

Mikko Halonen

Palonturvallaitteiden testausjärjestelmän suunnittelu

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Kone- ja tuotantotekniikka

Insinöörityö

19.4.2015

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Mikko Halonen Palonturvallisuuden testausjärjestelmän suunnittelu 28 sivua + 2 liitettä 19.4.2015
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Koulutusohjelma	Kone- ja tuotantotekniikka
Suuntautumisvaihtoehto	Energia- ja ympäristötekniikka
Ohjaajat	Tuotekehityksen johtaja Samuli Lintonen Lehtori Markku Saarnio
<p>Tämän insinöörityön tarkoituksena oli suunnitella palonturvallisuuden testausjärjestelmä. Työn toimeksiantajana toimi SAFERA Oy, joka on valmistanut vuodesta 2008 lähtien palonturvallisuuden testauslaitteita kotitalouksien keittiöihin. Laitteiden järjestelmällinen ja kattava testaus on erityisen tärkeää niiden tarkoituksenmukaisen toiminnan kannalta. Työssä keskityttiin erityisesti testaustilan referenssisuureiden mittaamiseen, jotta testattavien laitteiden mittaustuloksille on olemassa luotettava vertailukohta.</p> <p>Työn alussa tarkasteltiin keittiön palonturvallisuuden tarpeellisuutta sekä niiden kehittämisen historiaa aikaisempien tutkimusten muodossa. Tämän jälkeen testausjärjestelmälle laadittiin vaatimuslista. Sen mukaan määriteltiin menetelmät rakenteellisten muutosten suorittamiseen erilaisten olosuhteiden saavuttamiseksi sekä menetelmät referenssisuureiden, kuten lämpötilojen ja kosteuden mittaamiseen eri paikoista testaustilassa.</p> <p>Erilaisten olosuhteiden luomiseksi testaustilaan valittiin korkeussäädöllä oleva teline liesitasoille eri asennuskorkeuksien mahdollistamiseksi sekä mahdollistettiin ilmanvaihdon sijainnin muuttaminen luontevasti. Työn pääasiallisena tarkoituksena oli kuitenkin määrittää mahdollisimman tarkoituksenmukaiset menetelmät lämpötilojen sekä kosteuden mittaamiseksi testaustilassa. Tämä tehtiin tarkastelemalla erilaisia anturointimenetelmiä ja valitsemalla sopivimmat testausjärjestelmän tarkoituksenmukaisen toimivuuden varmistamiseksi. Anturointimenetelmiksi päädyttiin valitsemaan termoparit, infrapuna-anturi sekä kapasitiivinen kosteusanturi. Vaatimuslistan mukaisesti näille antureille valittiin myös optimaalisimmat sijoituspaikat testaustilasta. Lopuksi tarkasteltiin myös mahdollisuutta suorittaa tiedonkeruu ulkoisen valmistajan mittauslaitteilla.</p>	
Avainsanat	Palonturvallisuuden testausjärjestelmä

Author Title	Mikko Halonen Designing of a Testing System for Fire Safety Devices
Number of Pages Date	28 pages + 2 appendices 19 April 2015
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Mechanical Engineering
Specialisation option	Energy and Environmental Engineering
Instructors	Samuli Lintonen, R&D Director Markku Saarnio, Lecturer
<p>The purpose of this Bachelor's thesis was to design a testing system for fire safety devices. The thesis was commissioned by SAFERA Oy which has been developing and manufacturing fire safety equipment for household kitchens since 2008. Systematic and comprehensive testing of the devices is of utmost importance because these devices should function as intended in every possible situation. In the thesis emphasis was placed on the measurement of reference variables in the testing laboratory so that there would always be a reliable point of reference for the devices under testing.</p> <p>In the beginning of the thesis the necessity of fire safety devices for kitchens and their development history were examined through previous studies. After that the required features for the testing system were determined. They included the need to execute structural changes in the laboratory in order to achieve different conditions and the demand for various different reference variables such as temperatures and moisture to be measured.</p> <p>In order to achieve different conditions in the laboratory, it was decided to implement a height adjustable stand for stoves and enable the possibility of changing the route of ventilation with relative ease. The different methods of measuring temperatures and moisture were compared and it was decided to use thermocouples, an infrared temperature sensor and a capacitive humidity sensor in the laboratory. Optimal locations for the sensors were also determined. In conclusion, the possibility of implementing a third party data acquisition system was also examined.</p>	
Keywords	Fire safety devices, testing system

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Työn tausta	1
2.1	Liesipalot	1
2.2	SAFERA- liesivahdit	3
2.2.1	SAFERA Airis	3
2.2.2	SAFERA Siro	4
3	Vaaratilanteiden tunnistus	5
3.1	Tunnistusmenetelmät	5
3.2	Ruoanlaiton fysiikka	8
3.2.1	Veden lämmittäminen	8
3.2.2	Öljyn lämmittäminen	9
4	Vaatimuslista	10
5	Testaustilan rakenne	12
6	Lämpötilojen mittaaminen	12
6.1	Termopari	13
6.1.1	Lämpötila-antureiden sijoittaminen	15
6.1.2	Redundanssi	17
6.2	Infrapuna-anturi	18
6.2.1	Valinta	21
7	Kosteuden mittaaminen	22
7.1	Kosteusanturit	22
7.1.1	Kapasitiivinen kosteusanturi	23
8	Tiedonkeruu	24
8.1	Tiedonkeruujärjestelmän vaatimukset	26
9	Yhteenveto	27
	Lähteet	28
	Liitteet	
	Liite 1. Mittauspöytäkirja	
	Liite 2. Kaaviokuva antureiden sijoituspaikoista	

1 Johdanto

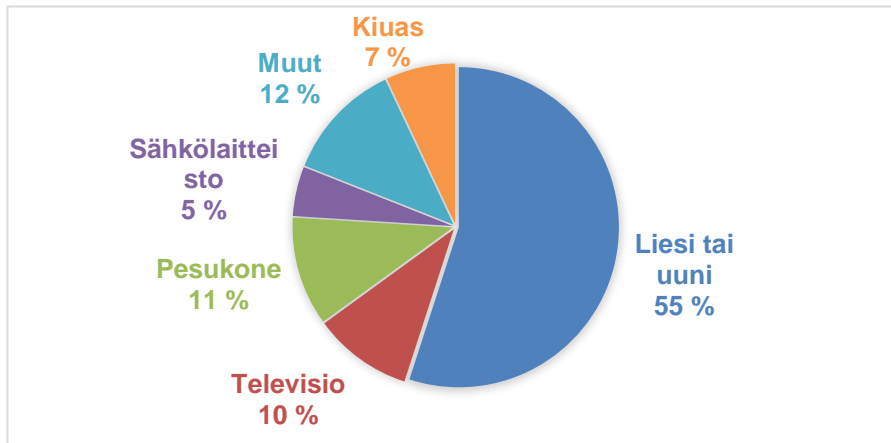
Tämän opinnäytetyön tarkoituksena on suunnitella testausjärjestelmä keittiön palonturvallisuudelle. Työn toimeksiantaja toimii SAFERA Oy, joka on vuodesta 2008 asti kehittänyt ja valmistanut erilaisia palonturvallisuudelle, kuten liesivahteja kotitalouksien keittiöihin. Yrityksen liikevaihto oli vuonna 2013 1,2 milj. euroa ja se työllistää noin 10 henkilöä.

SAFERA-liesivahti on suunniteltu ennaltaehkäisemään tyypillisiä keittiöissä sattuvia vahinkoja valvomalla aktiivisesti liedien sekä sen ympäristön lämpötiloja. Liesivahdille on oleellista toimia luotettavasti mahdollisimman useissa erilaisissa olosuhteissa ja ruoanlaittilanteissa, minkä takia niiden kattava ja järjestelmällinen testaaminen on hyvin tärkeää. Laitteille on jo olemassa testausjärjestelmä, mutta työn tarkoituksena on suunnitella vastaava järjestelmä monipuolisempaan ja luotettavampaan. Järjestelmän suunnittelussa keskitytään erityisesti testahuoneen referenssisuureiden, kuten lämpötilojen ja kosteuden mittaukseen tutkimalla eri anturivaihtoehtoja. Vaatimuksena on myös mahdollisuus suorittaa rakenteellisia muutoksia testauslaitteissa erilaisten testiolosuhteiden saavuttamiseksi. Työssä tarkastellaan myös hieman mahdollisuuksia suorittaa tiedonkeruu ulkoisten valmistajien tiedonkeruujärjestelmillä.

