityypit ja niiden valmistusmateriaalit. Taulukon kolmen ylimmän rivin termoparityyppien materiaaleista voidaan huomata niiden sisältävän hyvin samantyyppisiä aineita. Näitä termopareja kutsutaan jalometallitermopareiksi. Ne ovat hinnaltaan tavallisia termopareja arvokkaampia, mutta toisaalta myös kestävätkä käytössä muita tyyppejä paremmin lämpötilanmuutoksia. Jalometallitermopariien tuottama termoparijännite on huomattavasti pienempi kuin taulukon muilla tyypeillä ja ne ovat myös vakaampia käytössä.

Taulukko 2. Termoparityyppien valmistusmateriaalit ja soveltuvuus

<b>Tyyppi</b>	<b>Johdin +</b>	<b>Johdin -</b>	<b>Käyttöalue °C</b> <b>ASTM E230</b>	<b>Tarkkuus</b> <b>ASTM E230</b>
<b>B</b>	70% Platinum 30% Rhodium	96% Platinum 6% Rhodium	800 - 1700	0,5 %
<b>R</b>	87% Platinum 13% Rhodium	Platinum	0 - 1450	1,5 °C tai 0,25 %
<b>S</b>	90% Platinum 10% Rhodium	Platinum	0 - 1450	1,5 °C tai 0,25 %
<b>E</b>	Chromel	Constantan	0 - 900	1,7 °C tai 0,5 %
<b>J</b>	Iron	Constantan	0 - 750	2,2 °C tai 0,75 %
<b>K</b>	Chromel	Alumel	0 - 1250	2,2 °C tai 0,75 %
<b>N</b>	Nicrosil	Nisil	0 - 1300	2,2 °C tai 0,75 %
<b>T</b>	Copper	Constantan	0 - 350	1,0 °C tai 0,75 %

Termopariien valmistusmateriaalilla voi olla myös vaikutusta uunilla käsiteltävään tuotteeseen esimerkiksi hapettumista ehkäisevänä tai edistävänä aineena. Tästä ei standardissa ole erillistä mainintaa, mutta se on varmasti standardin määrittelemissä käyttörajoituksissa eri termoparityypeille huomioitu.



### 3.1.1 Termoparien soveltuvuus AMS2750-mukaisesti

Standardi jaottelee erilaiset termoparit tyyppien lisäksi myös niiden rakenteen mukaan kertakäyttöisiin ja ei-kertakäyttöisiin termopareihin. Nimestään huolimatta kertakäyttöisen termoparin käyttö ei välttämättä rajoitu vain yhteen ainoaan käyttökertaan, sillä se riippuu käytettävästä lämpötilasta ja siitä mihin mittaukseen anturia käytetään.

Kertakäyttöisellä termoparilla tarkoitetaan esimerkiksi lasikuidulla tai muovilla eristettyjä termoparilankoja ja ne ovat yleensä ohuita ja helposti taivuteltavissa. Kertakäyttöistä anturilankaa toimitetaan kelatavarana, josta katkaistaan itse halutun mittaisia anturilankoja. Langan päät kuoritaan ja kahden metallin yhdistäminen pitää tehdä kuumalla liekillä sulattamalla lankojen päät toisiinsa. Etuna kertakäyttöantureissa on se, että koko kelallisen termoparilankaa voi kalibroida ennen käyttöönottoa langan molemmista päistä otetuilla näytteillä, jonka jälkeen kelan katsotaan olevan kalibroitu ja käyttökelpoista anturimateriaalia. Anturilangan ei myöskään katsota vanhentuvan ollessaan kelalla, eli käyttöaika lasketaan alkavan siitä hetkestä, kun langasta tehdyt anturit otetaan uunille käyttöön.

Ei-kertakäyttöisellä termoparilla tarkoitetaan mineraali- tai keraamisputkeen eristettyjä termopareja, jotka ovat rakenteellisesti paremmin suojattuja. Mineraalieristeiset termoparit muistuttavat paksua metallilankaa ja ovat yleensä taivuteltavia. Itse termopari on sijoitettu metallivaipan sisään ja eristetty mineraalikerroksella. Keraamiseristeiset termoparit ovat yleensä paljaita termoparilankoja, jotka on sijoitettu keraamisen suojavaipan sisään. Oma erikoistapauksensa on tyhjiöuunilla käytettävät anturit, joissa termoparianturin liitoskohta on tuotu esiin keraamisen suojavaipan päästä, jotta lämpösäteily pääsee vaikuttamaan siihen. Näiden anturien kohdalla on vältettävä koskemasta termopariliitosta paljain käsin ja lasketaan mukaan ei-kertakäyttöisiin antureihin.

Taulukkoon 3 on standardista hieman yksinkertaistaen tuotu taulukko uuneilla käytettävien anturien käyttörajoituksista eri käyttökohteiden mukaan. Taulukon vasemmassa laidassa on anturien käyttökohteet TUS-mittaus, SAT-mittaus ja kuorma-anturi. Seuraavassa sarakkeessa anturit jaetaan perusmetallisiin ja jalometallisiin, jonka jälkeen taas kertakäyttöisiin ja ei-kertakäyttöisiin. On helppo todeta, että esimerkiksi kertakäyttöisiä perusmetallitermopareja ei koskaan saa uudelleen kalibroida ja niiden uudelleenkäyttökin vaatii tarkkaavaisuutta, koska käyttökerrat pitää laskea.

Taulukko 3. Tarkastuksessa käytettävien termoparien käyttörajoitukset

Anturin käyttötarkoitus	Anturin tyyppi	Käyttömuoto	Uudelleenkalibrointi	Uudelleenkäyttö
TUS-anturi	Perusmetalli	Kertakäyttöinen	Ei sallittua	U-kaava < 30
		Ei-kertakäyttöinen	J & N: 3 kk välein E & K: 3 kk välein, kun <260 °C	Jos < 650 °C: 90 käyttökertaa tai 3 vuotta 3.1.3.4 & 3.1.3.5
	Jalometalli	Kertakäyttöinen	6 kk välein	Ei rajoituksia
		Ei-kertakäyttöinen		
SAT-anturi irrotettava	Perusmetalli	Kertakäyttöinen	Ei sallittua	U-kaava <30
		Ei-kertakäyttöinen	J & N: 3 kk välein E & K: 3 kk välein, kun <260 °C	Ei rajoituksia
	Jalometalli	Kertakäyttöinen	6 kk välein	Ei rajoituksia
		Ei-kertakäyttöinen		
SAT-anturi kiinteä	Perusmetalli	Kertakäyttöinen	Ei sallittua	N: <538 °C E, J, K, T: <260 °C
		Ei-kertakäyttöinen	3 kk välein	E, J, K, T: <260 °C
	Jalometalli	Kertakäyttöinen	6 kk välein	<538 °C
		Ei-kertakäyttöinen		Ei rajoituksia
Kuorma-anturi	Perusmetalli	Kertakäyttöinen	Ei sallittua	Rajoitettu käyttö- kertojen ja ajan mu- kaan
		Ei-kertakäyttöinen	Ei sallittua	
	Jalometalli	Kertakäyttöinen	6 kk välein	Ei rajoituksia
		Ei-kertakäyttöinen		

Taulukossa 3 kertakäyttöisten perusmetallien kohdalla mainittu U-kaava on standardissa määritetty seuraavasti:

$$U = X + 2Y$$

, jossa X = anturin käyttökertojen määrä alle 650 °C lämpötiloissa ja Y = anturin käyttö-  
kertojen määrä lämpötilavälillä 650 - 980 °C. Standardin kohdassa 3.1.3.3 kielletään  
kertakäyttöisten anturien käyttäminen sen jälkeen, kun kaavan tuloksena saadun U:n  
arvo on 30 tai suurempi.

Kertakäyttöistä perusmetallianturia on siis sallittua käyttää TUS-mittaukseen 30 kertaa  
alle 650 °C lämpötiloissa tai 15 kertaa lämpötila-alueen 650 - 980 °C lämpötiloissa, jonka

jälkeen se on poistettava käytöstä. Standardissa sanotaan lisäksi, että tällaisten anturien sallittu käyttömäärä on kuitenkin rajattu yhteen 980 °C ylittävään käyttökertaan.

Standardin kohdissa 3.1.3.4 ja 3.1.3.5 on maininnan arvoinen kohta, jossa sallitaan TUS-mittauksissa käytettäville ei-kertakäyttöisille perusmetallitermopareille 90 käyttökertaa tai 3 vuotta, jos anturia käytetään vain alle 650 °C lämpötiloissa, sille on määritetty tunnistenumero ja sen ulkokuori on vahingoittumaton. Tämä poikkeus rajaa lämpökäsittelyuunit ulkopuolelleen, mutta mahdollistaa antureille huomattavasti pidemmän käyttöiän matalampien käyttölämpötilojen uuneilla.

Käyttöikä saadaan lisättyä entisestään, kun tarkastellaan standardin seuraavaksi viitattavaan kohtaan 3.1.3.1, joka on hankalasti esitetty, mutta tulkittavissa seuraavasti. Ei-kertakäyttöisiä perusmetallitermopareja saa uudelleen käyttää TUS-mittauksissa kolmen vuoden jälkeenkin, jos niiden käyttölämpötila ei ylitä 260 °C ja niiden eristekuori on säilynyt vahingoittumattomana. Tähän sisältyvät myös K- ja E-tyypin termoparit ja huomionarvoisen asiasta tekee se, että K-tyyppi on Engines-yksikössä hyvin yleisesti käytetty termopari ja pienemmillä uuneilla käyttölämpötilat ovat usein alle asetetun raja-arvon.

Yllä mainitun huomautuksen kohdalla on standardissa myös jonkinlainen ristiriita, sillä ei-kertakäyttöisten perusmetallisten termoparien uudelleenkäyttäminen alle 650 °C lämpötiloissa on sallittu, mutta niiden uudelleenkalibrointi on kuitenkin kielletty. Käytännössä se tarkoittaisi sitä, että yli 260 °C ja alle 650 °C lämpötiloissa käytettäviä TUS-antureita ei tarvitsisi kalibroida kertakaan käyttöönoton jälkeen, kunhan niille asetetuista käyttörajoituksista (3 vuotta tai 90 käyttökertaa) pidetään kiinni ja anturit uusitaan sen mukaisesti. On kuitenkin turvallista olettaa tämän olevan virheellinen tieto ja käyttää tässäkin tapauksessa taulukon mukaisesta 3 kuukauden kalibrointijaksoa. Tiukka kalibrointi-intervalli kannustaakin käyttämään kertakäyttöisiä antureita, mutta tietyissä tapauksissa voi olla kannattavaa käyttää ei-kertakäyttöisiä antureita.

SAT-mittauksiin käytettävien anturien osalta käyttörajoitukset ovat melko selkeitä eikä niiden kohdalla ole erillisiä huomautuksia. Lisätietona SAT-anturien vaatimuksille standardi viittaa sen sisältämään taulukkoon 1, johon on koottu kaikkien käytettävien anturien tarkkuusvaatimukset. Taulukkoa ei katsottu tarpeelliseksi erikseen liittää tähän työhön, mutta työn liitteinä olevien uunikohtaisten luokitteluehdotusten sisältämät anturien tarkkuusvaatimukset on poimittu kyseisestä taulukosta.

Kuorma-anturina käytettäville ei-kertakäyttöisille perusmetallitermopareille annetaan standardissa seuraavat käyttökertarajoitukset:

- Yli 1260 °C vain kerran
- Välillä 1205 - 1260 °C 10 käyttökertaa tai 3 kk
- Välillä 980 - 1205 °C 90 käyttökertaa tai 3 kk
- Välillä 650 - 980 °C 180 käyttökertaa tai 3 kk
- Alle 650 °C 270 käyttökertaa tai 3 kk

Näistä kulutusmittareista on standardin mukaan käytettävä sitä, joka ensin tulee vastaan ja standardin kohdassa 3.1.5.3 on myös laskuesimerkkejä eri käyttölämpötilojen yhteisvaikutuksesta käyttökertojen lukumäärään. Rajoituksista on kuitenkin helppo nähdä, että Engines-yksikön tuotantomäärillä 3 kuukauden aikaraja on ensimmäisen vastaan tuleva rajoitus.

Kuorma-antureina käytettäviä kertakäyttöisiä perusmetallitermopareja saa käyttää maximissaan 30 kertaa silloin, kun niiden käyttölämpötila on alle 650 °C, jolloin ne ovat käyttökelpoisia 90 päivän ajan alkaen ensimmäisestä käyttökerrasta. Jos kuorma-anturina käytettävän anturin käyttölämpötila ylittää 650 °C on anturi nimensä mukaan kertakäyttöinen eikä sitä saa käyttää uudelleen. Huomionarvoista tässä on se, että samasta kelasta otetulla kertakäyttöisellä perusmetallianturilla on eri käyttörajoitukset riippuen siitä, käytetäänkö sitä kuorma-anturina vai kalibrointiin TUS- tai SAT-mittauksissa.

Anturien käytölle on asetettu huomattavan tiukat vaatimukset kalibrointi-intervallien suhteen, joka kuvaa hyvin standardin kireää luonnetta. Standardin määrittelemät rajat on selvästi suunnattu tuotantolaitoksille, joissa tuotantomäärät ovat suuria ja uunien käyttö jatkuva. Taulukossa 3 esitetyistä rajoituksista voidaan myös nähdä, että anturien käyttökertojen seuraaminen, kalibrointi ja uusiminen vaativat huolellista suunnittelua ja se kuormittaa sekä kalibroinneista että tuotannosta vastaavaa henkilöstöä.

### **3.2 TUS-mittauksen vaatimukset**

Uuniluokka määrittää uunin TUS-mittaukselta vaadittavan lämpötilan tasaisuuden ja kalibrointi-intervallin. Standardi ei erikseen ohjeista, miten uunin uuniluokka määritetään,

mutta olennaisin tekijä on uunin lämpötilan tasaisuus, joka täytyy olla tiedossa. Uuniluokat on määrätty numerojärjestykseen 1 - 6 niin, että alkupään luokkien vaatimukset lämpötilan tasaisuudelle ovat tiukemmat. Uuniluokan määrittelyssä täytyy siis tietää, kuinka hyvään tasaisuuteen uuni kykenee ja valita uuniluokka sitten oikeaa tasoa vastaavaksi. Valintaa ohjaa myös ulkopuolelta tulevat vaatimukset, sillä esimerkiksi Rolls-Royce ei vaatimuksissaan hyväksy uuniluokkaa 4 epätarkempia uuneja ja vaaditut luokat määräytyvät uunin käyttötarkoituksen mukaan.

Taulukko 4. TUS-mittauksen vaatimukset

Uuniluokka	Lämpötilan tasaisuusvaatimus °C	Instrumenttityyppi	Alustava TUS-intervalli	Peräkkäisten hyväksytyjen TUS-mittausten määrä	Pidennetty TUS-intervalli
1	±3	D	Kuukausittain	8	Joka toinen kk
		B, C	Kuukausittain	4	Kolmen kk välein
		A	Kuukausittain	2	Puolivuositain
2	±6	D	Kuukausittain	8	Joka toinen kk
		B, C	Kuukausittain	4	Kolmen kk välein
		A	Kuukausittain	2	Puolivuositain
3	±8	D	Kolmen kk välein	4	Puolivuositain
		B, C	Kolmen kk välein	3	Puolivuositain
		A	Kolmen kk välein	2	Vuosittain
4	±10	D	Kolmen kk välein	4	Puolivuositain
		B, C	Kolmen kk välein	3	Puolivuositain
		A	Kolmen kk välein	2	Vuosittain
5	±14	D	Kolmen kk välein	4	Puolivuositain
		B, C	Kolmen kk välein	3	Puolivuositain
		A	Kolmen kk välein	2	Vuosittain
6	±28	E	Puolivuositain	N/A	Vuosittain

Taulukossa 4 on esitetty standardin vaatimukset TUS-mittauksen tasaisuusvaatimuksille ja kalibrointi-intervalleille. Uuniluokka määrittelee toleranssin lämpötilan tasaisuudelle ja käytettävä instrumentointityyppi sen, kuinka monta hyväksytysti suoritettua TUS-mittausta pitää tehdä ennen kuin voidaan käyttää pidennettyä intervallia.

Uunin lämpötilan tasaisuutta on mahdollista parantaa esimerkiksi lämmitysvyöhykkeiden tehonsäädöllä, kiertoilmaventtiilejä säätämällä, eristeitä tai tiivisteitä parantamalla ja säätimen anturin sijoituspaikkaa muuttamalla. Uunin ominaisuuksiin ei kuitenkaan pysty

vaikuttamaan määräänsä enempää, eikä kaikista uuneista ole mahdollista tehdä vaatimusten mukaista. Tosin uuniluokka 6 tarjoaa niin väljän vaatimustason, että lähes minkä tahansa uunin voi luokitella siihen luokkaan, jos mitään ulkopuolisia vaatimuksia ei ole. Toisaalta vaikka käytössä olisi hyvinkin tarkka uuni, ei välttämättä kannata valita sen uuniluokkaa mahdollisimman tiukan vaatimuksen mukaan, jollei siihen ole erityistä syytä.

Standardin mukaan pidennetty TUS-intervalli tulee poistaa käytöstä ja palata alustavaan intervalliin, jos uunille tehdään lämpötilan tasaisuuteen vaikuttavia muutostöitä. Näitä voivat olla mm. uunin käyttölämpötila-alueen muuttaminen, lämmitysvastusten määrän tai sijainnin muutokset, kiertoilmaventtiileille tehdyt säätötoimet ja säätimen anturin sijaintiin tehdyt muutokset. Asioilla on looginen seuraussuhde lämpötilan tasaisuuteen ja on hyvin ymmärrettävää, että TUS-mittaus tulee uusia tällaisten muutosten yhteydessä. Palaaminen takaisin tiukempaan kalibrointijaksoon on kuitenkin vaikeampi perustella, sillä tehtyjen muutosten vaikutus todennetaan jo yhdellä TUS-mittauksella ja tiheämmin suoritettut TUS-mittaukset ovat vain ylimääräinen rasite uunille.

Pienimuotoisemmat korjaukset eivät standardin mukaan vaadi TUS-testin uusimista. Muutokset joita standardissa luetellaan pienimuotoisten korjausten joukkoon, ovat kuitenkin yllättävän isoja muutoksia. On perusteltua, ettei esimerkiksi uunin tiilien uusimisella tai SAT-mittauksen epäonnistumisella ole vaikutusta uunin lämpötilan tasaisuuteen, mutta on suoranainen ristiriitaisuus, että samaan joukkoon lasketaan myös säätimen tai sen anturin uusiminen, oven tiivisteiden korjaaminen ja lämmitysvastuksen korvaaminen. Näillä kaikilla on vaikutusta lämpötilan tasaisuudelle ja onkin epä johdonmukaista, että standardissa näin poiketaan muutoin niin tiukkojen vaatimustensa joukosta. Engines-yksikön käytännön mukaan edellä mainitut muutokset olisivat aina vaatineet uuden TUS-mittauksen suorittamista ja näin toimitaan jatkossakin, vaikka uuni olisi muutoin standardin vaatimusten mukainen.

### **3.3 SAT-mittauksen vaatimukset**

SAT-mittauksilta vaaditut intervallit ja tarkkuudet on nähtävillä liitteestä 1. SAT-mittauksessa käytettävästä termoparityypistä AMS2750 on tuoreimmassa E-versiossa antanut rajoituksia, joka liittyy säätimen (tai piirturin) tarkkuutta mittaavan termoparin tyyppiin. Taulukkoon 5 on tuotu standardissa asetetut rajoituksen käytettävän termoparityypin suhteen. Kun uunin säätimen anturi on jotain muuta tyyppiä kuin taulukossa mainitut neljä tyyppiä, on sallittua käyttää mitä tahansa näistä neljästä termoparityypistä SAT-mittauksessa. Jos esimerkiksi käytetään Engines-yksikön käytössä olevaa lämpökäsittelyuunia U1, jossa säätimen käyttämä anturi on tyyppiä S, on sallittua käyttää SAT-mittaukseen N tai B-tyypin anturia. Tässä täytyy kuitenkin huomioida myös standardin sisältämä rajoitus, joka kieltää käyttämästä N-tyypin anturia yli 538 °C lämpötiloissa, joten lämpökäsittelyuunin ollessa kyseessä ainoaksi vaihtoehdoksi jää tällöin B-tyypin termoparin käyttäminen SAT-mittaukseen.

Taulukko 5. SAT-mittaukseen soveltuvat anturityypit

SAT-anturi	Säätimen tai piirturin käyttämä anturityyppi				
	B	R	S	N	Muut tyypit
B		✓	✓	✓	✓
R	✓			✓	✓
S	✓			✓	✓
N	✓	✓	✓		✓

Standardissa ei erikseen ole mainittu miksi perusmetallitermopareista ainoastaan N-tyypin on katsottu olevan käyttökelpoinen SAT-mittauksiin, kun kuitenkin ominaisuuksiltaan se on hyvin samankaltainen K-tyypin kanssa. On hyvä, että jalometallitermopareille on olemassa vaihtoehto, sillä N-tyyppi on hinnaltaan edullisempi ja niitä on myös helpommin saatavilla. N-tyyppiä käytettäessä tulee kuitenkin huomioida, että sitä koskevat tiukemmat käyttörajoitukset.

### 3.3.1 Ennakoiva huolto-ohjelma

Yksi standardin väljimmän määritellyistä vaatimuksista on ennakoivan huolto-ohjelman (preventive maintenance program) käyttö, joka mahdollistaa pidennetyn intervallin käyttämisen SAT-mittauksissa. Huolto-ohjelman määrittely on kerrottu vain hyvin lyhyesti

standardin alussa olevien termien selitysten joukossa. Koska SAT-tarkastusten intervallivaatimus on hyvin tiheä, on erittäin suositeltavaa toteuttaa tarvittavat ennakkohuoltotoimet pidemmän intervallin mahdollistamiseksi.

Standardin mukaan ennakoivaa huolto-ohjelmaa käytetään uunin kunnan arvioimiseen, huoltotarpeiden ennakointiin ja dokumentointiin. Ohjelman mukaan tulee seurata niiden uunin osien kuntoa, joilla on vaikutusta uunin lämpötilan tasaisuuteen. Tarkastusväli tulee määritellä kokemukseen perustuen niin, ettei tarkastusten välillä ehdi syntyä vakavia ongelmia.

Ohjelman sisältö määritellään siis hyvin väljästi ja tarkastusvälikin on vapaasti päätettävissä. Lämpötilan tasaisuuteen vaikuttavista uunin osista ei mainita yhtäkään erikseen, mutta voidaan päätellä näitä olevan ainakin lämmitysvastukset, lämpöeristeet, ovien/luukkujen tiivisteet ja lämpöanturit. Käytännössä kunnanvalvonnan voidaan ajatella tarkoittavan uunin yleisen kunnan ja tiettyjen osien silmämääräistä tarkastamista.

Vaatimukseen sisältyy ennakkohuolto-ohjelman ohjeistuksen luominen ja sen toteutuksen seuranta. Patrialla lämpökäsittelyuuneilla on olemassa jo ohjeistus lämpökäsittelyuuneja koskevista kunnanvalvonnasta ja uunin operaattori tekee aina ennen uunin käyttöä uunille silmämääräisen tarkastuksen, joten huolto-ohjelman käyttöönotto ei vaadi muuta kuin lisäohjeistuksen asiasta. Lämpökäsittelyuuneilla on käytössä päiväkirja, johon uunin operaattori kuittaa uunin olevan tarkastettu ja käyttökuntoinen ja erillisenä kohtana on huomautuskenttä, johon tulee kirjata uunilla mahdollisesti havaitut muutokset.

### **3.3.2 Vaihtoehtoinen SAT-prosessi**

Standardi tarjoaa myös mahdollisuuden vaihtoehtoiselle SAT-mittausjärjestelmälle, jonka tarkka määrittely tulee luoda uunikohtaisesti. Vaihtoehtoista järjestelmää on mahdollista hyödyntää silloin, kun uunilla käytetään kertakäyttöisiä antureita ja sen lähtökohteisena ajatuksena on uusia antureita uunia koskevaa SAT-mittausintervallin vaatimusta tiheimmin väliajoin. Vaihtoehtoisessa SAT-järjestelmässä uunin instrumenttien kalibrointi yhdessä antureille menevien välijohdojen ja liittimien kanssa muodostaa riittävän tarkan kuvan järjestelmän tarkkuudesta.