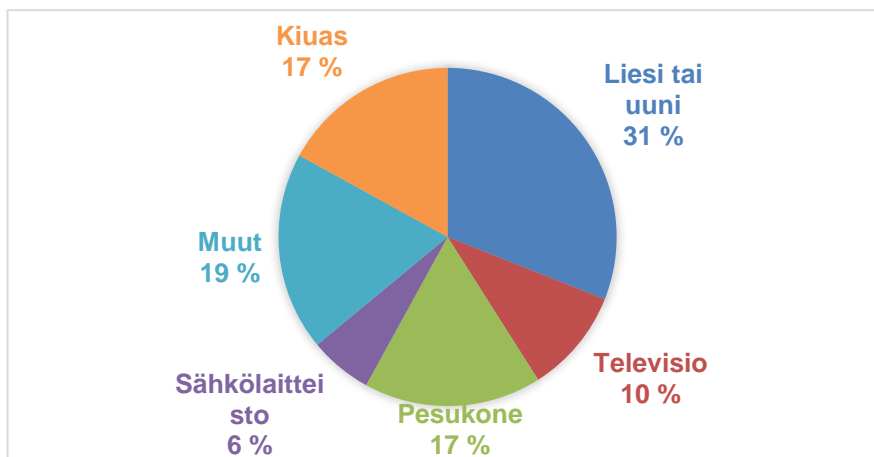
2 Työn tausta

2.1 Liesipalot

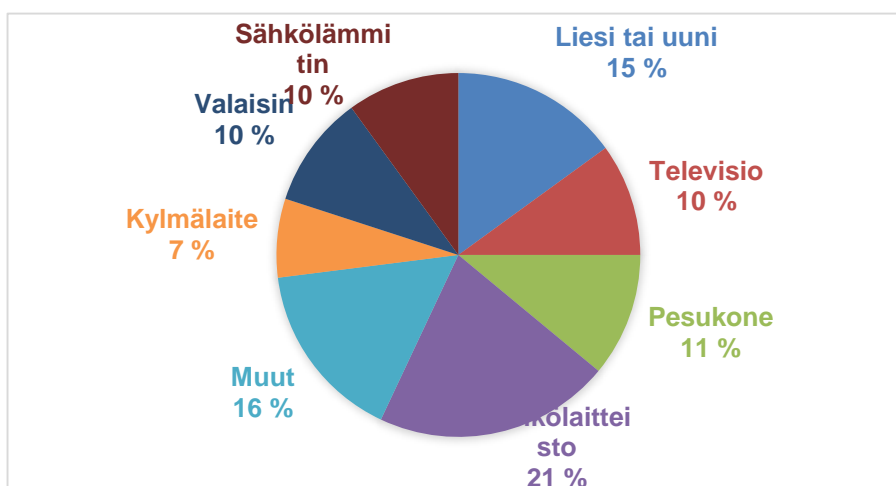
Ruoanlaiton turvallisuuden parantamisen mahdollisuuksia on tutkittu lähivuosien aikana paljon, eikä suotta. Esimerkiksi Suomessa tapahtuu vuosittain keskimäärin noin tuhat liesipaltoa. Liesissä on hyvin harvoin teknisiä vikoja, ja suurin osa liesipaloista onkin seurausta liedien unohtamisesta päälle. Joskus nämä seuraukset voivat olla hyvin vakavia ja liesipaloissa kuoleekin vuosittain Suomessa 5–8 ihmistä [1.] Kuvissa 1–3 on esiteltyinä palon aiheuttajien osuudet kerros-, rivi- sekä erillisissä pientaloissa vuodelta 2004. Huomataan, että kerrostaloissa liesi tai uuni on yli puolessa tapauksista palon aiheuttaja, rivitaloissa noin kolmasosassa ja pientaloissa liesi tai uuni aiheuttaa palon n. 15 %:ssa tapauksista. Kuvasta 4 nähdään, että 38 % palokuolematapauksista on liedien tai uunin aiheuttamia. [2.]



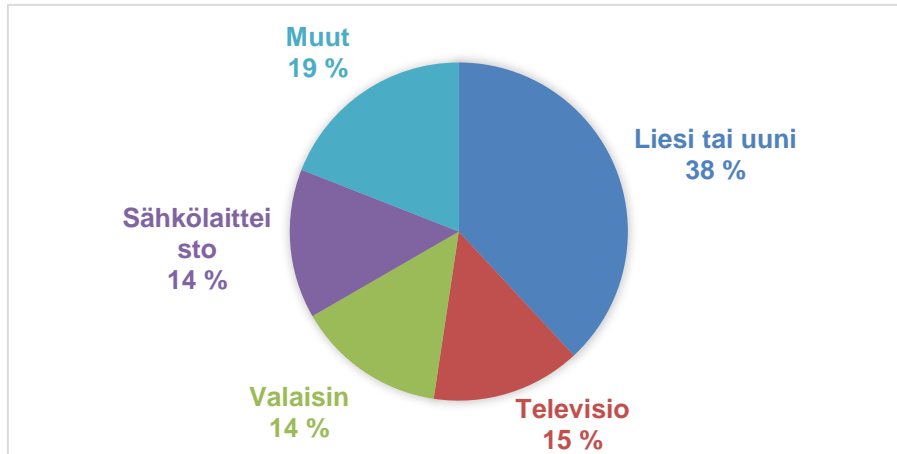
Kuva 1. Palon aiheuttajat kerrostaloissa [2].



Kuva 2. Palon aiheuttajat rivitaloissa [2].



Kuva 3. Palon aiheuttajat erillisissä pientaloissa [2].



Kuva 4. Palon aiheuttaja palokuolematapauksissa [2].

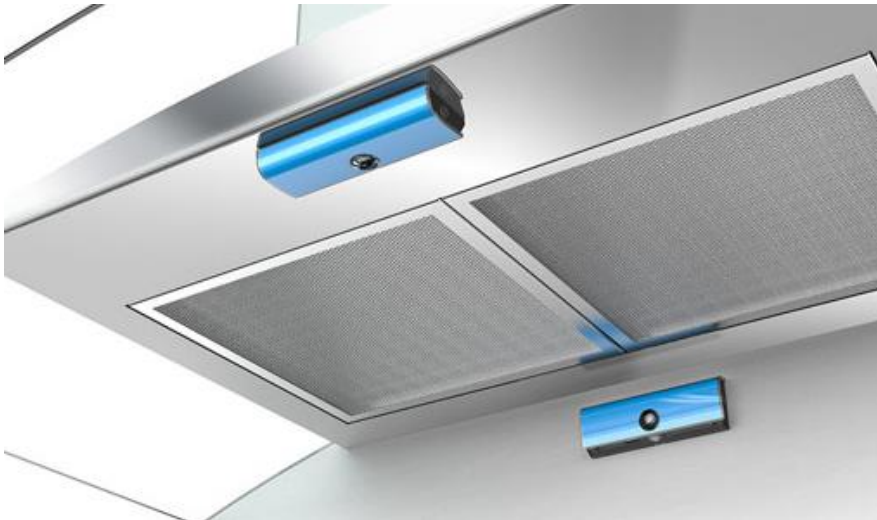
Näiden tapaturmien estoon on pääasiassa kaksi menetelmää. Ensimmäinen menetelmä on käyttää liettä niin, kuin on tarkoitettu ja valvovan silmän alla. Tämä on hyvin tehokas menetelmä, mutta ei käytännössä aina ole mahdollinen. Tämän takia syntyi tarve toiselle menetelmälle, joka on automaattinen liedien ja sen ympäristön lämpötiloja valvova palonturvalaite, nimeltään liesivahti. Eriteltyjen tilastojen valossa on perusteltua, että esimerkiksi Norjassa liesivahdit ovat olleet pakollisia jokaisessa uudis- ja saneerausasunnossa vuodesta 2012 lähtien.

2.2 SAFERA- liesivahdit

SAFERA Oy valmistaa nykyään pääasiassa SAFERA Airis- ja SAFERA Siro-liesivahteja, jotka on lyhyesti esiteltyinä seuraavana. Molempiin malleihin kuuluvat myös virranhallintayksiköt ja mahdollisena lisävarusteena vesivuotovahti sekä palonsammutuslaitteisto.

2.2.1 SAFERA Airis

SAFERA Airis on paristokäyttöinen anturi. Se tunnistaa liedien vaaratilanteet automaattisesti muun muassa infrapuna-antureiden avulla, sekä hälyttää ja katkaisee tarvittaessa virran liedeltä. Se voidaan asentaa joko liesituulettimen pohjaan tai seinään tarrakiinnityksellä, kuten kuvassa 5.



Kuva 5. SAFERA Airis sen kahdessa mahdollisessa sijoituspaikassa liesituulettimella [3].

2.2.2 SAFERA Siro

SAFERA Siro Toimii kuten SAFERA Airis, mutta saa virran verkosta ja asennetaan seinään liesituulettimen alle, kuten kuvassa 6.



Kuva 6. SAFERA Siro asennettuna seinään liesituulettimen alle [3].

3 Vaaratilanteiden tunnistus

3.1 Tunnistusmenetelmät

Liesivahdin toimintaan kuuluu erittäin oleellisella tavalla vaaratilanteiden tunnistus, joka tapahtuu pääosin lämpötiloja seuraamalla. Testausjärjestelmää suunniteltaessa aikaisemmista tähän liittyvistä tutkimuksista voikin olla selkeää hyötyä testaushuoneen anturointia suunniteltaessa.

Eräs ensimmäisistä nykyaikaisista tutkimuksista tehtiin vuonna 1995 Erik L. Johnsonin johdolla National Institute of Standards and Technologyn toimeksi antamana. [3.] Tähän aikaan koettiin, että ei omattu riittävää tietämystä liesipaloa edeltävien olosuhteiden tunnusomaisista piirteistä ja keinoista, joilla liesipaloja voitaisiin estää, joten tarve tutkimukselle oli ilmeinen. Tutkimuksen aiheena oli selvittää erilaisia teknologisia mahdollisuuksia tunnistaa ruoanlaitossa syntyvät vaaratilanteet ennen tulipalon syttymistä sähkö- sekä kaasulietettä käytettäessä. Tutkimuksen ensimmäisessä vaiheessa lähtökohtaisena ajatuksena oli löytää yksi tai useampi luonteenomainen piirre liesipaloja edeltävissä olosuhteissa, joita mahdollinen palonturvalaite voisi käyttää hyväkseen. Tutkimuksen toisessa vaiheessa tutkittiin eri tapoja, materiaaleja ja laitteita, joiden avulla näitä tunnusomaisia piirteitä vaaratilanteiden varalta voitaisiin havaita.

Tutkimukseen valittiin muutamia erilaisia ruoanlaittilanteita, jotka sisälsivät erilaisia raaka-aineita, määriä sekä pannuja. Tätä varten rakennettiin testausjärjestelmä, joka oli käytännössä keittiön olosuhteita imitoiva laboratorio. Laboratorion instrumentointiin valittiin useita erilaisia menetelmiä, jotta saatiin mitattua käytännöllisesti katsoen kaikkia suureita, jotka koettiin merkityksellisiksi ruoanlaittilanteessa. Lämpötiloja mitattiin useista eri kohdista pannusta ja sen sisällöstä, sekä sen yläpuolella olevasta höyrystä ja liesituulettimen pohjasta. Näissä kohdissa käytettiin K-typin termopareja. Testaustilan ympäristön lämpötiloja tarkasteltiin testien aikana myös infrapunakameralla. Ilman suhteellista kosteutta levyn yläpuolella mitattiin helium-neon laserilla ja höyryn virtausnopeutta paine-eroon perustuvalla pitot-putkella. Tutkimuksessa haluttiin selvittää myös mahdollisuus tunnistaa vaaratilanteet savukaasujen perusteella ja tätä varten käytettiinkin infrapunaspektriin perustuvaa FTIR-laitetta (Fourier transform infrared spectrometer). [4, s. 8–13.]