Käytettävät anturit tulee olla kalibroituja ja niiltä vaadittu tarkkuusvaatimus tulee laskea uunin instrumenttien ja välijohtojen kalibroinnista saatujen virhelukemien avulla. Liitteessä 1 esitettyjen SAT-tarkkuusvaatimusten mukaisesti esimerkkinä voidaan käyttää uunia, jonka uuniluokka on 4 ja instrumenttiluokka A, B, C, tai D suurin sallittu virhe on  $\pm 2,2$  °C. Tällaisen uunin kohdalla instrumenttien kalibroinnissa saadun virheen ja anturin virhelukeman summa ei saa ylittää suurin sallittua virhettä. Luonnollisesti laskutoimituksessa tulee huomioida myös virheen suunta, sillä parhaassa tapauksessa virheet voivat jopa kumota toisensa. Kertakäyttöisiltä termoparilangoilta vaaditaan 1,1 °C tarkkuutta, joka on sama kuin joka vaaditaan instrumenteilta.

Vaihtoehtoinen järjestelmä sallii myös käyttötavan, jossa korjauslukemia käytetään mittausinstrumenttien asetusarvojen korjaamiseen manuaalisesti tai ohjelmallisesti. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että anturien kalibroinnin perusteella saatuja virhelukemia voidaan hyödyntää mittalaitteiden tulosten korjaamiseen. Korjattujen tulosten tulee sijoittua liitteessä 1 esitettyjen SAT-tarkkuusvaatimusten sisälle.

### 3.3.3 SAT-mittauksesta luopuminen

Standardi antaa myös mahdollisuuden luopua SAT-mittauksen suorittamisesta, jos käytössä on instrumentointiluokka A – D ja täytetään tietyt ehdot. Vaatimusten mukaan pitää käyttää kahta tallentavaa kuorma-anturia per säätövyöhyke, joista yhtä käytetään uunin lämpötilan säätämiseen ja toista lämpötilan tarkkailuun. Instrumentointiluokkien A ja B kohdalla tämä tarkoittaisi käytännössä vain yhtä ylimääräistä kuorma-anturia. Standardi sallii myös järjestelmän, jossa säätimen anturi ei todellisuudessa ole kytketty yhteen säätimen kanssa, vaan anturin mittaustuloksen perusteella säätimen asetusarvoa muutetaan manuaalisesti. Järjestelystä ei ole tarkemmin kerrottu esimerkiksi sitä riittääkö asetusarvon korjaamiseen yksi säätökerta vai pitäisikö säätimen asetusarvoa tarkkailla ja muuttaa useampaan otteeseen.

Uunilla käytettävien antureiden tulee täyttää standardissa antureille asetetut vaatimukset. Lisäksi annetaan seuraavat vaatimukset:

- Jalometallitermoparien tulee olla ei-kertakäyttöisiä ja ne pitää joko uusia tai kalibroida kolmen kuukauden välein.
- Perusmetallitermoparit, joita käytetään lämpötilan säätämiseen tai tallentamiseen, tulee uusia vuosittain

- Jalometallitermoparit, joita käytetään lämpötilan säätämiseen tai tallentamiseen, tulee uusia kahden vuoden välein

Kuorma-antureiden kuntoa ja luotettavuutta pitää tarkkailla viikoittain niin, että jos niiden keskinäisissä mittaustuloksissa havaitaan selittämättömiä eroja, anturit uusitaan tai kalibroidaan uudelleen. Lämpötilan säätimen ja tarkkailuanturin mittaustulokset eivät saa poiketa enempää kuin yhden celsiusasteen verran edellisen TUS-mittauksen aikana mitattuihin tuloksiin verrattuna. Vaatimus on epäjohdonmukainen, koska jo pelkästään uunin lämpötilan syklinen vaihtelu ja uunin käyttötilavuuden sisäiset ominaisuudet aiheuttavat helposti yhden asteen lämpötilaeron. Toisaalta eroja saadaan tasoitettua, kun tasaantumisaikaa pidennetään ja valitaan mittaukselle otollisin ajanhetki, mutta näin epämääräisesti asetettujen vaatimusten käyttö vie standardilta uskottavuutta.

### 3.4 Mittausinstrumenttien vaatimukset

AMS2750-standardi luokittelee uuneilta vaaditut mittausvälineet instrumentointityypeittäin, joita merkitään kirjaimilla A – E. Vaatimukset koskevat lähinnä uunien anturointia, eli luokat määrittelevät mitä kohteita uunilla tulee mitata. Kuten taulukosta 6 voidaan todeta, luokka A vaatii eniten mittauskohteita, kun luokan E uuneille riittää hyvin yksinkertainen instrumentointi.

Taulukko 6. Instrumentointiluokkien vaatimukset

Vaatimus	Instrumentointityyppi				
	A	B	C	D	E
1	✓	✓	✓	✓	✓
2	✓	✓	✓	✓	
3	✓		✓		
4	✓	✓			
5	✓	✓	✓	✓	

#### 3.4.1 Instrumentointivaatimus 1 (tyypit A, B, C, D, E)

Uunin lämpötilansäätimen mittaaman lämpötilan tulee olla luettavissa ja jokaisella säätövyöhykkeellä tulee olla oma anturinsa. Kaikkia tyyppejä koskeva vähimmäistaso, jonka voidaan olettaa löytyvän lähes kaikilta uuneilta, joissa on sähköinen lämpötilansäädin.

Tämä on instrumentointityypin E ainoa vaatimus, jota saa käyttää ainoastaan yhdessä uuniluokan 6 kanssa ja tämä yhdistelmä mahdollistaa hyvin väljän vaatimustason uunin kalibrointiprosessille ja voidaan olettaa, että tämä taso ei ole riittävä kuin joissain erikoistapauksissa.

#### **3.4.2 Instrumentointivaatimus 2 (tyypit A, B, C, D)**

Lämpötilansäätimen näyttämä mittaustulos pitää tallentaa ja jos säätövyöhykkeitä on useampi, tulee jokaisen mittaustulos tallentaa erikseen. Vaihtoehtoisesti on sallittua sijoittaa erillinen mittausanturi säätimen anturin vierelle maksimissaan 10 mm etäisyydelle ja tallentaa sen mittaustulos.

#### **3.4.3 Instrumentointivaatimus 3 (tyypit A, C)**

Uunin jokaiselle säätövyöhykkeelle pitää sijoittaa kaksi tallennettavaa mittausanturia paikkoihin, jotka viimeisimmän TUS-mittauksen tulosten mukaan ovat kyseisen vyöhykkeen kylmin ja kuumin piste. Standardissa myönnetään tämän vaatimuksen olevan joskus haasteellinen toteuttaa johtuen uunin rakenteesta ja kuormaustavasta, mutta anturit tulisi sijoittaa niin lähelle kyseisiä pisteitä kuin se käytännöllisesti katsoen on mahdollista.

#### **3.4.4 Instrumentointivaatimus 4 (tyypit A, B)**

Tuotantokäytössä on käytettävä vähintään yhtä tallennettavaa kuorma-anturia säätövyöhykettä kohden. Kuitenkin jos käytetään uunia, jossa on useampi vyöhyke, mutta lämpökäsiteltävä kuorma sijoittuu vain yhdelle säätövyöhykkeelle, ei kuormasta tyhjille vyöhykkeille tarvitse sijoittaa erillistä anturia. Tämä pitää kuitenkin mainita uunin päiväkirjassa.

#### **3.4.5 Instrumentointivaatimus 5 (tyypit A, B, C, D)**

Jokaisella säätövyöhykkeellä tulee olla oma ylikuumenemissuojaus. Tähän tarkoitukseen voidaan myös hyödyntää tyyppien A ja C kohdalla vaatimuksessa 3 mainittua uunin kuumimman pisteen mittausanturia.

### 3.5 Instrumentointityypin määrittely

Vaikka Rolls-Roycen huoltomanuaalin vaatimuksena on noudattaa AMS2750-standardin vaatimuksia, on manuaalissa instrumentointityypin kohdalla päädytty rajoittamaan vaihtoehtoja uunin käytöstä riippuen vain instrumentointityyppien B tai D käyttämiseen. Tämä jossain määrin helpottaa uunien luokittelua ja sitä myöten kalibrointiprosessia, koska usein olemassa olevien uunien muokkaaminen voi olla käytännöllisesti katsoen mahdotonta ja instrumentointityyppi D on joltain osin vaivattomampi vaihtoehto toteuttaa. Vaivattomuus muutosvaiheessa maksetaan kuitenkin takaisin tyyppin D huomattavasti tiukemmasta intervallista TUS- ja SAT-mittausten suhteen.

Instrumentointityypin B ongelmallisin kohta toteutuksen suhteen on vaatimus 4, jonka mukaan tuotannossa tulisi aina käyttää vähintään yhtä kuorma-anturia per säätövyöhyke. Kuorma-antureita voi uunin rakenteesta johtuen olla mahdotonta viedä kuorman mukana uuniin, jos uuniluukun avausmekanismi on sen tyyppinen, ettei anturilankoja voida viedä oven välistä. Uunien muokkaaminen on mahdollista, mutta yleensä muutoksilla uunin rakenteeseen on negatiivinen vaikutus uunin lämpötilan tasaisuuteen, joten on suositeltavampaa tavoitella instrumentointityypin D vaatimusten täyttämistä.

Tyhjiöuunien kohdalla Rolls-Roycen huoltomanuaalissa annetaan vain vaatimus instrumentointityypin B noudattamisesta, joten jos uuni on rakenteeltaan sellainen, ettei siihen valmistusvaiheessa ole tuotu liitosmahdollisuuksia antureille, on sen toteuttaminen jälkikäteen erittäin haastavaa. Ainoa mahdollisuus voi olla vaihtoehtoisen SAT-mittauksen käyttöönotto tai koko SAT-mittauksesta luopuminen. Tyhjiöuunien käyttötapa poikkeaa muutenkin hieman perinteisesti lämpökäsittelyuuneista, joten kuorma-antureille on yleensä toteutettu liittynät uunin sisälle. Tässä kohtaa on hyvä huomata, että valmistajan valitsema termoparityyppi on määräävä tekijä kuorma-anturien kalibrointiprosessille.

#### 3.5.1 Instrumenttien yleiset vaatimukset

Standardin vaatimus uunien mittausinstrumenttien lukutarkkuudeksi on 1 °C. Toisaalta standardissa puhutaan myös instrumenttien herkkyyksivaatimuksesta, joka uuniluokille 1-2 on 1 °C ja uuniluokille 3-6 on 2 °C. On hieman epäselvää mitä herkkyydellä täsmälleen ottaen tarkoitetaan, koska on ristiriitaista, että uunin lukematarkkuuden vaatimus uuniluokilla 3-6 on tiukempi kuin herkkyyks. Instrumenttien herkkyyks määrätään tarkastamaan

kalibroinnin yhteydessä ja oletuksena on, että tarkastuksessa varmistetaan instrumentin lukeman muuttuminen, kun sille syötettävää lämpötilatietoa muutetaan yhdellä asteella. Vaatimuksen toteuttamisen ei voi käytännössä juuri katsoa jalostavan uunin lämpötilan tasaisuutta tai kalibrointiprosessin laatua.

Standardi määrittelee myös rajat paperipiirtureiden nauhan kulkunopeudelle ja erottelukyvylle, jotka määräytyvät uuniluokan perusteella. Näitä ei käydy tässä työssä tarkemmin läpi, koska oletuksena on, että Engines-yksikössä käytössä olevien uunien vanhoista sähkömekaanisista piirtureista useimmat eivät täyttäisi vaatimuksia ja uunin saattaminen vaatimusten mukaiseksi vaatisi siten piirturin uusimista. Nykyaikaisten paperittomien piirturien kohdalla vaatimusten on helposti täytettävissä.