Tutkimuksessa havaittiin muun muassa, että savukaasuja ja ilman laatua mittaavat anturit toimivat kaikkein luotettavimmin vaaratilanteiden tunnistuksessa, vaikkakin niitä pidettiin yleisesti tarpeettoman tarkkoina sekä monimutkaisina. Lämpötilojen mittaamista termopareilla pidettiin suhteellisen luotettavana, mutta epäkäytännöllisenä ruoanlaittoa ajatellen. Infrapunakameran tuloksia ei pidetty luotettavina kaasuhellan liekkien ansiosta, mutta joissakin tapauksissa myös sitä voitaisiin käyttää tutkimuksen mukaan. Höyryn virtausnopeutta mittaamalla ei tutkimuksen mukaan saatu luotettavaa tietoa liesipaloa edeltävistä olosuhteista. Aikaisemmin mainittujen asioiden lisäksi tutkimuksessa saatiin selville muun muassa, että käytettäessä ruostumattomasta teräksestä valmistettua pannua oli liesipalon syttyminen nopeampaa ja todennäköisempää verrattaessa alumiiniseen pannuun. Tutkimuksen mukaan sähköliesi aiheutti vaaratilanteen yleensä nopeammin kuin kaasuliesi, mutta esimerkiksi liesituulettimella ei ollut vaaratilanteiden syntymisen kannalta mitään merkitystä. [5, s. 65–66.]

Vuonna 2011 tehtiin vastaava tutkimus myös National Institute of Standards and Technologyn toimeksi antamana ja Yhdysvaltain kauppaministeriön rahoittamana [4]. Siinä keskityttiin pääosin jo hyväksi todettuihin tapoihin tunnistaa vaaratilanteet ja perehtyä syvemmin sellaisiin, joita olisi luonteva käyttää kotitalouksissa. Tutkimuksessa jaettiin vaaratilanteiden tunnistusmenetelmät kahteen osioon: anturimenetelmät, jotka tunnistavat vaaratilanteen vasta liekkien ilmetessä ja antavat hälytyksen, sekä anturimenetelmät, jotka tunnistavat vallitsevat olosuhteet tulipalon lähestyessä ja antavat hälytyksen. Liekin tunnistaviksi menetelmiksi listattiin seuraavat [5, s. 17]:

- Lämpösulake – mekaaninen laite, joka tietyn lämpötilan (esimerkiksi jonkin metallin sulamispiste) ylittyessä katkaisisi liitäntän ja antaisi varoituksen tulipalosta. Ei vaatisi huoltoa, mutta vaihdettava hälytyksen sattuessa sekä ongelmallinen sijoituksen suhteen.
- Lämpötila-anturi, joka toimii kosketuksen kautta – termopari tai vastaava, jolla olisi luotettava mitata ilman lämpötilaa esimerkiksi liedien yläpuolelta ja joka hälyttäisi tietyn lämpötilan ylittyessä. Tällaista anturia pidettiin myös ongelmallisena sijoituksen suhteen.

- Lämpötila-anturi, joka toimii optisesti – ensisijaisesti infrapuna-anturi, joka hälyttäisi infrapunasignaalin ylittäessä tietyn arvon. Pidettiin herkkänä väärrien hälytysten suhteen esimerkiksi sellaisessa ruoanlaitossa, joka tarvitsee kovia lämpötiloja sekä vaatisi mahdollisesti ajoittaista huoltoa.
- Videokuvan kautta tunnistaminen – tietokone analysoi videokuvaa algoritmien avulla ja pyrkii tunnistamaan kuvasta savua ja/tai liekkejä. Monimutkainen sekä kallis menetelmä, joka olisi mahdollisesti myös herkkä väärille hälytyksille.
- Liekki-ilmaisin – vastaava toimintatapa, kuin esimerkiksi infrapuna-anturilla, mutta käyttää lisäksi ylimääräisiä algoritmeja erottamaan liekit muista lämmönlähteistä, jolloin ei olisi yhtä vikaherkkä. Samalla sitä pidettiin myös huomattavasti kalliimpänä ja monimutkaisempana.
- Lämpökamera – laite, jonka toimintatapa muistuttaa liekki-ilmaisinta ja infrapuna-anturia, mutta sisältää myös katsottavan kuvan liedeltä ja antaa kokonaisvaltaisen kuvan sen lämpötiloista. Tämä olisi erittäin kallis menetelmä.

Menetelmiksi, jotka tunnistavat vaaratilanteen ennen palon syttymistä mainittiin lämpötila-anturit, jotka eivät toimi optisesti, sekä anturit, jotka toimivat optisesti. Näiden käyttö perusteltiin samoin kuin liekin tunnistavissa menetelmissä sillä erotuksella, että hälytyksen lämpötilojen raja-arvot asetettaisiin alhaisemmiksi vastaamaan vaaratilannetta ennen liekkejä. Näiden lisäksi listattiin myös savuilmaisin, joka lieden yläpuolelle asennettuna tunnistaisi ennen liekkejä syntyvän savun. Tätä pidettiin suhteellisen halpana ja luotettavana menetelmänä, mutta myös alttiina väärille hälytyksille. Tutkimuksessa listattiin myös menetelmät, jotka kykenevät sammuttamaan jo syntyneen palon ja/tai estämään sen leviämisen. [5, s. 18–22.] Niitä ei kuitenkaan pidetä tämän opinnäytetyön kannalta kovin merkityksellisinä.

Nykyään vaaratilanteiden tunnistamiseen on vakiintunut aikaisemmista tutkimuksista huolimatta pääasiassa infrapuna-anturit. Käsitellyissä tutkimuksissa niiden todettiin olevan herkkiä väärille hälytyksille, mikä pitää paikkaansa jos vaaratilanteiden tunnistamisessa käytetään vain raakaa käsittelemätöntä anturien mittadataa. Käytännössä tänä päivänä laitteiden optimoimiseen käytetään kuitenkin huomattavan paljon aikaa muun

muassa ohjelmiston algoritmeja muuttamalla. Tällöin niiden kattava testaaminen erilais-
ten tilanteiden avulla on ensiarvoisen tärkeää liesivahdin tarkoituksenmukaisen toimin-
nan kannalta.

3.2 Ruoanlaiton fysiikka

Testausjärjestelmää suunniteltaessa on oleellista tietää mitä fysikaalisia ilmiöitä
ruoanlaittilanteessa tapahtuu, jotta tiedetään mitä suureita ja asioita testaus-
tilanteessa tulee mahdollisesti ottaa huomioon. Nämä ilmiöt vaihtelevat osittain sen mukaan
minkälaisin menetelmin lämmitys suoritetaan.

3.2.1 Veden lämmittäminen

Otetaan esimerkiksi tilanne, jossa liedellä rautalevyn päällä on vettä sisältävä alumiini-
nen kattila. Levyn ollessa päällä siinä oleva vastus lämpenee sähkövirran vaikutuksesta
ja täten lämmittää levyä. Termodynamiikan toisen pääsäännön mukaan lämpötilaerot
pyrkivät tasoittumaan, joten lämmin levy vastavuoroisesti luovuttaa lämpöenergiaa sii-
hen kosketuksissa olevan kattilan pohjaan. Tällöin myös kattilasta siirtyy lämpöenergiaa
siinä sijaitsevaan veteen. Tasapainotilaa ei kuitenkaan saavuteta koska levyyn tuodaan
jatkuvasti lisää lämpöenergiaa ja kattilassa olevan veden lämpötila ei pysty nousemaan
kiehumispistettänsä korkeammalle. Mikäli kattila olisi tyhjä, niin sen pohja ja rautalevy oli-
sivat lopulta lähellä termistä tasapainoa.

Prosessissa, jossa lämpö siirtyy levyltä kattilaan ja kattilasta veteen, tapahtuu yleensä
lämmönsiirtoa kaikilla kolmella eri mekanismilla: johtumalla, konvektion välityksellä ja
säteililyllä. Prosessin ensimmäisessä vaiheessa, lämmön siirtymisessä levyltä kattilaan
lämmönsiirto tapahtuu pääosin johtumalla. Lämpö johtuu levyltä kattilaan niissä kohdin,
joissa ne koskettavat toisiaan. Lämmönsiirto tapahtuu pienissä määrin myös levyn ja
pohjan epätasaisuuksien vuoksi konvektion välityksellä virtaavan ilman mukana. Tämän
lisäksi levy myös luovuttaa lämpöenergiaa ympäristöönsä muihinkin suuntiin, kuten ym-
päriovään ilmaan ja muualle lieteen. Mikäli lämmitykseen käytettäisiin esimerkiksi kaa-
sutoimista liettä, niin pääasiallinen lämmönsiirtomekanismi olisi ilman virtauksien avulla
tapahtuva konvektio. Induktiolieden tapauksessa lämmönsiirto ei poikkeuksellisesti ta-
pahdu millään edellä mainituista mekanismeista. Induktiolieden levyn alla sen sijaan on
kela, joka siihen virtaa syötettäessä synnyttää nopeasti muuttuvan magneettikentän,

joka luo magneettillisesti häviöllisen kattilan pohjaan virtoja. Nämä nopeasti muuttuvat virrat lämmittävät siis kattilan pohjaa ja sitä kautta vettä. Tässäkin tapauksessa myös lieden ympäristö lämpenee, mutta vain kattilan johdosta. [6.]

Kattilan lämmitessä, tavalla tai toisella, siitä siirtyy veteen lämpöä pääosin pohjan kautta johtumalla. Myös kattilan reunat lämmittävät vettä johtumalla, mutta osa reunojen lämpöenergiasta siirtyy ympäristöön säteilemällä ja konvektion avulla. Lämpö siirtyy vedessä itsessään konvektion avulla ja veden lähestyessä kiehumispistettä sen lämpötila onkin pohjassa korkeimmillaan ja pinnalla keskellä matalimmillaan. Veden aloittaessa kiehumisen sen lämpötila lähestyy nopeasti tasapainotilaa kiehumisen aiheuttamien turbulenttisten virtausten ansiosta.

Veden kiehuessa siinä tapahtuu myös olomuodon muutosta nesteestä kaasuun. Yksinkertaistettuna pohjalla muodostuvat vesihöyrykuplat nousevat pinnalle höyryn ollessa vettä kevyempää ja jatkavat matkaansa ympäröivään ilmaan. Aikanaan höyry jälleen viilentyy ja tiivistyy joko ilman tai sen pinnan ansiosta johon höyry osuu. [6.]

3.2.2 Öljyn lämmittäminen

Ruoanlaittolianteessa lämmitetään hyvin usein myös rasvoja, kuten esimerkiksi auringonkukkaöljyä. Fysikaaliset ilmiöt tässä tilanteessa ovat samat, kuin vedelläkin lämmönsiirron puolesta, mutta esimerkiksi auringonkukkaöljy voi veteen verrattuna saavuttaa hyvin paljon korkeamman lämpötilan ja aiheuttaa täten vaaratilanteen.

Öljyä lämmitettäessä sen lämpötila jatkaa nousemistaan vielä veden noin 100 °C:n kiehumispisteen jälkeen ja mikäli levyn lämmitystehoa ei lasketa, niin öljy saavuttaa melko nopeasti *savuamispisteensä*. Se on öljyille ominainen lämpötila, jossa rasva alkaa pilkkoutumaan pienimolekyylisten aineiden haihtuessa ja alkaa täten savuamaan. [7.] Taulukossa 1 on esiteltynä muutamien yleisimpien ruoanlaitossa käytettyjen öljyjen savuamispisteitä.

Taulukko 1. Ruoanlaitossa käytettyjen öljyjen savuamispisteitä [8].

Öljy	Savuamispiste (°C)
Oliiviöljy	165–190
Auringonkukkaöljy	225
Pähkinäöljy	230
Voi	175
Kookosöljy	175

Öljyn savuaminen ruoanlaitossa on merkki siitä, että öljy on liian kuumaa ja lähestyy *leimahduspistettä*. Se on lämpötila, jossa nesteen lämmitessä riittävän korkealle siitä haihtuu niin paljon höyryä, että ne ja ilma muodostavat keskenään nestepinnan päälle palavan kaasuseoksen. Tämän pisteen saavutettuaan neste voi syttyä palamaan, mutta ei kykene ylläpitämään palamista ilman ulkoista lämmönlähdettä. Leimahduspisteet ovat öljyillä noin 200–330 °C. Hieman nesteen *leimahduspistettä* korkeampi lämpötila on sen *palamispiste*, jonka saavutettuaan neste jatkaa palamistaan, vaikka lämmönlähde poistettaisiinkin, kunnes neste tai sen palamiseen tarvittava happi on loppunut. [9, s. 5.]

Muuttuvia suureita testausjärjestelmässä ovat siis ainakin lämpötilat useissa eri pisteissä sekä esimerkiksi testahuoneen ilmankosteus.

4 Vaatimuslista

Tarkoituksena on suunnitella testausjärjestelmä, jolla voidaan luontevasti testata lie-sivahtien, ja mahdollisesti muiden vastaavien palonturvallitteiden, toimintakykyä erilaisissa tilanteissa. Testausjärjestelmään kuuluu ympäristöstä eristetty tila, jossa testaaminen tapahtuu sekä tämän ulkopuolella oleva alue, josta testaustilaa tarkkaillaan. Tässä työssä keskitytään itse tilaan, jossa testaaminen tapahtuu. Tällaista testausjärjestelmää suunniteltaessa on otettava huomioon useita asioita sen luotettavuuden, tehokkuuden ja tarkoituksenmukaisuuden varmistamiseksi.

Tärkeää on esimerkiksi mahdollistaa rakenteellisten muutosten suorittaminen testaustilassa siten, että myös aikaisempiin olosuhteisiin on helppo palata jälkeinpäin. Käytännössä tämä tarkoittaa seuraavia asioita:

- Liesityyppiä voidaan vaihtaa luontevasti esimerkiksi rautalieden, keraamisen lie-
den ja induktiolieden välillä niin neljän, kuin kuuden levyn asennuksissakin.
- Liesitason ja liesikuvun pohjan välistä etäisyyttä tulee pystyä muuttamaan yleis-
ten 40–70 cm asennuskorkeuksien välillä.
- Liesikuvun tulee olla helposti poistettavissa tai vaihdettavissa erilaiseen.
- Ilmanvaihdon reittiä tulee pystyä muuttamaan siten, että se toimii joko liesikuvun
tai testaustilan katon rajan kautta.

Testaustilassa vallitsevista olosuhteista, joita tarkasteltiin kappaleessa 2.3, kuten esimer-
kiksi lämpötiloista eri pisteissä ja kosteudesta, on testien aikana oltava tietoinen. Tämän
avulla voidaan varmistaa toistojen vertailukelpoisuus toistettaessa sama testi myöhem-
min uudestaan. Lämpötilan ja muiden suureiden mittauspisteille tulee siis määrittää tar-
kat vakiopaikat sekä menetelmät, joita käytetään referenssinä. Käytännössä tämä tar-
koittaa seuraavia mitattavia suureita:

- ilman lämpötila liesikuvun pohjassa
- testaustilan yleinen ilman lämpötila
- öljyn lämpötila kattilassa/pannussa
- liesitason keskimääräinen lämpötila
- huoneilman kosteus testaustilassa.

Näitä suureita tulee mitata dataloggerin tai muun vastaavan tiedonkeruulaitteen välityk-
sellä.

5 Testaustilan rakenne

Testauslaboratorio sijaitsee SAFERA Oy:n tiloissa Vantaalla. Testaustilaa tarkkaillaan ulkopuolelta sen ovesta olevasta tarkkailuikkunasta. Ovi on tiivistetty siten, että sen ollessa kiinni testaustilaan muodostuu ilmanvaihdon ansiosta alipaine. Tällöin testauksissa syntyvät savukaasut eivät virtaa tarkkailutilaan. Oven yläpuolella testaustilassa on 160 mm halkaisijaltaan oleva reikä, joka toimii ilmanvaihtokanavana. Testaustilasta voidaan vetää esimerkiksi erilaisten antureiden johtimia tarkkailutilaan seinässä olevan 30 mm halkaisijaltaan olevan reiän kautta. Laboratorion pääasiallisena valaisimena toimii katossa sijaitseva loisteputkivalaisin.

Liesialueen yläpuolelle katon rajaan on asennettuna kisko, johon voidaan helposti asettaa liesikupu ja myös ottaa se pois ilman työkaluja. Testausjärjestelmää varten rakennettiin tämän lisäksi myös referenssiliesikupu Euroopan liesivahti -standardin koko-ohjeiden mukaisesti, kuten liitteessä 2. Katon rajassa sijaitsevaan ilmanvaihtokanavaan voidaan liittää ilmanvaihtoputki, jonka toinen pää on liitettynä liesikupuun. Tarvittaessa ilmanvaihtoputki voidaan myös ottaa irti ja laittaa takaisin ilman työkaluja.

Liesikuvun alla sijaitsee kaksi korkeussäädöllä toimivaa pukkia, joiden päälle voidaan sijoittaa mikä tahansa testeissä tarvittava liesitaso. Liesikuvun pohjan ja liesitason välistä etäisyyttä voidaan säätää vaatimuslistan mukaisesti välillä 40–70 cm pukkien avulla.

6 Lämpötilojen mittaaminen

Lämpötilat tulee mitata vakiopaikoista, jotka määriteltiin suuntaa antavasti vaatimuslistassa kappaleessa 3. Mitattavaa kohdetta koskettavia lämpötilojen mittaamismenetelmiä on potentiaalisesti kolme erilaista.

- Termopari – anturi, jonka toiminta perustuu lämpösähköiseen ilmiöön kahden eri metallin liitoksessa.
- Termistori – anturi, jonka toiminta perustuu lämpötilan mukaan muuttuvaan resistanssiin vastuksessa. NTC-termistorissa vastuksen resistanssi pienenee lämpötilan kasvaessa ja PTC-termistorissa toimintaperiaate on päinvastainen.

- Vastuslämpötila-anturi – anturi, joka toimii kuten termistori. Vastuslangan materiaalina käytetään keraamin tai polymeerin sijasta puhdasta metallilankaa, kuten platinaa.

Näistä jokaisella on omat hyötynsä ja haittansa sekä siten käyttösovelluksensa. Näitä voidaan vertailla niiden mitta-alueen, stabiiliuden, tarkkuuden, herkkyyden ja vasteajan perusteella. Termopari on näistä yleisin menetelmä sen erittäin laajan mitta-alueen (−180...+1 300 °C), nopean vasteajan, kohtuullisen hinnan ja hyvin yksinkertaisen rakenteen vuoksi. Sen tarkkuus ei kuitenkaan ole kovin hyvä (n. $\pm 1,5$ °C). Vastuslämpötila-antureiden etuihin kuuluvat niiden parempi stabiilius, tarkkuus (n. $\pm 0,5$ °C) sekä herkkyys. Niiden mitta-alue (−200...+600 °C) ei kuitenkaan ole kovin laaja lämpimässä päässä, ne ovat kalliimpia ja vaativat toimintatapansa vuoksi ulkoisen virtalähteen. Termistoreissa on näistä kaikista kapein mitta-alue (−60...+200 °C), paras pienten lämpötilaerojen erottelukyky, halvin hinta ja yksinkertaisin rakenne. [10; 11; 12.]

Tässä testausjärjestelmässä tarvittava mitta-alue on huoneen lämmöstä öljyn keskimääräiseen leimahduspisteeseen (21...+320 °C). Käytännössä vaihtoehtoiksi jäävät siis termopari ja vastuslämpötila-anturi termistorin riittämättömän mitta-alueen vuoksi. Testausjärjestelmässä ei vaadita erinomaista tarkkuutta, joten päädytään valitsemaan termopari pääasiallisesti lämpötilojen mittaumenetelmäksi. Termoparien käyttöön on päädytty myös tutkimuksissa, joita tarkasteltiin kappaleessa 3.

6.1 Termopari

Termopariksi kutsutaan lämpötila-anturia, joka koostuu kahdesta eri materiaalista valmistetusta johtimesta. Näiden johtimien liitoksessa syntyy lämpötilasta riippuva jännite lämpösähköisen eli seebeckin ilmiön ansiosta. Kun johtimien lämpötilaero kasvaa, niin vastavuoroisesti jännitekin kasvaa. Mitattava lämpötila saadaan selville jännite-eron avulla tiedettäessä kyseisen metalliparin jännitteen riippuvuus lämpötilasta, joka on kokeellisesti mitattu. Termoparissa tapahtuvaa lämpösähköistä ilmiötä voidaan kuvata kaavalla 1.

$$V = \int_{T_{ref}}^{T_{sense}} (S_+(T) - S_-(T)) dT \quad (1)$$

Jossa,

V	jännite
T_{sense}	johtimen 1 lämpötila
T_{ref}	johtimen 2 lämpötila
S_+	seebeck-kerroin positiivisen navan johtimelle
S_-	seebeck-kerroin negatiivisen navan johtimelle
dT	lämpötilaero

Jännitteen suuruus termopareissa käytettävillä metalliseoksilla on yleensä luokkaa 10–70 $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$. Yleisesti ottaen, voidaan sanoa mittauksen tarkkuuden olevan sitä parempi, mitä pienempi on termoelementin ominainen jännite. Tarkkuuteen vaikuttaa kuitenkin käytännössä myös kylmän pään kompensointi eli mittalaitteen puolen johtimien päiden lämpötilan mittaus, mikä on ensiarvoisen tärkeää ottaa huomioon termopareja käytettäessä. Verrattain yksinkertaisen rakenteensa, hyvän tarkkuuden ja laajan mitta-alueensa vuoksi, termopareja käytetään lämpötilojen mittaamiseen hyvin yleisesti mitä moninai-
simmissa sovelluksissa.