Standardissa on myös määritelty rajat uunin mittalaitteilla mahdollisesti käytettäville offset-arvoille. Offset-arvolla tarkoitetaan mittalaitteen mittaoslukeman siirtoa sivuun todellisesta mittaoslukemasta. Tarvetta offset-säädölle on yleensä vain lämpötilansäätimen kanssa, sillä säätimen käyttämän mittaosanturin sijainti uunissa voi aiheuttaa sen, että vaikka säädin pystyisi säätämään lämpötilan hyvinkin tarkasti asetusarvon mukaiseksi, niin sama lämpötila ei vallitse tasaisesti koko uunin tilavuudessa. Joskus uunin lämpökäsittelyvyöhykkeen lämpötila saattaa esimerkiksi jäädä muutaman asteen päähän tavoittelusta, mutta olla silti hyvin tasainen TUS-mittauksen perusteella. Tällöin säätimelle voidaan tehdä muutaman asteen offset-säätö, joka vähentää säätimen mittaamasta lämpötilasta tarvittavan määrän asteita, jolloin uuni kuumenee vastaavan verran kuumemmaksi. Offset-säätö on mahdollista tehdä joko manuaalisesti uunin tavoitearvoa muuttamalla tai asettamalla säätimen muistiin offset-arvo, jolloin se toimii automaattisesti kaikissa lämpötiloissa.

Kun offset-säätöä käytetään, standardin vaatimukseen kuuluu sen toimintatavan kuvaaminen ja käyttötapauksen kirjaaminen. Sallitut rajat offset-säädölle ovat jälleen uuniluokasta riippuvaisia ja ne ovat nähtävissä liitteessä 1 olevasta SAT-mittaustarkkuuksia koskevasta taulukosta. Offset-säätöjä käytettäessä pitää myös huomioida niiden vaikutus TUS- ja SAT-mittausten yhteydessä.

Vaatimusten mukaan uunin mittalaitteiden kaikki käytössä olevat mittauskanavat tulee kalibroida vähintään kolmella kalibrointipisteellä niin, että pisteet kattavat koko uunin käyttölämpötila-alueen. Yleisesti ottaen lämpötilojen syöttäminen uunin mittalaitteille on

hyvin helppoa ja nopeaa, joten pisteitä syötetään käytännössä huomattavasti vaadittua enemmän. Jos piirturilla on ylimääräisiä mittauskanavia, jotka eivät ole käytössä, tulisi ne standardin mukaan huomioida erillisellä merkinnällä.

### **3.6 Kalibrointimittalaitteiden kalibrointi**

Uunin kalibrointiin käytettävien mittalaitteiden kalibroinnille annetaan standardissa tarkat vaatimukset. Standardi erottelee mittalaitteet niiden käyttötarkoituksen ja tarkkuuden mukaisesti referenssinormaaliin, primäärinormaaliin, sekundäärinormaaliin ja kenttäkalibraattoriin. Referenssinormaalilla tarkoitetaan kansallisen tason mittanormaalia, joka Suomessa on mittatekniikan keskus Mikes. Myös sen jälkeen tulevat primääri ja sekundäärinormaalit ovat laboratoriotason mittavälineitä. Kenttäkalibraattoria käytetään nimensä mukaisesti uuneilla tehtäviin mittauksiin ja kalibrointeihin.

Standardin instrumenttien luokittelutaulukko sisältää huomautuksia, joiden sisältö vaatii huolellista perehtymistä. Esimerkiksi sekundäärinormaalien kohdalla on kaksi huomautusta, joista ensimmäinen sallii sekundäärimittalaitteiden tarkkuuteen riittävän kenttäkalibraattorin käyttämisen TUS/SAT-mittausten tekemiseen kentällä, mutta jälkimmäinen kieltää sekundääritason mittalaitteen käytön tuotantotiloissa. Toisin sanoen kenttämittauksissa saa käyttää vaatimustasoa tarkempaa mittalaitetta, mutta sekundääritason mittalaitteiksi lasketaan vain säädellyssä ympäristössä käytettävät mittalaitteet ja käytännössä tällä tarkoitetaan laboratoriotiloja. Kalibrointiprosessin ja käytön kannalta olennainen ero näiden kahden tason välillä on se, että kenttäkalibraattoreiden kalibrointi-intervalli on 3 kuukautta, kun sekundääritasoisten mittalaitteiden jakso on 12 kuukautta.

#### 4 STANDARDIN VAATIMUSTEN SOVELTAMINEN

Työssä läpikäytyihin standardin AMS2750 vaatimukseen on pyritty ottamaan mukaan kaikki olennaisimmat Engines-yksikköä koskevat asiat sekä yksityiskohdat, jotka tulisi huomioida vaatimusten mukaista kalibroitiprosessia luodessa. Selvitystyö on vahvistanut olettamusta siitä, että standardin monet vaatimukset on luotu suuremman tuotantolaitoksen tuotantomääriä silmällä pitäen. Tämä on helposti pääteltävissä esimerkiksi kuorma-antureille sallittujen käyttökertojen lukumäärien ja aikarajoituksen välisestä epäsuhdasta, sillä laajimmillaan niille sallitaan jopa 270 käyttökertaa, joka kuitenkin on rajattu kolmen kuukauden käyttöajalle. Nopealla laskutoimituksella voidaan todeta, että kolmen kuukauden aikana tavallisen työajan puitteissa uunilla pitäisi tehdä noin kahden tunnin välein uusi lämmitys, jotta sallittujen käyttökertojen määrä saavutettaisiin ennen aikarajoitusta. Tällaisia tuotantomääriä voi hyvin nimittää sarjatuotannoksi.

Tästä syystä standardin vaatimuksia on haasteellista soveltaa suhteellisen pienen tuotantolaitoksen käyttöön. On jokseenkin mahdoton yhtälö luoda täydellisen vaatimustenmukaista kalibroitijärjestelmää, jos tuotantomäärät ovat niin pieniä, että järjestelmän ylläpitokustannukset kasvavat kohtuuttoman suuriksi.

Joitakin standardin vaatimuksista on myös vaikea perustella, koska kokemukseen perustuen niiden tiedetään olevan tarpeettoman tiukkoja. Engines-yksikön käytössä on monia erilaisia uuneja, jotka ovat olleet kalibroinnin piirissä jo useita vuosikymmeniä. Tästä on ollut suuri etu selvitystyön aikana ja saavutetun kokemuksen perusteella on mahdollista kyseenalaistaa joitain standardin vaatimuksia. Standardin vaatimukset erilaisten instrumenttien kalibroitijaksoille poikkeavat yleisistä käytännöistä erittäin lyhyillä intervaleillaan. Kirjaimellisesti vaatimusten mukaisesti toimiessa mittalaitteen kalibroitikerrat voivat muodostaa huomattavan osan kyseisen instrumentin käyttökerroista pienessä tuotantolaitoksessa. Jossain tapauksissa voi olla jopa syytä miettiä onko mittavälineen käyttäminen kalibroinnissa kuluttava tekijä, kun otetaan huomioon pienet tuotantomäärät ja verrataan sitä kuljetuksen aikana syntyviin riskeihin. Esimerkiksi lämpöanturin irrottaminen uunilta ja lähettäminen ulkopuoliselle kalibroitilaboratoriolle aiheuttaa riskin anturin vaurioitumiselle, eikä mikään takaa sitä, että anturi on uunille takaisin asennettaessa täysin kalibroitihetkeä vastaavassa kunnossa.

Standardin vaatimukset voivat siis joiltain osin toimia myös itseään vastaan, jollei niitä sovelleta käyttökohteen mukaan. Standardi sisältää myös erilaisia vaatimuksia, jotka jo lähtökohtaisesti ovat merkityksettömiä uunin toiminnan kannalta. Näitä ovat esimerkiksi termoparijohtimien ja liittimien värien määrittely, joka on amerikkalaisen järjestelmän mukainen, eikä ole mitenkään olennaista kalibrointijärjestelmälle tai saati uunin toiminnalle. Ei ole tarpeen tinkiä lentoturvallisuudesta tai laadusta, vaan pikemminkin skaalata standardin vaatimukset Engines-yksikön käyttöön niin, että standardin henki tulee parhaalla mahdollisella tavalla toteutetuksi.

#### **4.1 Standardin tulkintaan perustuvat poikkeamat**

Vaikka standardissa määritellään vaatimukset erittäin tarkasti, sisältää se myös kohtia, jotka jättävät tulkinnanvaraa. Yksi näistä asioista on standardin käyttämä malli instrumenttien kalibroinnin jäljitettävyysetjasta, joka lähtee kansallisesta kalibrointinormaalista ja etenee primääri- ja sekundääritason kautta uunin kalibroinnissa käytettäviin instrumentteihin. Engines-yksikössä vaatimuksena on käyttää instrumentteja aina akkreditoitussa kalibrointilaboratoriossa, joka käytännössä tarkoittaa aina kansallisen referenssin tai primääritason referenssiin verrattavaa kalibrointia. Tämän ansiosta voidaan ajatella sekundääriseen väliportaan jäävän väliin, jolloin myös kalibrointi-intervallina voidaan perustellusti käyttää ylemmän tason intervallia.

Hyvänä esimerkkinä tästä on uunin lämpötilan kalibrointiin Engines-yksikössä käytettävät Beamex MC5 ja MC6 monitoimikalibraattorit. Ne ovat kenttäkalibraattoreita, joiden tarkkuus ylittää sekundäärinormaalien vaatimukset täyttäväksi ja ne kalibroidaan aina akkreditoitussa kalibrointilaitoksessa. Kenttäkalibraattorilta vaaditaan kolmen kuukauden kalibrointi-intervallia, joka on erittäin tiheä jakso jopa ilmailualan yleiseen käytäntöön verrattuna. On hyvin perusteltua käyttää kalibrointi-intervallina sekundäärinormaalilta vaadittua jaksoa, joka on 12 kuukautta ja yhdenmukainen yleisen käytännön kanssa.

Vastaava poikkeama on perusteltavissa uunien TUS- ja SAT-mittauksissa käytettävien lämpöantureiden kalibrointijaksojen kanssa, joita Engines-yksikön käytännön mukaisesti kalibroidaan vain akkreditoitussa kalibrointilaboratoriossa. Standardin vaatimus esimerkiksi jalometallitermoparityyppien kalibrointi-intervallina käytettävästä kuuden kuukauden jaksosta on uunien käyttömääriin suhteutettuna tarpeettoman tiukka. Tätä tukee myös



kokemukseen perustuva tieto antureiden kalibroinnista jo useiden vuosien ajan 24 kuukauden välein, sillä antureiden luotettavuus on erittäin hyvä eikä antureita ole jouduttu epätarkkuuden vuoksi uusimaan kuin erittäin harvoin. Perusteena poikkeamaan voidaan käyttää lisäksi myös jo edellä mainittua anturien vaurioitumisriskiä kalibroinnin aikana.

Selvitystyön osana tutkittiin myös Engines yksikössä käytettävien TUS-anturien ikää ja luotettavuutta. Useimpien uunien kohdalla yksikössä on käytetty K-tyypin ei-kertakäyttöisiä termopareja TUS-mittausten tekemiseen. Antureille ei yleensä tule kuin kaksi lämmityssykliä vuodessa ja niiden kalibrointi-intervallina on jo useiden vuosien ajan ollut 24 kk. Lämpökäsittelyuunilla U2 käytettävien kalibroitianturien kuumin kalibrointipiste on 750 °C ja anturit on hankittu käyttöön jo vuonna 1992. Niiden uusimman kalibrointitodistuksen tulokset kyseenalaistavat standardissa asetetut käyttörajoitukset, sillä ne ovat edelleen erittäin tarkkoja. Yksi kuudesta anturista poikkeaa yli kaksinkertaisella virheluksellaan muista, sillä sen virhe lämpötilassa 750 °C on 2,9 °C. Nämä perusmetalliset termoparianturit kelpaisivat tarkkuutensa puolesta jopa SAT-mittausantureiksi, sillä virhe on alle 0,4 % lukemasta vielä 25 vuoden käytön jälkeen. Standardin esittämää vaatimusta anturien käyttöikä ja käyttökertoja koskevista rajoituksista on siis vaikea perustella Engines-yksikössä nähtyjen kokemusten valossa. Standardin mukaan toimiessa antureita olisi saanut käyttää 750 °C lämpötilassa vain 3 kuukauden ajan ja poistaa sitten käytöstä.