Termopareja voidaan teoriassa valmistaa mistä tahansa sähköä johtavista metalleista, mutta materiaaleiksi on vakiintunut tiettyjä metalliseoksia, joiden ominaisuudet soveltuvat lämpötilanmittaukseen hyvin. Yleisimmin käytetään nikkelin erilaisia seoksia. Termoparin valinta riippuu käyttökohteesta vaadittavasta mitta-alueesta ja tarvittavasta tarkkuudesta. Riippuen termoparissa käytetystä metalliparista, sillä voidaan mitata aina –184 $^\circ\text{C}$:sta jopa 1600 $^\circ\text{C}$:seen asti. Termopareilla ei kuitenkaan voida yleensä saavuttaa parempaa mittatarkkuutta, kuin ± 1 $^\circ\text{C}$ varsinkaan korkeilla lämpötila-alueilla, joten erinomaista tarkkuutta vaativiin sovelluksiin on hyvä harkita esimerkiksi vastuslämpötila-anturia. [10.] Taulukossa 2 näkyy muutamien yleisimpien termoparien metalliparit, niiden mitta-alueet jatkuvalla mitta-alueella sekä mittatarkkuus vaativimmalla luokalla mitatuna.

Taulukko 2. Termoparien ominaisuuksia [10].

Anturityyppi	Metallipari	Mitta-alue, jatkuva [°C]	Mittatarkkuus, luokka 1 [°C]
J	rauta	+50...+800	-40...+375: ± 1,5
	constantan		375...+750: ± 0.004*T
K	chromel	0...+1100	-40...+375: ± 1,5
	alumel		375...+1000: ± 0,004*T
T	kupari	-185...+400	-40...+125: ± 0.5
	constantan		125...+350: ± 0.004*T
E	chromel	0...+800	-40...+375: ± 1.5
	constantan		375...+800: ± 0.004*T
N	NiCroSil	0...+1200	-40...+375: ± 1.5
	NiSil		375...+1000: ± 0.004*T

Termoparin toimintaperiaatteen takia johtimet saavat koskettaa toisiaan vain mittaus- eli kuumassapäässä. Ylimääräinen kontakti voi muuntaa mitattua jännite-eroa ja täten vääristää mittaustulosta. Tämän takia johtimien tulee aina olla eristettyinä toisistaan ja eristysmateriaalina käytetäänkin käyttökohteen ympäristön lämpötilasta riippuen esimerkiksi muovia, teflonia tai lasikuitua. Muovieristeisiä termopareja olisi muuten luonteva käyttää, mutta öljyn lämpötilaa mitattaessa myös eristeen lämpötila saattaa nousta mittauspisteen lähellä hyvin korkealle, jolloin vaarana on muovin sulaminen. Johtimien välille saattaa syntyä sellaisessa tapauksessa kontaktipinta, jolloin mittaustulos vääristyy. Tämän takia olisikin parempi käyttää teflon tai lasikuitueristeisiä termopareja, joita voidaan käyttää jopa 480 °C:seen asti. [13.]

Testausjärjestelmässä tarvittava mitta-alue on noin 21...+320 °C. Siis huoneenlämmöstä öljyn keskimääräiseen leimahduspisteeseen. Tällä mitta-alueella K-tyypin termopari on hyvin luonteva valinta muovi-, teflon- tai lasikuitueristeisenä. Taulukosta 2 huomataan, että K-tyypin termoparin tarkkuus on ± 1,5 °C -40–375 °C mitta-alueella, joka on riittävä.

6.1.1 Lämpötila-antureiden sijoittaminen

Lämpötiloja tulee mitata vaatimuslistan mukaisesti liesikuvun pohjasta, testaustilan ilmasta, pannun sisällöstä sekä liesitasosta. Näitä kaikkia lukuun ottamatta liesitason keskimääräistä lämpötilaa, on luonteva mitata termoparin avulla. Liesitason keskimääräisen lämpötilan mittaaminen olisi myös mahdollista termopareilla, mutta tarpeettoman monimutkaista eikä siten tarkoituksenmukaista.

Testaustilan ilman lämpötilaa mitattaessa tarkoituksena on saada yleispätevä kuva huoneen lämpötilasta ja sen mahdollisista muutoksista pidemmän ajan kuluessa. Tällöin tarkoituksenmukaista on mitata lämpötilaa paikasta, jossa se pysyy eri testien välillä mahdollisimman vakiona. Tämä tarkoittaa käytännössä sitä, että mittapäätä ei sijoiteta liesitasan yläpuolelle tai sen välittömään läheisyyteen. Mittapään ei tule myöskään sijaita ilmanvaihtoaukkojen läheisyydessä, sillä virtaava ilma voi vaikuttaa mitattuun lämpötilaan oleellisesti. Asennetaan termopari siis paikkaan, jossa ilman liike ja täten lämpötilan vaihtelu, on mahdollisimman vähäistä. Päädytään sijoittamaan ilman lämpötilaa mittaava termopari tarkkailuikkunasta katsottuna testaustilan vasemmalla puolella olevalle seinälle [liite 2], sillä se sijaitsee kauimpana testaustilan sisällä olevista häiriötekijöistä. Tätä lämpötilaa mitattaessa termoparin eristysmateriaalilla ei ole oleellista merkitystä ja muovieristeinen K-tyyppin termopari on luonteva valinta.

Ilman lämpötilaa mitattaessa liesikuvun pohjasta, tarkoituksena on nähdä kuinka paljon sen lämpötila muuttuu testien aikana sekä myös testien välillä. Tämä on tärkeää, sillä testattavat laitteet sijaitsevat yleensä myöskin liesikuvun pohjassa tai pohjan ja seinän rajassa. Testattavia laitteita ympäröivän ilman lämpötilan muutokset voivat tällöin vaikuttaa testattavien laitteiden antureiden mittauksiin. Tarkoituksenmukaista on siis sijoittaa termopari liesikuvun pohjan ilmanvaihtoaukon keskelle [liite 2]. Tässä kohti lämpötilan vaihtuvuus on suurinta riippuen esimerkiksi siitä, onko ilmanvaihto käytössä liesikuvun kautta ja kuinka monta levyä testissä on käytössä. Taulukossa 3 näkyvät esimerkkinä liesikuvun pohjan ilman lämpötilat (matalin, korkein sekä keskiarvo) K-tyyppin termoparilla mitattuna liesituulettimen ollessa päällä sekä pois päältä. Testi suoritettiin kiehattamalla neljää vettä sisältävää kattilaa 20 minuutin ajan 40 cm asennuskorkeudella ja mittaamalla termoparin lämpötilat yleismittarin avulla. Huomataan, että testattavia laitteita ympäröivä ilma voi olla jopa 5 °C korkeampi liesituulettimen ollessa pois päältä. Luontevaa on valita liesikuvun pohjan ilman lämpötilan mittaamiseen K-tyyppin termopari muovieristeisenä, kuten testaustilan ilman lämpötilan mittauksessakin.

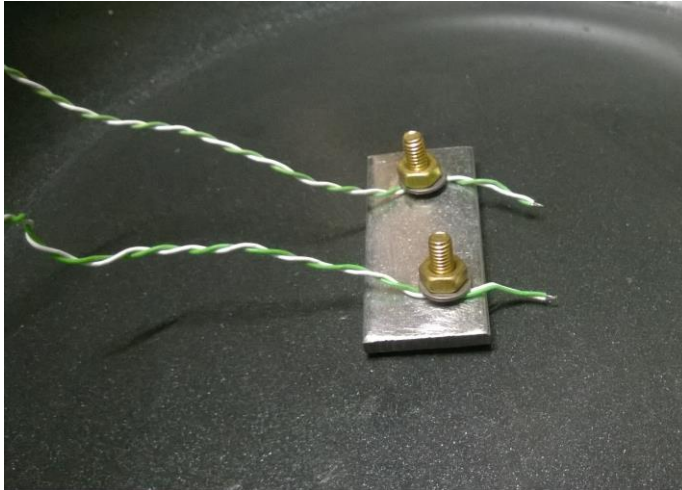
Taulukko 3. Ilman lämpötilan matalin, korkein sekä keskiarvoinen mitattu arvo liesikuvun pohjassa liesituulettimen ollessa päällä sekä pois päältä [liite 1].

Liesituuletin	min [°C]	avg [°C]	max [°C]
Kytkettynä	22	32	38
Ei kytkettynä	22	36	43

Sellaisten testien aikana, joihin sisältyy ruokaöljyn lämmittämistä, lämpötilan mittaaminen pannusta tai kattilasta on ensiarvoisen tärkeää. Mitattu öljyn lämpötila on oleellisimmassa osassa vertailtaessa testattavien laitteiden ja referenssiantureiden välisiä tuloksia, jolloin sitä tulee mitata riittävällä tarkkuudella ja luotettavuudella. Öljyn lämmitystä vaativissa testeissä käytetään yleensä noin 50 ml öljyä, joko pannussa tai kattilassa. Tällöin termoparin mittauspään sijoitus on valittava tarkasti, jotta mitattava lämpötila saadaan itse öljystä eikä käytettävästä astiasta. Termoparin sijoittamista tutkittiin myös kappaleessa 3 mainitussa Erik. L Johnsonin tutkimuksessa. Siinä päädyttiin johtopäätökseen, jossa mittapään on tärkeää sijaita pannun keskikohdassa tai lähellä sitä tarkan mittaustuloksen saavuttamiseksi. Tutkimuksen mukaan mittapään on myös sijaittava öljyn tilavuuden keskikohdassa eli öljyn pinnan ja pannun pohjan välissä. Tämä on erityisen tärkeää jos käytetään alumiinista pannua, jonka ominaislämpökapasiteetti on huomattavasti alhaisempi verrattuna esimerkiksi rautapannuun. Jos mittapää tällaisessa tilanteessa koskettaa pannun pohjaa, voi se laskea mitattua lämpötilaa huomattavasti, sillä alumiinisen pannun pohja ei saavuta termistä tasapainoa öljyn kanssa. [4, s. 81–84.] Tarkoituksenmukainen valinta on tällöin K-tyypin termopari lasikuitueristeisenä sekä redusoituna sijoitettuna noin 1 mm:n korkeuteen pannun pohjasta.

6.1.2 Redundanssi

Testausjärjestelmän luotettavuuteen kuuluu oleellisella tavalla redundanssi. Tekniikassa redundanssilla tarkoitetaan kriittisten komponenttien kahdentamista tai jopa kolminkertaistamista luotettavuuden parantamiseksi. [14.] Tämän testausjärjestelmän osalta puhutaan termoparien redusoinnista. Ainoa kriittinen redusointia vaativa lämpötilan mittausta paikka on tässä tapauksessa öljyn lämpötila kattilassa. Testeissä, jotka sisältävät öljyn lämmittämistä tarvitaan siis käytännössä kaksi termoparia mittaustuloksen oikeellisuuden varmistamiseksi. Molempien termoparien mittalukeman tulee näyttää samaa arvoa ja mikäli jommankumman mittalukema muuttuu esimerkiksi termoparin mittauspään liikahtaessa, tulee testaaminen aloittaa alusta. Muutoin ei voida varmistua mittalukeman oikeellisuudesta ja vaarana on lisäksi se, että lämpötila pääsee nousemaan yli öljyn leimahduspisteen ja voi täten aiheuttaa vaaratilanteen testauksessa. Redusoimista varten rakennetaan kahdelle termoparille yksinkertainen teline, joka näkyy kuvassa 7. Telineen materiaalin olisi hyvä olla keraamia, jotta sen vaikutus mittauksiin olisi mahdollisimman vähäinen, mutta tämän työn tekemisen aikana sellaista ei ollut saatavilla.



Kuva 7. Termoparit redusoituna pannulla.

6.2 Infrapuna-anturi

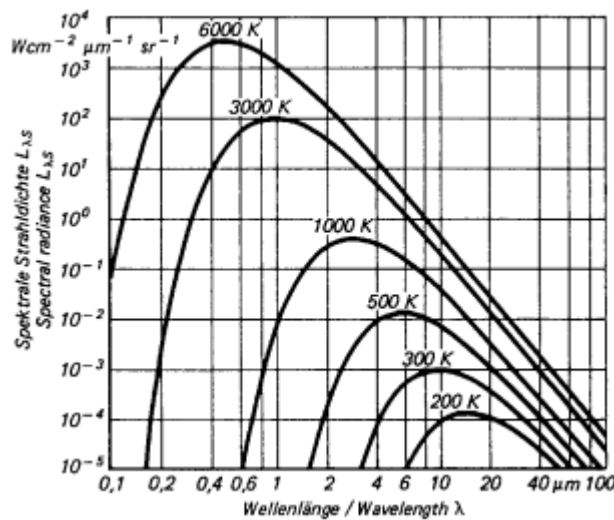
Yhtenä testausjärjestelmän vaatimuksena oli olla tietoinen liesitason keskimääräisestä lämpötilasta. Tämä on mahdollista toteuttaa infrapuna-anturin avulla.

Infrapuna- eli IR-anturilla tarkoitetaan lämpötilan mittaamenetelmää, jota käytetään pääasiassa silloin, kun kohteeseen ei ole mahdollista saada kosketusta tai se ei ole luontevaa. IR-anturointi onkin yleistä varsinkin teollisuuden sovelluksissa, joissa mitataan liikkuvaa kohdetta tai kohdetta, jonka lämpötila on erittäin korkea ($> +1000\text{ °C}$). Sen tarkkuus ei myöskään laske mekaanisten rasitusten takia, eikä se aiheuta häiriöitä mitattavaan kohteeseen. Mittaustulosta heikentävät kuitenkin esimerkiksi savu, pöly sekä höyry. Anturi on myös suojattava nesteiltä, jotka saattavat kondensoitua linssin pinnalle. IR-anturin käyttö on kuitenkin haluttua, sillä myös testattavat liesivahdit käyttävät pääasiallisena lämpötilan mittaamenetelmänä IR-antureita, jolloin niille on hyvä olla vakio-paikassa sijaitseva referenssianturi.

IR-anturi käyttää hyväkseen nimensä mukaisesti infrapunasäteilyä. Infrapuna- eli lämpösäteilyksi kutsutaan aallonpituudeltaan noin $0,7\text{--}1000\text{ }\mu\text{m}$ olevaa sähkömagneettista säteilyä, joka siis sijoittuu näkyvän valon ja mikroaaltojen väliin. Kaikki kappaleet, joiden lämpötila on korkeampi kuin absoluuttinen nollapiste ($-273,15\text{ °C}$), säteilevät infrapunan alueella olevaa säteilyä. Infrapunasäteily on sitä suuritaajuisempaa eli sen energia kohdistuu sitä voimakkaammin suuremmille taajuuksille, mitä korkeampi lämpötila kappaleella on. Kappale alkaa säteillä näkyvää valoa yli 600 °C :n lämpötilassa, mutta säteilyn

silmälle näkymätön osa sisältää jopa 100 000 kertaa enemmän energiaa ja IR-anturin toimintaperiaate onkin rakennettu tämän ympärille.

Kuvassa 8 nähdään mustan kappaleen lämpötilan vaikutus sen säteilemän energian määrään. Siitä nähdään, että voimakkain säteily siirtyy yhä pienemmille aallonpituuksille lämpötilan noustessa. Voidaankin osoittaa säteilyn kokonaistehon (käyrän rajoittaman pinta-alan) olevan verrannollinen lämpötilan neljänteen potenssiin.



Kuva 8. Mustan kappaleen säteilemä energia suhteessa sen lämpötilaan [15, s. 8].

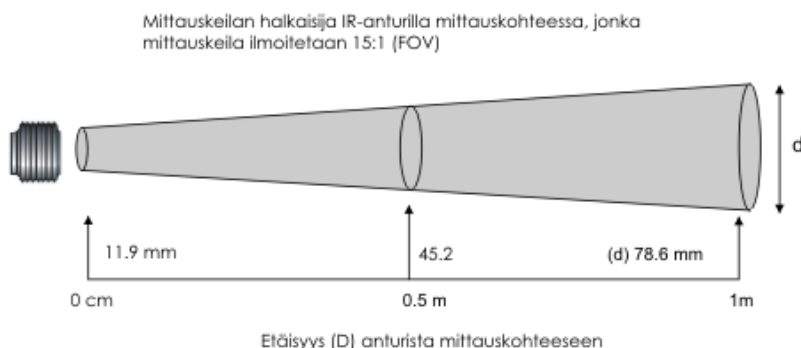
Yleisimmässä IR-anturointimenetelmässä säteily kulkeutuu mitattavasta kappaleesta mittauspään linssille. Linssi fokusoi säteilyn lämpösähköparille, joka käytännössä koostuu useista termopareista. Anturin kuuman ja kylmän pään välisen lämpötilaeron vaikutuksesta lämpösähköpari generoi jännitteen, josta voidaan laskea mitattava lämpötila. Vaihtoehtoisessa menetelmässä hyödynnetään fotodiodeja, jotka reagoivat suoraan kappaleesta heijastuvien fotonien kanssa ja luovat siten elektronisen signaalin. Tätä menetelmää käytetäänkin aina muun muassa lämpökamerasovelluksissa, sillä se reagoi lämpötilojen vaihteluun huomattavasti nopeammin (ms \rightarrow μ s), mutta on huomattavasti kalliimpi ratkaisu.

Useimmat IR-anturit mittaavat säteilyä yhdeltä alueelta, joko lyhyt-, keski- tai pitkäaaltoisena (noin 1–2 μ m, 3–5 μ m tai 8–14 μ m) riippuen käyttökohteesta. Anturia valittaessa tarkoituksena on valita sellaisia aallonpituuksia mittaava anturi, joka havaitsee kappaleen säteilemän lämpöenergian mahdollisimman laajalta alueelta. Mitä haastavimmat

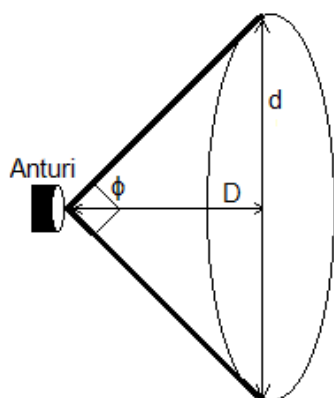
mittausolosuhteet ovat, sitä pienempää aallonpituutta pyritään käyttämään, sillä pieni-aaltoiset anturit säilyttävät tarkkuutensa paremmin esimerkiksi alhaisilla emissiivisyyskertoimilla. Kuten kuvasta 8 huomataan, matalia lämpötiloja (alle 300 °C) mitattaessa lyhytaaltoinen anturi ei kuitenkaan välttämättä havaitse säteilyä ollenkaan, jolloin tulee käyttää pitkäaaltoista anturia.

Infrapunasäteilyn voimakkuuden ja lämpötilan väliseen riippuvuuteen vaikuttaa savun, pölyn ja höyryn lisäksi mitattavan kohteen emissiivisyys. Emissiivisyyskerroin on arvo 0 ja 1 välissä, ja se on jokaiselle materiaalille ominainen. Jos pinta emittoi kaiken siihen osuvan säteilyn, sitä kutsutaan mustaksi kappaleeksi (blackbody) ja sen emissiivisyyskerroin on tällöin 1. Tähän ei kuitenkaan käytännössä päästä, kuin laboratorio-olosuhteissa referenssisäteilijän avulla. Metallit ovat usein haastava mitattava IR-anturille, sillä niiden emissiivisyyskertoimet ovat yleensä hyvin alhaisia, jolloin ne heijastavat suuren osan niihin kohdistuvasta säteilystä. Esimerkiksi kiillotetun ruostumattoman teräksen emissiivisyyskerroin on noin 0,08, jolloin IR-anturi vastaanottaa 8 % säteilystä mitattavalta kohteelta ja loput 92 % ympäristön heijastuksista. Tällöin ympäristöstä mitattu lämpösäteilyn osuus on merkittävän suuri ja hyvää tarkkuutta mittaustuloksissa on erittäin haastava saavuttaa varsinkin pitkäaaltoisilla antureilla. [15, s. 9-16.]

IR-anturi mittaa säteilyä aina kuitenkin keskiarvoisesti sen mittauskeilan alueelta. Mittauskeila ilmoitetaan yleensä anturivalmistajasta riippuen joko anturin ja mitattavan kohteen välisen etäisyyden sekä mittausalan suhteena (D/d), kuten kuvassa 9, tai mittauskeilan kulman ϕ avulla, kuten kuvassa 10. On erittäin tärkeää, että mitattava kohde täyttää mittauskeilan täydellisesti tai muuten mittaustulos on epäluotettava anturin havaitessa myös ympäristön säteilyä. [14.]