Kalibrointi-intervallien poikkeamisen vaikutuksia laatuun voidaan arvioida olemassa olevan tiedon lisäksi myös suhteuttamalla kalibroinnin tuloksena saatavien virhelukemien vaikutusta uunin kalibrointiin. Kalibrointimittavälineen virhelukemat ovat niin pieniä, ettei niitä edes vaadita käytettäväksi mittaustulosten korjaamiseen. Kalibrointiin käytettävien antureiden virhelukemia taas käytetään uunin kalibrointitulosten korjaamiseen, mutta kokemuksen perusteella virheet ovat niin pieniä, että TUS- tai SAT-mittauksen tulosten hyväksymisen vain harvoin ratkaisee korjauslukemalla tarkennettu mittaustulos. Olennaisempaa on noudattaa standardin vaatimusta uuneilla käytettävien kalibroitianturien määrästä ja kalibrointi-intervallin tiheydestä, joka paljastaa yksittäisen anturin viikaantumisen.

Standardin vaatimuksista päätettiin poiketa myös TUS-mittauksen tallentamiseen käytettävän lämpötilaloggerin suhteen. Standardin vaatimuksen mukaan TUS-mittauksen tallennukseen pitää käyttää erillistä tallennuslaitetta, mutta uunin instrumenttien uusimisen myötä uusittava paperiton piirturi ajaa saman asian ja on perustellusti parempi käytäntö.

Standardi ei perustele vaatimustaan millään tavoin, mutta oletettavasti kyseinen vaatimus on peräisin standardin alkua ajoilta, eli 80-luvun alusta, jolloin mittausinstrumentit olivat aivan eritasoisia kuin nykyään. Perusteina uunin oman piirturin käyttämiselle on sen hyvä tarkkuus, helppokäyttöisyys ja se, että edellisten TUS-mittausten tulokset ovat aina saatavilla uunin läheisyydessä. Uunilla käytettävä paperiton piirturi on yhtä lailla kalibroinnin piirissä ja sen kalibrointi-intervalli on vaatimusten mukainen, joten mitään erityistä syytä erillisen lämpötilaloggerin käyttämiselle ei ole.

## 4.2 Vaatimusten toteutus lämpökäsittelyuunille U1

Engines-yksikön käytössä olevista uuneista lämpökäsittelyuunista U1 päätettiin ensimmäisenä tehdä standardin vaatimusten mukainen. Valintaan vaikutti käyttölämpötila, sillä riittävälle lämpötila-alueelle ei ollut valittavissa kuin neljä vaihtoehtoa ja uuni U1 oli todettu niistä parhaiten kehityskelpoiseksi. Lämpökäsittelyuuni U1 on esitetty kuvassa 1.

Päivitystyö on edennyt vaiheittain, sillä päivitystyön aikana standardistakin ehti ilmestyä uusi versio ja osa jo tehdyistä muutoksista on lisäselvityksissä osoittautunut riittämättömiksi. Viimeisimmät päivitykset uunille on toteutettu tämän selvitystyön aikana ja uunin kalibrointiprosessin voi viimein katsoa täyttävän standardin vaatimukset. Seuraavassa on kuvattuna uunille U1 tehdyt olennaisimmat muutokset ja kalibrointiprosessin mukauttaminen vaatimusten mukaiseksi.

Uuni U1 on korkeiden lämpötilojen uuni ja sillä päästään yli tuhannen asteen lämpötiloihin, mutta 1050 °C on korkein tarvittava käyttölämpötila ja se on siten myös päätetty kuumimmaksi kalibrointipisteeksi. Uunin on valmistanut Dixel-niminen kotimainen yritys 1990-luvun alkupuolella ja sen lämmitysteho on noin 60 kW. Uunin alkuperäiset instrumentit olivat yli 20 vuotta vanhoja, eikä lämpötilasäätimen tai piirturin tarkkuus mitenkään riittänyt täyttämään standardin vaatimuksia. Uunilla oli säätimen anturin lisäksi kaksi tarkkailuanturia piirturia varten sekä ylikuumenemissuojalle oma anturinsa. Kaikki anturit olivat alun perin keraamisputkella suojattuja S-tyypin termopareja, jotka soveltuvat hyvin korkeisiin lämpötiloihin. Se helpotti uunin päivitystä, koska jalometalliset termoparit vaativat perusmetallityyppisiä kevyemmän kalibrointiprosessin.



Kuva 1. Lämpökäsittelyuuni U1

Uunin kalibrointiin oli jo aiemmin kuulunut TUS-mittauksen tekeminen sekä uunin mittausinstrumenttien kalibrointi. Kalibrointi-intervallina käytettiin kuutta kuukautta, joka on hyvin yleinen ja hyväksi havaittu jakso uuneille. TUS-mittaukseen käytettiin kuutta S-tyypin termoparianturia, jotka kuuluivat myös kalibroinnin piiriin ja niiden jaksona oli 24 kuukautta. S-tyypin termoparit ovat hyvin luotettavia, eikä TUS-mittauksessa käytettäville antureille ollut nähty tarpeelliseksi määrittellä tarkkoja toleranssirajoja, vaan anturi poistettiin käytöstä silloin, jos sen mittaustarkkuus poikkesi huomattavasti edellisistä kalibrointituloksista. Anturien kalibrointitodistuksista on helppoa todeta, että ne kestävät hyvin lämmityssyklejä, ovat luotettavia ja pitkäikäisiä. Vanhimmat käytössä olevista antureista ovat 90-luvulta ja täyttävät edelleen standardin vaatimukset.

Uunin standardin mukaiseksi luokituksiksi päätettiin lämpötilan tasaisuuden perusteella luokka 4, joka tarkoittaa  $\pm 10$  °C tasaisuusvaatimusta. Instrumentointityypin valinnassa oli vaikeuksia, koska uunin instrumentoinnin ominaisuuksien perusteella tyyppi C olisi ollut osuvin luokitus ja kalibrointiprosessi ehdittiinkin jo tehdä sen mukaiseksi, kun vasta myöhemmin ilmeni, ettei kyseinen instrumentointiluokka ole Rolls-Roycen vaatimuksissa hyväksytty. Instrumenttien luokitus tyyppiksi D oli kuitenkin jossain määrin kevyempi vaihtoehto, sillä se ei vaadi uunille tarkkailuantureita tai kuorma-antureita. Uunilla

kuitenkin on valmiiksi kaksi piirturille tallennettavaa tarkkailuanturia, joten tarvittaessa on mahdollista luokitella se myös C-tyypiksi. Se tosin vaatisi tarkkailuanturien vaihdon TUS-mittauksen ajaksi TUS-antureihin. Standardi määrittelee vain instrumentoinnin vähimmäisrajat, joten ylimääräinen anturointi on sallittu. Koska tarkkailuanturit ovat ylimääräisiä mittauksia instrumentointityypin vaatimuksiin nähden, ei niitä myöskään koske vaatimus SAT-mittauksen suorittamisesta.

Uunin lämpötilansäädin, tallennin ja ylikuumenemissuoja uusittiin nykyaikaisiksi, jonka jälkeen niiden tarkkuusvaatimus oli helposti saavutettavissa. Vaikka uunin instrumentointiluokan mukaan olisi tallennettava vain säätimen mittauslukemaa, on instrumentointi toteutettu niin, että sen lisäksi tallennetaan myös kahden tarkkailuanturin mittaustulokset, joka luonnollisesti on uunilla tehtävien lämpökäsittelyjen todentamisen kannalta suotavaa. Näiden anturien sijainti on valittu TUS-mittauksen tulosten perusteella niin, että ne kuvastavat parhaiten uunin kylmintä ja kuuminta paikkaa. Tässä kohtaa täytyy myös käyttää tulkintaa uunin kalibrointiprosessin vaatimuksille. Koska valittu instrumenttityyppi D ei vaadi uunille tarkkailuantureita, näiden katsotaan olevan ylimääräisiä mittausantureita, joita voidaan käyttää myös TUS-mittauksessa. Tämä tietenkin vaatii antureiden kalibroinnin yhdessä muiden TUS-mittausantureiden kanssa.

Toinen huomautuksen arvoinen asia on päätös käyttää SAT-mittaukseen tarvittavaa B-tyypin anturia yhtenä TUS-antureista. Standardi ei erikseen tätä kiellä, mutta yleisesti TUS-mittausantureilla tarkoitetaan standardissa erillisiä antureita. On kuitenkin vaikea keksiä perusteita sille, miksi kiinteää SAT-anturia ei voisi käyttää tähän tarkoitukseen, kun taas etuja sen käyttämiselle on useita. Pääasiallinen syy TUS-antureiden monikäyttöisyyteen on uunin U1 rakenne, sillä antureiden läpivientireikiä on yhteensä vain 10, eikä uunin rei'ittäminen uusilla läpivienneillä ole suositeltavaa lämpötilan tasaisuuden ylläpitämisen takia. Samasta syystä on päätetty myös tehdä poikkeama vaatimuksesta sijoittaa yksi TUS-mittausanturi uunin keskipisteeseen, sillä sen toteutus vaatisi jälleen muutoksia uunin mekaaniseen rakenteeseen. Anturin sijoittamisella uunin keskipisteeseen ei katsota tuovan juurikaan lisäarvoa mittaustuloksiin, kun käytössä olevalla yhdeksällä anturilla kuitenkin katetaan uunin 2 m<sup>2</sup> tilavuus hyvin tehokkaasti.

Uunille tehtyjen päivitysten lisäksi tämän selvitystyön tuloksena on uunin kalibrointiprosessin vaatimukset kirjattu selkeästi ylös. Liitteeseen 2 on kerätty kaikki uunia U1 koskevat tarkkuusvaatimukset, kalibrointi-intervallit ja muut huomiota vaativat seikat, joita standardin vaatimusten ja Rolls-Roycen ohjeistuksen mukainen toiminta edellyttävät.

Uunin kalibrointiprosessin poikkeamat standardin vaatimuksista kirjataan myös muistiin ja niistä tehdään Engines-yksikön käyttöön tekninen päätös. Tavoitteena on perustella syyt poikkeamiin niin, hyvin että voidaan ilman epäilyksiä todeta, ettei niillä ole negatiivista vaikutusta tuotteen laatuun. Teknisellä päätöksellä siis hyväksytään tämän työn tuloksena syntynyt kalibrointiprosessi Engines-yksikön tulkinnaksi standardin vaatimusten mukaisesta kalibrointiprosessista tiettyjen uunien kohdalla.

### **4.3 Tulokset ja vaatimusten soveltaminen muille uuneille**

Standardin sekä Rolls-Roycen vaatimusten noudattaminen myös muiden uunien kalibrointiprosessissa on osa tätä selvitystyötä, sillä Engines-yksikön maalaamossa käytettävän uunin U3 päivittäminen vaatimustenmukaiseksi on seuraava päivityskohde. Selvitystyö on siis osoittanut heti hyödyllisyytensä, koska uunin päivitystä vaativat kohteet ovat nyt selkeästi tiedossa ja päivitystyö on mahdollista aloittaa melko käytännönläheiseltä tasolta ilman uutta esiselvitystyötä.

Standardin vaatimuksista on lähes mahdotonta tehdä yleispätevää ohjetta, koska uunien käyttötarkoitus, lämpötila ja instrumentointi muuttavat vaatimuksia merkittävästi. Alun perin tarkoituksena oli tehdä jonkinlainen vuokaavio tai valintaa helpottavaa taulukko, mutta koska jokaisella uunilla on omat erityispiirteensä, todettiin se hankalaksi toteuttaa. Sen vuoksi kullekin uunille päädyttiin kokoamaan uunin U1 vaatimustenmukaisuusluettelon mukainen taulukko, joka sisältää uunin yleiskuvauksen, suosituksen uunille parhaiten soveltuvasta uuniluokasta sekä instrumentointityypistä, ja kalibrointiprosessia koskevat vaatimukset. Lisäksi taulukon jälkeen on kirjattu uunille tarvittavat muutokset ja toimenpiteet.