Kuva 9. IR-anturin mittauskeila ilmoitettuna etäisyyden ja mittausalan suhteena, joka on tässä tapauksessa 15:1 [14].



Kuva 10. IR-anturin mittauskeila ilmoitettuna kulman ϕ avulla, joka on tässä tapauksessa 45 astetta. Etäisyyden ja mittausalan avulla ilmoitettuna suhde olisi täten 1:2.

6.2.1 Valinta

Tässä testausjärjestelmässä mitattavan kohteen lämpötila vaihtelee välillä 21...+320 °C, jonka perusteella pitkäaaltoinen anturi olisi tarkoituksenmukainen. Emissiivisyys vaihtelee kuitenkin keskimäärin välillä 0,6...0,95 (harjattu ruostumaton teräs – vesi). Anturin mittauskykyä heikentävät myös savu sekä vesihöyry. Tällöin parempi valinta olisi lyhytaaltoinen anturi, mutta sen kyky havaita säteilyä matalilla lämpötiloilla on heikko. Paras vaihtoehto olisi käyttää 2- tai moniaaltoista anturia, mutta niillä saavutettu hyöty ei kuitenkaan olisi niiden erittäin korkean hankintahinnan arvoinen. Tässä testausjärjestelmässä liesitason keskimääräisen lämpötilanmittauksen ei ole myöskään tarvitse olla absoluuttisen tarkkaa vaan testaamisessa kiinnostavampana ja hyödyllisempänä pidetään lämpötilojen vaihteluja suhteessa muihin mitattuihin suureisiin.

Anturi tullaan sijoittamaan liesikuvun pohjaan 40–70 cm:n etäisyydelle liesitasosta [liite 2]. Käytettyjen liesitasojen halkaisijat vaihtelevat välillä 50–80 cm. Sopiva mittauskeilan suhde on siis esimerkiksi 4:3, jolloin anturin mittausalan halkaisija 40 cm korkeudella on noin 30 cm. IR-antureita ei kuitenkaan ole saatavilla fokuksituna kuin 2:1 tai korkeammalla suhteella. Valitaan siis kuvan 10 mukainen anturi, joka ei sisällä ollenkaan mittauskeilaa muokkaavaa linssiä. Anturi vastaanottaa tällöin myös ympäristön lämpösäteilyä (70 cm korkeudella mittausalan halkaisija on 140 cm). Se ei kuitenkaan muodostu ongelmaksi, sillä liesitason ympäristö pysyy testien välillä aina vakiona. Tällöin ympäristön lämpösäteily on testeissä aina mukana samanlaisena. Päädytään valitsemaan IR-anturiksi sellainen, joka havaitsee aallonpituuksia väliltä 4–14 μm ilman mittauskeilaa muuttavaa linssiä.

7 Kosteuden mittaaminen

Testaustilan huoneen ilmakeuudesta on oltava tietoinen testien aikana, kuten vaatimustilassa kappaleessa 4 mainittiin. Erityisesti sellaisten testien aikana, joihin kuuluu useiden vedellä täytettyjen kattiloiden lämmittämistä, voidaan olettaa huoneen ilmakeuden muuttuvan, ja se voikin vaikuttaa testattavien laitteiden mittaustuloksiin.

Kosteutta käytetään veden tai vesihöyryn osuuden määrittämiseen jossakin toisessa aineessa. Kosteusanturi eli hygrometri ilmaisee mitattua kosteutta monin eri menetelmin joko absoluuttisena tai suhteellisena kosteutena. Absoluuttinen kosteus ilmoitetaan usein kilogrammoina tai grammoina kuutiometriä kohden ja sillä tarkoitetaan vesihöyryn massan suhdetta ilman tilavuuteen. Suhteellinen ilmakeus tarkoittaa suhdetta, joka on ilmassa olevan absoluuttisen veden määrän ja suurimman mahdollisen ilmassa olevan veden määrän välillä. [17.]

7.1 Kosteusanturit

Otetaan vertailuun yleisimmät kosteuden mittaamiseen käytetyt elektroniset kosteusanturit.

- Resistiivinen kosteusanturi – anturi, jonka toiminta perustuu anturin elementissä tapahtuvaan resistanssin muutokseen.
- Kapasitiivinen kosteusanturi – anturi, jonka toiminta perustuu anturissa tapahtuvaan kapasitanssin muutokseen.
- Lämmönjohtavuuteen perustuva kosteusanturi – anturi, jonka toiminta perustuu kahden termistorin väliseen ulostulojännitteeseen.

Kosteusantureita voidaan vertailla muun muassa niiden tarkkuuden, stabiiliuden, kondensaation keston ja koon mukaan. Lämmönjohtavuuteen perustuvalla kosteusanturilla on muita anturityyppejä huomattavasti laajempi käyttölämpötila, mutta sen tarkkuus ei ole muihin verrattuna kovin hyvä paitsi korkeilla lämpötiloilla. Sitä käytetäänkin paljon teollisuudessa, jossa tarvitaan korkeiden lämpötilojen kestoa (korkeintaan 300 °C). Resisttiivisten antureiden etuihin kuuluvat niiden yksinkertainen rakenne ja kohtuullisen

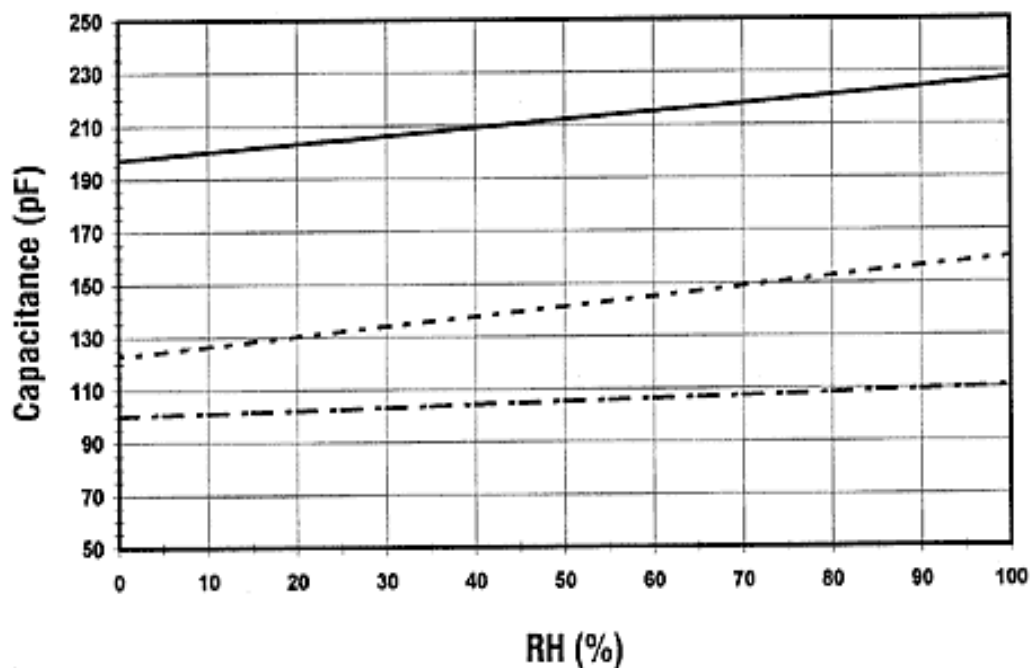
hyvä tarkkuus yhdistettynä halpaan hintaan. Haittapuolena niillä on kuitenkin oheiselektroniikan tarve kompensoitiossa, sillä resistanssi ei muutu lineaarisesti ilmankosteuden mukana. Kapasitiivisilla kosteusantureilla on resistiivisiin kosteusantureihin verrattuna parempi tarkkuus ja vieläkin yksinkertaisempi kytkentä. Ne eivät myöskään välttämättä tarvitse kompensointiin oheiselektroniikkaa, sillä kapasitanssi muuttuu lähes lineaarisesti ilmankosteuden ja lämpötilan mukana. [18.]

Päädytään valitsemaan huoneilman kosteuden mittaamiseen testaustilassa kapasitiivinen kosteusanturi. Esimerkiksi myöhemmin tiedonkeruuta suunniteltaessa se on yksinkertaisemmin liitettävissä. Anturi tulee sijoittaa samaan paikkaan testaustilan ilman lämpötilaa mittaavan termoparin kanssa testaustilan vasemmalla puolella olevalle seinälle kauimmaksi testeistä aiheutuvista häiriöistä. Tutkitaan tarkemmin kapasitiivisen kosteusanturin toimintaa seuraavassa kappaleessa.

7.1.1 Kapasitiivinen kosteusanturi

Kuten aikaisemmin mainittiin, kapasitiivisen kosteusanturin toiminta perustuu anturissa tapahtuvaan kapasitanssin muutokseen, jota tarkastelemalla voidaan laskea suhteellinen kosteus ilmasta. Se koostuu tyypillisesti polymeerillä pinnoitetusta substraatista, joka on kahden elektrodin välissä. Dielektrinen vakio polymeerissä muuttuu kosteuden vaikutuksesta lähes lineaarisesti, kuten kuvasta 8 nähdään ja täten saa aikaan muutoksen anturin kapasitanssissa. Anturin mittauspinta on päällystetty hyvin huokoisella metallilla, joka suojelee anturia saastumiselta ja kondensaatiolta, mutta päästää kosteuden läpi.

Kapasitanssin muutokset anturissa ovat hyvin pieniä, minkä takia anturin mittapään ja piirikortin välisen johtimen ei tule olla pidempi kuin noin 3 m johtimen kapasitiivisten vaikutusten takia. Tässä testausjärjestelmässä etäisyys tarkkailuhuoneesta suunniteltuun kosteusanturin sijoituspaikkaan on noin 2 m eli tämä rajoitus ei muodostu ongelmaksi. Kapasitiivisten kosteusantureiden tarkkuus on tyypillisesti ± 2 suhteellista kosteusprosenttia 5...+95 % alueella, mikä riittää hyvin. [18.]



Kuva 8. Anturin kapasitanssin lähes lineaarinen muuttuminen suhteellisen kosteusprosentin mukana 25 °C:n lämpötilassa [18].

8 Tiedonkeruu

Tiedonkeruulla (Data Acquisition, DAQ) tarkoitetaan tietokoneen avulla suoritettavaa suureiden kuten lämpötilan, jännitteen, virran tai esimerkiksi kiihtyvyyden mittaamista. Tiedonkeruujärjestelmän komponentteja ovat anturit, mittauslaitteet sekä tietokone, joka sisältää tarvittavat ohjelmistot. Mittaustapahtuman aikana anturit muuntavat fyysisiä tai sähköisiä suureita elektronisiksi signaaleiksi, joita mittauslaite vastaanottaa. Mittauslaite koostuu kolmesta pääasiallisesta komponentista, jotka ovat signaalinmuokkauslohko, AD-muunnin sekä tietokoneväylä. [19.]