Kaikkien Engines-yksikössä käytössä olevien uunien muuttaminen vaatimustenmukaiseksi ei todennäköisesti koskaan tule tarpeelliseksi, eikä olisi edes mahdollista, joten luokitus on tehty vain osalle uuneista. Luokitus vaatii lähes aina vähintään piirturin lisää-

mistä uunille, sekä TUS-mittaukseen käytettävien lämpöanturien määrän lisäämistä merkittävästi. Se taas vaatii uunille tehtäviä mekaanisia muutoksia, kuten myös SAT-anturin lisääminen säätimen anturin läheisyyteen. Näistä syistä johtuen on vaikeaa tehdä uunille täydellistä luokituksen mukaista vaatimusluetteloa, ennen kuin uunille tarvittavien mekaanisten muokkauksen mahdollinen toteutus on varmistettu. Ennakolta tehty uuniluokitus ja vaadittujen toimenpiteiden selvittäminen helpottavat jatkossa uunien vertailua ja päättämistä siitä mille uunille vaatimustenmukainen kalibrointiprosessi on mahdollista ja kannattavaa tehdä. Uunikohtaiset luokitukset ja suositustaulukot ovat luetteloituna liitteessä 3.

Joidenkin uunien kohdalla voi olla kannattavaa harkita vaihtoehtoisen SAT-prosessin käyttämistä, vaikka sitä ei yhdellekään uunille suositustaulukoissa erikseen ole mainittu. Vaihtoehtoisen järjestelmän ansiosta olisi mahdollista välttää SAT-mittausanturin asentaminen uunille, joka on usein hankalaa toteuttaa. Järjestelmän haasteisiin kuuluu kuitenkin vaatimus uunilla käytettävien lämpöanturien uusimisesta erittäin usein ja kertakäyttöisten anturien käyttäminen rajaa lämpökäsittelyuunien käyttölämpötilat ulkopuolelleen. Onkin jokseenkin epä johdonmukaista, että tähän tarkoitukseen saisi käyttää vain kertakäyttöisiä termopareja ja vaatimus on helppo perustella tarpeettomaksi. Toisaalta ei-kertakäyttöiset anturit ovat kuitenkin huomattavasti arvokkaampia, mutta jossain tapauksessa se voi kuitenkin olla käyttökelpoinen vaihtoehto.

SAT-mittauksesta luopuminen vaatii myös uunilla käytettävien lämpöanturien jatkuvaa uusimista tai uudelleenkalibrointia. Näiden vaatimusten soveltamista tai väljentämistä on vaikeaa perustella, koska SAT-mittauksesta luopuminen on itsessään standardin tarjoama kevennetty järjestelmä. SAT-mittauksesta luopuminen olisi kuitenkin erittäin toimiva ratkaisu Engines-yksikön käytössä olevalle tyhjiöuunille U10. Uunin rakenteesta johtuen SAT-anturia olisi erittäin vaikeaa viedä säätimen anturin läheisyyteen, kun taas kuorma-antureiden sijoittaminen uuniin on hyvinkin helppoa. Vaatimusten täyttämiseen tarvitaan hieman soveltamista, sillä kuorma-antureita ei voi suoraan käyttää lämpötilan säätimen ohjaamiseen. Periaatteessa vaatimus kuitenkin toteutuu uunin logiikkapohjaisen lämpötilansäätimen avulla, sillä sen ominaisuuksiin kuuluu kuorma-anturien lämpötilan mukaan laskettavan pitoajan automaattinen säätö ns. Load guaranteed soak -asetuksen perusteella. Ominaisuudella on mahdollista asettaa kuorma-anturien mittaaman ja säätimen asetuksen välisen lämpötilan suurin sallittu ero. Tämä vaikuttaa uunin pitoaikaan, sillä uunin ohjelman aikalaskuri ei etene, silloin kuorma-anturien lämpötila ole sallittujen rajojen sisällä.

Toiminnolla on mahdollista epäsuorasti toteuttaa SAT-mittauksesta luopumisen ehtona oleva lämpötilan säätö. Ylimääräiset kalibrointikustannukset ovat perusteltavissa, jos uunin luokittelulla saadaan vastaavasti lisättyä uunin käyttökapasiteettia.

Nykykäytäntö anturien kalibroinnista akkreditoidussa kalibrointilaboratoriossa on käytökelpoinen kalibrointiantureina toimivien anturien kohdalla, kunhan intervaleja aiemmin kuvatulla tavalla suhteutetaan Engines-yksikön tuotantomääriin paremmin soveltuviksi. Uunien antureiden ulkopuolella teetettävien kalibrointien rinnalle kannattaa myös selvittää anturien kalibroimista itse. Engines-yksikössä ei tällä hetkellä ole valmiutta lämpöantureiden kalibroinnille, mutta antureiden kalibrointiin tarkoitettun laboratoriuunin hankinta mahdollistaisi myös tämän vaihtoehdon hyödyntämisen. Myös käytössä olevien tarkkojen lämpötilahauteiden hyödyntämistä tähän tarkoitukseen kannattaa selvittää, mutta se mahdollistaisi vain alle 300 °C lämpötilojen kalibroinnin.

#### **4.4 Rolls-Roycen ohjeistuksen vaatimukset**

Ohjeistus sisältää vaatimuksen standardin AMS2750 mukaisesta kalibrointiprosessista, mutta määrittelee erikseen lämpötilan ja käyttökohteen mukaan tietyt sallitut uuniluokat ja instrumentointityypit. Ohjeistus myös sisältää joitain standardin vaatimuksista sallittuja poikkeamia sekä erityisvaatimuksia, mutta johtuen Rolls-Roycen ohjeistuksen salassapitovelvoitteesta ei niitä tässä työssä erikseen ole selostettu. Vaatimukset poikkeavat joka tapauksessa melko vähän standardin sisällöstä, joten lähtökohtaisesti olennaisin osuus ohjeesta on uuniluokkia ja instrumentointityyppejä koskevat kohdat.

Ohjeistuksesta esiin nousee vaatimus uunin yllämpösuojauksen toiminnan viikoittaisesta testauksesta, jota standardissa ei vaadita. Testauksen suorittaminen pitää myös kirjata uunin päiväkirjaan. Koska Engines-yksikön uuneilla ei välttämättä ole käyttöä viikoittain, on luonnollisesti järkevää päättää testauksen suorittamisesta vain silloin kuin uunilla todella on käyttöä.

Rolls-Roycen ohjeistuksen havaittiin myös muuttuneen edellisen selvityksen jälkeen, sillä aiemmin jopa yksinkertaisia kuivausuuneja, joissa komponentteja kuivataan pesun jälkeen, on koskenut vaatimus kolmen kuukauden kalibrointi-intervallista. Enää ohjeistus vaatii alustavan lämpötilan tasaisuusmittauksen jälkeen uunien säätimen tai lämpömittarin kalibrointia vuosittain. Näihin uuneihin lukeutuisi myös osien sovitusuunit, kunhan

niiden korkein käyttölämpötila ei ylitä 121 °C. Käytössä olevien sovitusuunien lämpötilat ovat kuitenkin korkeammat, joten kevennettyä kalibrointivaatimusta ei voida hyödyntää kuin kuivausuunien kohdalla.



## 5 POHDINTA

Standardin vaatimusten kaikkia yksityiskohtia on erittäin hankalaa hallita, joten vaikka asiaa on Patriallakin jo aiemmin selvitetty, oli myös uudelle selvitystyölle selkeä tarve. Sen lisäksi sekä standardin että Rolls-Roycen ohjeistuksen uusien revisioiden tuomat muutokset vaativat jatkuvaa seurantaa. Standardin laaja kattavuus ja lähes äärimmäisyyksiin menevät vaatimukset ovat haasteellinen työsarka läpikäytäväksi, eikä ole käytännöllisesti katsoen mahdollista huomioida kaikkia olemassa olevia uunityyppejä ja niiden ominaisuuksia. Sen vuoksi tässä työssä pyrittiin keskittymään vain Engines-yksikössä olevien uunien ja niiden ominaisuuksien läpikäymiseen ja selvitykseen niiden soveltuvuudesta standardin vaatimusten mukaisiksi. Siitä huolimatta jää epäily, ettei kaikkea ole välttämättä vieläkään osattu ottaa huomioon, sillä standardi on kaikessa monimutkaisuudessaan vaativa kokonaisuus. Käytännössä on nähty, että standardin sisältö on haastava kokonaisuus myös kalibrointiprosessia tarkastavalle auditoijille ja laadusta vastaaville henkilöille.

Osa standardin vaatimuksista on selvästi luotu sarjatuotantolaitosten tuotantomääriä silmällä pitäen ja niinpä voi olla erittäin vaikeaa löytää perusteita jokaisen vaatimuksen täyttämiseksi. On kuitenkin perusteltua soveltaa vaatimuksia tuotantolaitoksen tarpeisiin, kun arvioidaan menetelmän edut ja vaikutukset tuotteen laadulle. On luonnollisesti standardien olemassaolon vastaista yrittää keksiä perusteita vaatimusten kiertämiselle, mutta toisaalta on myös hyvin vaikeaa tai jopa mahdotonta löytää perusteita joidenkin vaatimuksien kirjaimelliselle noudattamiselle. Mielestäni on täysin perusteltua hyödyntää olemassa olevaa kokemusperäistä tietoa ja asiantuntijoiden osaamista vaatimusten soveltamiseen ja parhaan mahdollisen tuloksen saavuttamiseksi, kunhan huolehditaan samalla siitä, että vaikutuksia tuotteen laadun ei ole.

Maailmalla järjestetään koulutuksia ASM2750-standardiin liittyen ja jatkossa, jos standardin noudattamisen vaatimus yleistyy, voi olla tarpeen lähteä hakemaan lisätietoa aiheesta. Ennalta tehty selvitystyö ja asian kokonaiskuvan hahmottaminen on suuri etu, sillä ilman suhteellisen perusteellista perehtymistä aiheeseen voi olla vaikeaa hyödyntää koulutuksesta saatavaa tietoa. Hyödyllisintä oppia olisi mahdollisuus päästä vierailemaan tuotantolaitokseen, jossa on standardin vaatimusten mukainen prosessi. Tiedossa on Suomessa vain yksi yritys, jossa joidenkin uunien kalibrointiprosessin lähtökohtana on käy-

tetty standardin vaatimuksia ja tässäkin tapauksessa vaatimuksia oli merkittävästi sovellettu. Siitä huolimatta kalibrointiprosessin katsottiin täyttävän standardin vaatimukset. Prosessi oli kuitenkin huomattavasti kauempana standardin vaatimuksista, kuin tämän työn tuloksena saavutettu kalibrointiprosessi uunille U1. Myös muiden uunien kohdalle tehty luokitusehdotus ja vaatimusten mukainen kalibrointiprosessi noudattavat mielestäni erittäin hyvin standardin henkeä ja sisältöä.

Useaan kertaan tämän aiheen käsittely on johtanut myös neuvoon hankkia vain standardin mukainen uusi uuni, mutta se ei käytännössä ratkaise kuin osan ongelmasta. Sen lisäksi, että uunit itsessään ovat hyvin arvokkaita, vaatii kalibrointiprosessin pyörittäminen ensin vaatimusten perusteellista ymmärtämistä ja sen jälkeen runsaasti käytännön kalibrointityötä. Ilman perusteellista selvitystyötä ja taloudellisia panostuksia ei kalibrointiprosessia ole kuitenkaan mahdollista toteuttaa.

## LÄHTEET

VTT Mikes, Suomen järjestelmä. Luettu 6.1.2018

<http://www.mikes.fi/mittayksik%C3%B6t/suomen-j%C3%A4rjestelm%C3%A4>

FINAS, Akkreditointi. Luettu 7.1.2018

<https://www.finas.fi/akkreditointi/Sivut/default.aspx>

Beamex blog, Thermocouple cold junction compensation. Luettu 16.1.2018

<https://blog.beamex.com/thermocouple-cold-junction-compensation>

## LIITTEET

Liite 1. SAT-vaatimustaulukko, [AMS 2750E]

Uuniluokka	Lämpötilan tasaisuusvaatimus °C	Instrumenttiluokka	SAT-jakso	Pisin sallittu SAT-jakso	SAT-mittauksen suurin sallittu ero		Suurin sallittu Offset-säätö	
					°C	% lukemasta	°C	% max.käyttö-lämpötilasta
1	±3	D B, C A	Viikoittain	Viikoittain	±1,1	0,2	±1,5	-
			Joka toinen viikko	Joka toinen viikko				
			Viikoittain	Viikoittain				
2	±6	D B, C A	Viikoittain	Viikoittain	±1,7	0,3	±3	-
			Joka toinen viikko	Kuukausittain				
			Kuukausittain	Kolmen kk välein				
3	±8	D B, C A	Joka toinen viikko	Kuukausittain	±2,2	0,4	±5	0,38
			Kuukausittain	Kolmen kk välein				
			Kolmen kk välein	Puolivuositain				
4	±10	D B, C A	Joka toinen viikko	Kuukausittain	±2,2	0,4	±6	0,38
			Kuukausittain	Kolmen kk välein				
			Kolmen kk välein	Puolivuositain				
5	±14	D B, C A	Joka toinen viikko	Kuukausittain	±2,8	0,5	±7	0,38
			Kuukausittain	Kolmen kk välein				
			Kolmen kk välein	Puolivuositain				
6	±28	E	Puolivuositain	Puolivuositain	±5,6	1,0	-	0,75
			Puolivuositain	Puolivuositain				
Pakastus ja jäähdytys			Puolivuositain	Puolivuositain	±2,8	N/A	±6	N/A

## Liite 2. Uunin U1 luokittelu ja kalibrointivaatimukset

**Lämpökäsittelyuuni U1**

Maksimikäyttölämpötila:	1050 °C
Käyttötilavuus (L*S*K) m:	1,3*1,3*1,2 (2,0 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	1 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	S
Piirturi	S
Ylilämpösuoja	S (anturia ei tarvitse kalibroida)
Kuorma-anturit:	Ei mahdollista käyttää
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 4, instrumentointityyppi D (myös C mahdollinen)	
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 10 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	3 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 1,1 °C / 0,2 % rdg
Säätimen anturi kalibroitava ennen ensimmäistä käyttöä	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
Tarvittava TUS-anturien määrä:	9 kpl
TUS-mittauksen intervalli:	3 kk / 6 kk (4 hyväksytyä testiä)
SAT-mittauksen intervalli:	
Ennakoiva huolto-ohjelma	On
Voi käyttää pidennettyä jaksoa	1 kk välein
SAT-mittauksen suurin sallittu virhe	± 2,2 °C / 0,4 % rdg
Suurin sallittu offset-säätö	± 6 °C
TUS/SAT-antureiden kalibrointi-intervalli	6 kk välein (katso huomautus)
TUS-antureiden tyyppi:	S, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe:	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
SAT-mittauksen anturityyppi	
Säädin	B, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe	± 1,0 °C / 0,5 % rdg
Instrumentointityyppi D ei vaadi piirturin käyttöä, joten SAT-mittaus ei koske piirturin antureita.	
TUS/SAT-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:	
Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli 12 kk	
Ylilämpösuojan toiminnan testaus & kirjaaminen:	Viikoittain

## Huomautuksia:

Jalometalliset TUS- ja SAT-anturit kalibroidaan akkreditoidussa kalibrointilaboratoriossa, joten on perusteltua pidentää SAT- ja TUS-antureiden kalibrointi-intervalli sekundäärinormaalien tasolle, joka on 24 kk.

Virhelukemissa käytetään lämpötilaa tai prosenttiosuutta lukemasta, sen mukaan kumpi on isompi.

**Lämpökäsittelyuuni U2**

Maksimikäyttölämpötila:	750 °C
Käyttötilavuus (L*S*K) m:	1,2*1,2*1,2 (1,7 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	3 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	K
Piirturi	K
Ylilämpösuoja	K
Kuorma-anturit:	Ei luultavasti mahdollista käyttää
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 2, instrumentointityyppi D	<b>(Tyyppin B vaatimukset)</b>
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 6 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	3 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 1,1 °C / 0,2 % rdg
Säätimen anturi kalibroitava ennen ensimmäistä käyttöä	± 1,1 °C / 0,4 % rdg
Tarvittava TUS-anturien määrä:	9 kpl per vyöhyke
TUS-mittauksen intervalli:	1 kk / 2 kk (8kpl) <b>(1 kk/ 3kk (4))</b>
SAT-mittauksen intervalli:	Viikon välein <b>(2vk)</b>
Ennakoiva huolto-ohjelma	Ei vaikutusta <b>(On)</b>
Voi käyttää pidennettyä jaksoa	Ei vaikutusta <b>(1 kk)</b>
SAT-mittauksen suurin sallittu virhe	± 1,7 °C / 0,3 % rdg
Suurin sallittu offset-säätö	± 3 °C
TUS-antureiden tyyppi:	K, kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe:	± 1,1 °C
TUS-antureiden uudelleenkäyttö	15 käyttökertaa @ 750 °C
SAT-antureiden kalibrointi-intervalli	6 kk välein
SAT-mittauksen anturityyppi	
Säädin & piirturi	R/S, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe	± 1,0 °C / 0,25 % rdg
TUS/SAT-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:	
Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli 12 kk	
Ylilämpösuojan toiminnan testaus & kirjaaminen:	Viikoittain

**Toimenpiteet:**

Instrumentointityypin B käyttäminen on mahdollista vain, jos keksitään tapa, miten kuorma-anturit voidaan viedä kuorman mukana uuniin. Tyyppi B vaatii yhden kuorma-anturin käyttämistä per säätövyöhyke ja mahdollistaa väljemmät kalibrointi-intervallit.

Instrumentointityyppi D ei vaatisi kuorma-anturia, mutta prosessin vaatimukset intervallien suhteen ovat niin tiukat, ettei uunin päivitystä kannata tehdä tälle tyyppille.

Vain yksi uunin vyöhykkeistä on tarpeen luokitella (vyöhyke jossa ylälämpösuojan anturi).

TUS-mittausta varten kannattaa tehdä kalibrointiteline ja käyttää kalibroinnissa kertakäyttöisiä TUS-antureita. Muille uuneille tullaan hankkimaan kelallinen K-tyypin termoparilankaa, jota voi käyttää myös uunilla U2, kunhan käyttötarve huomioidaan myös anturilangan kalibrointipisteissä.

Säätimen mittaustulos pitää tallentaa piirturille ja nykyisessä säätimessä pitäisi olla mahdollisuus mittaustuloksen ulostuloon jänniteviestinä, mutta sen toimivuus pitää varmistaa. Vaihtoehtoisesti tähän tarkoitukseen voi käyttää SAT-anturin mittaustulosta, jos käytetään säätimen anturin rinnalla kiinteää SAT-anturia ja sen mittaustulos viedään piirturille.

Uunin piirturi on jo uusittu, eikä muita mittalaitteita olisi tarpeen uusia.

**Maalinkuivausuuni U3 (Sermetel-pinnoite)**

Maksimikäyttölämpötila:	350 °C
Käyttötilavuus (L*S*K) m:	1,0*1,3*1,2 (1,6 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	2 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	K (tulos piirturille)
Piirturi	K
Ylilämpösuoja	K
Kuorma-anturit:	K-tyyppi, kertakäyttöinen
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 3, instrumentointityyppi B	
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 8 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 4, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	3 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 1,1 °C / 0,2 % rdg
Tarvittava TUS-anturien määrä:	9 kpl per vyöhyke
TUS-mittauksen intervalli:	3 kk/ 6 kk (3 hyväksyttyä testiä)
SAT-mittauksen intervalli:	
Ennakoiva huolto-ohjelma	On
Voi käyttää pidennettyä jaksoa	3 kk välein
SAT-mittauksen suurin sallittu virhe	± 2,2 °C / 0,4 % rdg
Suurin sallittu offset-säätö	± 5 °C
TUS-antureiden tyyppi:	
Suurin sallittu virhe:	K, kertakäyttöinen ± 1,1 °C (kelakalibrointimetodi)
TUS-antureiden uudelleenkäyttö	30 käyttökertaa @ 350 °C
SAT-antureiden kalibrointi-intervalli	
SAT-mittauksen anturityyppi	3 kk välein (päätös 24 kk)
Säädin & kuorma-anturi	N, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe	± 1,1 °C / 0,4 % rdg
Kuorma-anturien määrä:	
Suurin sallittu virhe:	1/vyöhyke ± 1,1 °C (kelakalibrointimetodi)
Käyttöaika:	3 kk / 270 kertaa
TUS/SAT-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:	
Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli	12 kk
Ylilämpösuojan toiminnan testaus & kirjaaminen:	Viikoittain

Virhelukemissa käytetään lämpötilaa tai prosenttiosuutta lukemasta, sen mukaan kumpi on isompi.



### **Maalinkuivausuuni U3 (Sermetel-pinnoite)**

#### Toimenpiteet:

Uunista vain toinen lämmitysvyöhykkeistä kannattaa luokitella vaatimusten mukaiseksi, koska se vähentää tarvittavien TUS-anturien määrää ja helpottaa tasaisuusvaatimuksen saavuttamista. Uunin ylikuumenemissuojan anturi tulee sijoittaa samaan säätövyöhykkeeseen.

Uunilla on olemassa 8 vapaata läpivientireikää TUS- tai kuorma-antureita varten, mutta ne eivät riitä vaadituille yhdeksälle TUS-anturille. Uunin ovi ja pohja ovat samaa rakennetta ja ovesa on kaksi valmista läpivientireikää, joita kannattaa hyödyntää. TUS-mittausta varten tehdään uunin lavalle sopiva kalibrointiteline, johon kiinnitetään oven läpi tuodut TUS-anturit.

Instrumentointityypin B vaatimusten mukaan käytettävä yhtä kuorma-anturia per lämmitysvyöhyke. Tuotannon aikana kuorma-anturi on helppo viedä ovien läpivienneistä uuniin sisälle.

Uunin kalibrointia varten hankitaan kelallinen kertakäyttöistä K-tyypin termoparilankaa, joka pitää kalibroida ennen ensimmäistä käyttöönottoa molemmista päistä otettavilla näytteillä. Termoparilangan kalibroinnissa tulee huomioida myös kalibrointipisteet, joita tarvitaan muilla uuneilla.

Uunin piirturi uusittava, jotta tarkkuusvaatimukset täyttyvät. Tällöin sitä voidaan ennalta tehdyn päätöksen mukaan käyttää myös TUS-mittauksen tallentamiseen.

Ylikuumenemissuojan ja säätimien uusimistarve täytyy erikseen selvittää. Säätimen mittaustulos pitää tallentaa piirturille ja nykyisessä säätimessä pitäisi olla mahdollisuus mittaustuloksen ulostuloon jänniteviestinä, mutta sen toimivuus pitää varmistaa.

SAT-antureiksi hankittava N-tyypin ei-kertakäyttöisiä antureita 2 kpl. SAT-mittaus tulee tehdä sekä säätimelle että kuorma-anturin mittaustuloksesta tallentavalle piirturille.

SAT-mittaus tehdään vain uunin tuotantokäytön yhteydessä, koska uunia käytetään harvoin.

**Maalaamon kiertoilmauuni U5 (uunit U4, U6, U7, U19 vastaavanlaisia uuneja)**

Maksimikäyttölämpötila:	250 °C
Käyttötilavuus (L*S*K) m:	1,0*0,9*0,9 (0,81 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	1 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	K
Ylilämpösuoja	K
Kuorma-anturit:	Ei tarpeen käyttää
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 3, instrumentointityyppi D	
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 8 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	12 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 10 °C
Tarvittava TUS-anturien määrä:	9 kpl (katso huomautus)
TUS-mittauksen intervalli:	3 kk / 6 kk (4 hyväksyttyä testiä)
TUS-antureiden tyyppi:	K, kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe:	± 1,1 °C (kelakalibrointimetodi)
TUS-antureiden uudelleenkäyttö	30 käyttökertaa @ 250 °C
SAT-antureiden kalibrointi-intervalli	3 kk välein
SAT-mittauksen anturityyppi	
Säädin	N, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe	± 1,1 °C / 0,4 % rdg

TUS-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:

Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli 12 kk

Toimenpiteet:

Uunille kannattaa toteuttaa uunin U3 ehdotuksen mukainen TUS-mittaus, jossa antureina käytetään saman kelan kertakäyttöistä termoparilankaa.

Säätimen mittaustulos pitää tallentaa piirturille ja nykyisessä säätimessä pitäisi olla mahdollisuus mittaustuloksen ulostuloon jänniteviestinä, mutta sen toimivuus pitää varmistaa.

Uunille pitää hankkia paperiton piirturi sekä SAT-mittausanturi.

**Tyhjiöuuni U10**

Maksimikäyttölämpötila:	1200 °C
Käyttötilavuus (ø*K) m:	1,2*1,2 (1,4 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	1 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	S
Piirturi/kuorma-anturit	K
Ylilämpösuoja	S
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 4, instrumentointityyppi B	
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 10 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 4, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	3 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 1,1 °C / 0,2 % rdg
Tarvittava TUS-anturien määrä:	9 kpl
TUS-mittauksen intervalli:	3 kk / 6 kk (3 hyväksyttyä testiä)
Suurin sallittu offset-säätö:	± 6 °C
TUS-antureiden kalibrointi-intervalli	K-tyypin uudelleenkalibrointi ei ole sallittu tyhjiöuunin käyttölämpötiloissa.
TUS-antureiden tyyppi:	ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe:	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
SAT-mittauksesta luopumisesta johtuvat erityisvaatimukset:	
Säätimen anturin suurin sallittu virhe:	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
Kalibrointi-intervalli:	3 kk, kts std: 3.4.7.2
Anturi uusittava kahden vuoden välein (päätös uudelleenkalibroinnin hyväksymisestä)	
Kuorma-anturit	
Sallittu käyttö:	
- Välillä 980 - 1205 °C 90 käyttökertaa tai 3 kk	
- Välillä 650 - 980 °C 180 käyttökertaa tai 3 kk	
- Alle 650 °C 270 käyttökertaa tai 3 kk	
Suurin sallittu virhe	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
Tyhjiöinstrumenttien kalibrointi-intervalli	12 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 0,5 dekadia
Vuotomittaus	
Intervalli	1 kk välein
Suurin sallittu vuoto	20 micronia / h
TUS/SAT-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:	
Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli 12 kk	
Ylilämpösuojan toiminnan testaus & kirjaaminen:	Viikoittain

## Tyhjiöuuni U10

Toimenpiteet:

B-tyypin SAT-anturin vieminen uunin säätimen anturin läheisyyteen ei onnistu, koska rakenteellisten muutosten tekeminen uunille on käytännöllisesti katsoen mahdotonta. Paras ratkaisu on SAT-mittauksesta luopuminen, joka kuvataan standardin kohdassa 3.4.7.

Uunilla käytetään jo nyt kahta kuorma-anturia. Toista niistä tulisi vaatimusten mukaan käyttää lämpötilansäätämiseen, joka on mahdotonta, mutta uunin ohjauslogiikka käyttämä Load Guaranteed Soak -asetus mahdollistaa saman lopputuloksen saavuttamisen. SAT-mittauksesta luopuminen koskee standardin mukaan säätimen anturia, joka S-tyypin tapauksessa pitää ottaa mukaan kalibroinnin piiriin ja sitä koskee SAT-anturin tarkkuudelle säädetyt vaatimukset.

Kuorma-antureille asetettu käyttökertarajoitus on pahasti ristiriidassa sallitun käyttöaikarajoituksen kanssa. Sallittua käyttöaikaa suhteutettava sallittujen käyttökertojen määrään ja muutettava yläraja vuoteen. Muutos perusteltavissa käyttökertojen suhteellisen pienellä määrällä ja kokemuseräisellä tiedolla siitä, ettei anturien tarkkuus merkittävästi muutu vuoden aikana.

TUS-mittaukseen käytettäville Ei-kertakäyttöisille perusmetallitermopareille määritetään standardissa vain seuraavat rajoitukset:

- Jos käyttölämpötila on yli 260 °C anturia ei saa uudelleen kalibroida
- Jos käyttölämpötila on alle 650 °C anturin uudelleenkäyttö sallitaan 3 vuoden / 90 käyttökerran ajan kohtien 3.1.3.4 ja 3.1.3.5 mukaisin ehdoin (anturi identifioitu, ei vaurioita).

Näiden rajoitusten perusteella tyhjiöuunilla käytettäviä TUS-antureita ei siis saa uudelleen kalibroida tai käyttää kuin kerran, vaikka samoja antureita saa kuorma-antureina käyttää edellisellä sivulla olevien rajoitusten mukaisesti.

TUS-antureita on aiemmin käytetty n. 3-6 vuoden ajan ja kahden vuoden välein tehtävien kalibrointien perusteella niiden tarkkuus on useimmiten säilynyt standardin vaatimusten mukaisena. Samoja antureita käytetään myös hehkutusuunilla U15 ja niiden paikoilleen asentaminen rasittaa niitä, joten anturien mekaaninen kuluminen ollut useimmiten syy anturin vaihtoon kuin huono tarkkuus. TUS-anturien uudelleenkäytön sallimisesta tehtävä päätös, jonka mukaan anturien käyttö sallitaan kahden vuoden ajaksi. Hehkutusuunille käyttöön omat anturinsa.

Uunilla käytettävien tietokorttien tulee sisältää tieto käsittelyn vaatimasta tyhjiötasosta.

Tyhjiön vuotomittaukset tulisi noudattaa BS EN 13184 tai AMS 2769 – standardien ohjeistusten mukaisesti. Standardien vaatimuksia ei ole käytettävissä, eikä ole tietoa testauksen vaatimista mittavälineistä.

Virhelukemissa käytetään lämpötilaa tai prosenttiosuutta lukemasta, sen mukaan kumpi on isompi.

**Hehkutusuuni U15**

Maksimikäyttölämpötila:	1100 °C
Käyttötilavuus (ø*K) m:	1,0*1,2 (0,9 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	1 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	K
Piirturi	K
Ylilämpösuoja	K
Kuorma-anturit:	Mahdollista käyttää
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 5, instrumentointityyppi D (uuni ei kykene RR:n vaatimuksiin)	
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 14 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	3 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 1,1 °C / 0,2 % rdg
Tarvittava TUS-anturien määrä:	9 kpl
TUS-mittauksen intervalli:	3k / 6 kk (4 hyväksyttyä testiä)
SAT-mittauksen intervalli:	
Ennakoiva huolto-ohjelma	On
Voi käyttää pidennettyä jaksoa	1 kk välein
SAT-mittauksen suurin sallittu virhe	± 2,8 °C / 0,5 % rdg
Suurin sallittu offset-säätö	± 7 °C
TUS/SAT-antureiden kalibrointi:	Ei sallittu
TUS-antureiden tyyppi:	K, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe:	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
SAT-mittauksen anturityyppi	R/S, ei-kertakäyttöinen
Säädin & piirturi	R/S, ei-kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe	± 1,0 °C / 0,25 % rdg
TUS/SAT-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:	
Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli 12 kk	
Ylilämpösuojan toiminnan testaus & kirjaaminen:	Viikoittain

**Huomautuksia:**

TUS-antureina ei voi käyttää kertakäyttöisiä antureita korkean lämpötila takia, joten antureina kannattaa käyttää 1,5 mm MIMS-lanka-antureita, jotka standardin mukaan olisivat uunin käyttölämpötiloissa kertakäyttöisiä (vertaa tyhjiöuunin antureihin).

SAT-anturin sijoittaminen erittäin vaikeaa, joten voi olla tarpeen käyttää SAT-mittauksesta luopumista.

Uunin piirturi uusittava. Säätimen anturin mittaustuloksen ulostulo piirturia varten selvitettävä.

Uunia U15 ei voi luokitella Rolls-Roycen vaatimusten mukaiseksi eikä uuniluokitus 5 ole todennäköisesti käyttökelpoinen muillakaan valmistajilla, joten tarkempia muutosehdotuksia ei ole tehty.

**Pienet sovitusuunit U11, U12, U14**

Maksimikäyttölämpötila:	250 °C
Käyttötilavuus (L*S*K) m:	0,4*033*0,4 (0,053 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	1 kpl
Uunin termoparityyppi:	Ei-kertakäyttöinen
Säädin	K
Ylilämpösuoja	K
Kuorma-anturit:	On mahdollista käyttää
Soveltuva luokitus: Uuniluokka 4, instrumentointityyppi D	
Lämpötilan tasaisuusvaatimus	±10 °C
Instrumentointivaatimukset	1, 2, 5 (katso kohta 3.4)
Uunin instrumenttien	
Kalibrointi-intervalli:	3 kk välein
Tarkkuusvaatimus:	± 1,1 °C / 0,2 % rdg
Tarvittava TUS-anturien määrä:	5 kpl
TUS-mittauksen intervalli:	3 kk / 6 kk (4 hyväksyttyä testiä)
SAT-mittauksen intervalli:	
Ennakoiva huolto-ohjelma	On
Voi käyttää pidennettyä jaksoa	1kk välein
SAT-mittauksen suurin sallittu virhe	± 2,2 °C / 0,4 % rdg
Suurin sallittu offset-säätö	± 6 °C
TUS/SAT-antureiden kalibrointi-intervalli	3 kk välein
TUS-antureiden tyyppi:	K, kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe:	± 2,2 °C / 0,75 % rdg
SAT-mittauksen anturityyppi	
Säädin & piirturi	N, kertakäyttöinen
Suurin sallittu virhe	± 1,1 °C / 0,4 % rdg
TUS/SAT-mittauksissa käytettävän referenssimittalaitteen kalibrointi-intervalli:	
Teknisen päätöksen perusteella Beamex MC5/MC6:n kalibrointi-intervalli 12 kk	
Ylilämpösuojan toiminnan testaus & kirjaaminen:	Viikoittain

**Huomautuksia:**

Näitä uuneja käytetään esimerkiksi laakerisovitukseen, kun osien lämpötilalaajentumisen avulla sovitetaan osat tiukasti toisiinsa.

Tällaiseen käyttötarkoitukseen ei missään nimessä kannata sijoittaa vaatimusten edellyttämiä toimenpiteitä, ellei niitä jostain syystä erittäin painavasta syystä katsota tarpeelliseksi. Tiedot näiden uunien vaatimuksista on kuitenkin hyvä olla olemassa, jos näiden uunien päivitystä joskus halutaan selvittää. Jos/kun johonkin tiettyyn työvaiheeseen tarvitaan luokiteltua uunia, kannattaa näissä tapauksissa käyttää esimerkiksi maalaamon uuneja, jos ne tullaan päivittämään standardin vaatimusten mukaisiksi.

**Kuivausuuni U17**

Maksimikäyttölämpötila:	70 °C	
Käyttötilavuus (L*S*K) m:	1,6*1,6*2,0	(5,0 m <sup>3</sup> )
Lämmitysvyöhykkeitä:	2 kpl	
Uunin lämpöanturityyppi:	Pt100	
Säädin	S	

Soveltuva luokitus: Uuniluokka 4, instrumentointityyppi D

Lämpötilan tasaisuusvaatimus	± 10 °C
Instrumentointivaatimukset	-

Huomautuksia:

RR TSD549J: Subtask 70-00-00-370-711-003 Non-critical drying/fitting applications

RR:n ohjeistuksen mukaan kuivausuuni lukeutuu alle 121 °C käyttölämpötilojen ei-kriittisiin lämmitysuuneihin. Uunilla tarvittavia instrumentteja ovat vain lämpötilansäädin ja/tai lämpömittari. Uunilla ei tarvitse olla piirturia, eikä uunia koske päivittäiset/viikoittaiset tarkastukset.

Uunille pitää tehdä alustava lämpötilan seurantamittaus (TUS-mittaus), joka on sille jo tehty. Aikaisemmin Rolls-Roycen ohjeistus asiasta oli tarkempi, jonka vuoksi uunille on tehty lämpötilakalibrointeja 3 kk välein. Ohjeen uuden version mukaan tästä voidaan nyt luopua. Uusi alustava lämpötilan tasaisuusmittaus on tehtävä vain silloin jos uunille tehdään merkittäviä muutostöitä/korjauksia.

Uunille pitää asettaa tiedote, joka kertoo sallitut käyttötarkoitukset.

Uunin instrumenttien kalibrointi-intervalli:	12 kk
Tarkkuusvaatimus:	± 10 °C

(Kuivausuunille U18 pätee samat vaatimukset, mutta sillä ei todennäköisesti koskaan tulla tekemään RR:n töitä)