Riippuen mitattavasta suureesta ja käytetystä anturista, analogisille signaaleille täytyy suorittaa signaalinkäsittelyä. Antureiden tuottaman signaalin jännite ei esimerkiksi välttämättä vastaa AD-muuntimen käyttämiä jännitteitä tai signaali voi sisältää liikaa kohinaa. Tätä varten mittauslaitteessa on signaalinmuokkauslohko, joka voi sisältää muun muassa signaalin vahvistusta, vaimennusta, suodatusta, linearisointia sekä isolointia.

- Signaalin vahvistuksella tarkoitetaan sisään tulevan jännitteen nostamista, jotta se vastaa paremmin AD-muuntimen käyttämää jännitettä ja mittauksille saadaan näin parempi herkkyys sekä resoluutio.
- Signaalin vaimentamisella tarkoitetaan sisään tulevan jännitteen laskemista, kun se ylittää AD-muuntimen raja-arvot. Tämä on tarpeellista yleensä silloin, kun mitattava jännite on yli 10 V.
- Signaalin suodattamisella tarkoitetaan esimerkiksi alipäästösuodattimen avulla kohinan vähentämistä tietyllä taajuusalueella paremman tarkkuuden saavuttamiseksi.
- Signaalin linearisoiminen on välttämätöntä, kun anturin tuottama signaali ei muutu lineaarisesti mitattavan suureen mukana.
- Signaalin isoloinnilla eli galvaanisella erottamisella voidaan välttää esimerkiksi jännitepiikit, jotka voivat aiheuttaa vahinkoa tiedonkeruu-järjestelmän komponenteille.

Tietyille anturityypeille on lisäksi spesifisiä korjaus- ja signaalinkäsittelymenetelmiä, kuten kylmän pään kompensointi termopareja käytettäessä. [20.]

Signaalinkäsittelyn jälkeen mittauslaitteen täytyy muuttaa tämä analoginen signaali digitaaliseksi tietokoneen sovellusohjelmia varten. Tämän takia mittauslaitteen eräs tärkeimmistä komponenteista on AD-muunnin (Analog-to-Digital). Analogisten signaalien muutos tapahtuu tyypillisesti ajan funktiona, minkä perusteella AD-muunnin muodostaa digitaalisen ajan mukaan muuttuvan datan. Se ottaa analogisesta signaalista säännöllisin väliajoin näytteitä, jotka siirretään tietokoneväylän kautta sovellusohjelmaan, jossa ne jatkokäsittellään vastaamaan alkuperäistä signaalia mahdollisimman tarkasti.

Tietokoneväylä toimii tiedonsiirtoväylänä mittalaitteen ja tietokoneen välillä. Sen avulla vastaanotetaan mittauksia sekä annetaan ohjauskäskyjä monikanavaisia mittalaitteita käytettäessä. Mittauslaitteet käyttävät useimmiten USB-, PCI-, PCI Express- tai Ethernet-liitäntäväyliä, mutta nykyään on saatavilla esimerkiksi myös Wi-Fi-yhteensopivia väyliä. Liitäntäväylä valitaan käyttökohteesta riippuen muun muassa siirrettävän datan määrän, sekä tietokoneen ja mittauslaitteen välisen etäisyyden perusteella. Tietokoneella mittauksien käsittely suoritetaan ohjelmistolla, joka usein riippuu mittauslaitteen valmistajasta. Ohjelmointikielinä toimivat esimerkiksi Visual C++, Visual Basic ja Java, mutta yleisin on tänä päivänä National Instruments LabVIEW. [19.]

8.1 Tiedonkeruujärjestelmän vaatimukset

Tässä testausjärjestelmässä referenssisuureita mitataan lähtökohtaisesti kuudella anturilla. Anturit koostuvat neljästä termoparista, yhdestä kapasitiivisesta kosteusanturista sekä yhdestä IR-anturista, mikäli erillisen anturin käyttäminen koetaan myöhemmin tarpeelliseksi. On mahdollista, että antureiden määrää muutetaan tulevaisuudessa, jolloin siihen on hyvä varautua. Tälle testausjärjestelmälle sopivinta on käyttää monitoimista mittalaitetta eli dataloggeria, jonka piirilevy sisältää valmiiksi kaikki antureiden vaatimat signaalinkäsittelykomponentit sekä AD-muuntimen. Lisäksi tarvitaan tietokoneelle ohjelmisto mittausdatan käsittelyä varten.

Termoparien mitattavat jännite-erot johtimissa ovat kymmenien millivolttien luokkaa, jolloin mittalaitteessa on oltava signaalin vahvistusta AD-muunninta varten. Mitattava jännite ei myöskään muutu lineaarisesti lämpötilan mukana, minkä takia signaali täytyy linearisoida (linearisointi voidaan tosin suorittaa myös tietokoneen sovellusohjelmassa). Termoparit hyötyvät alipäästösuodattimesta suuritaajuuden kohinan vähentämiseksi sekä niitä varten mittalaitteessa tulee olla lisäksi kylmän pään kompensointi. Kapasitiivinen kosteusanturi vaatii oskillaattorin, jotta kapasitanssin muutoksesta saadaan jännite AD-muuntimelle. Yksinkertaisinta on kuitenkin valita sellainen anturi, joka sisältää valmiiksi oskillaattorin, jolloin sitä ei tarvita erikseen mittalaitteen piirilevyllä. Oskilloinnin takia tarvitaan myös signaalin vahvistusta sekä alipäästösuodatin oskillaatiotaajuuden suodattamiseksi. IR-anturi vaatii myös paljon signaalinkäsittelyä signaalin vahvistamiseksi ja suodattamiseksi, mutta se on usein toteutettu anturin omalla piirilevyllä, kuten kosteusanturillakin.

Tarvitaan siis dataloggeri, joka mahdollistaa vähintään kuuden analogisen signaalin vastaanottamisen ja joka sisältää edellä mainitut signaalinkäsittelymenetelmät. Tarkoituksenmukaisinta on käyttää USB-liityntäväylän mahdollistavaa dataloggeria ilman ulkoisen jännitelähteen tarvetta, sillä testausjärjestelmää hallinnoidaan kannettavalla tietokoneella.

Tiedonkeruujärjestelmiä valmistavista yhtiöistä National Instruments on tunnetuin ja sillä onkin erittäin laaja valikoima myös dataloggereita. Esimerkiksi NI USB-6210 on toimiva ratkaisu sen 16 analogisen tuloliitännän ja kahdeksan I/O-kanavan ansiosta. Dataloggerin lisäksi tarvitaan myös tämän testausjärjestelmän vaatimukset täyttävä ohjelmisto, kuten esimerkiksi NI:n LabVIEW SignalExpress.[21.]

9 Yhteenveto

Tavoitteena oli suunnitella palonturvallisuuden testausjärjestelmä toimeksiantajayrityksen tuotannossa olevien laitteiden testaukseen. Pääasiallisena tarkoituksena oli tutkia erilaisia keinoja toteuttaa testausjärjestelmässä itse testaustila sellaiseksi, että siinä vallitsevista olosuhteista on kokonaisvaltainen tietämys testien aikana. Vaatimuksina oli tietää testaustilassa vallitsevat lämpötilat useissa eri paikoissa sekä myös ilman kosteus riittäväällä tarkkuudella ja luotettavuudella. Näiden lisäksi haluttiin, että testaustilan rakenteellisten muutoksien suorittaminen erilaisten testiolosuhteiden saavuttamiseksi olisi mahdollisimman luontevaa.

Työlle asetetut vaatimukset saavutettiin hyvin. Testaustilassa vallitsevien suureiden mittaamiselle määritettiin tarkat sijainnit ja tarkoituksenmukaiset anturointimenetelmät, kuten termoparit, kapasitiivinen kosteusanturi sekä infrapuna-anturi. Testaustilaan valittiin muun muassa korkeussäädöllä oleva teline liesitasoille sekä mahdollisuus säätää ilmanvaihdon sijaintia, minkä ansiosta erilaisten olosuhteiden luominen testaustilassa käy vaihtavaksi. Työssä tarkasteltiin myös mahdollisuutta käyttää ulkopuolisen valmistajan tiedonkeruujärjestelmää, mutta tarkoituksenmukaisen valinnan suorittamiseksi tutkimuksia tarvitaan lisää vielä tämän työn jälkeen.

Lähteet

- 1 Juha Hassila. 2015. Onko tuhat liesipaloa vuodessa paljon? Verkkodokumentti. <<http://www.spek.fi/news/Onko-tuhat-liesipaloa-vuodessa-paljon/14699/4879b557-24b8-40ae-85a2-a1aa2260a589>> Luettu 28.3.2015.
- 2 Nurmi, Veli-Pekka, Kenonen, Antti, Sjöholm, Kai. 2005. TUKES-julkaisu. Sähköpalot Suomessa. Luettu 28.3.2015.
- 3 SAFERA Oy. 2014. Mallisto. Verkkodokumentti. <<http://www.safera.fi/tuotteet-mallisto.html>> Luettu 28.3.2015.
- 4 Johnson, E.L. 1995. Study of Technology for Detecting Pre-Ignition Conditions of Cooking-Related Fires Associated with Electric and Gas Ranges and Cooktops, Phase I Report. Gaithersburg, Maryland. National Institute of Standards and Technology. Luettu 28.3.2015.
- 5 Johnson, E.L. 2011. Home Cooking Fire Mitigation: Technology Assessment. Final Report. Gaithersburg, Maryland. National Institute of Standards and Technology. Luettu 28.3.2015.
- 6 Peter Hertzmann. 2006. Cooking 101: Heat Transfer. Verkkodokumentti. <<http://www.hertzmann.com/articles/2006/heat/>> Luettu 28.3.2015.
- 7 Matti Tolonen. 2011. Ravintorasvan laatu heikkenee ruoanlaitossa. Verkkodokumentti. <<http://www.tritolonen.fi/index.php?page=news&id=2095>> Luettu 28.3.2015.
- 8 TUKES-julkaisu. 1999. Luettelo yleisimmistä palavista nesteistä. Luettu 29.3.2015
- 9 Niki Achitoff-Gray. 2014. Cooking Fats 101. Verkkodokumentti. <<http://www.serious-eats.com/2014/05/cooking-fats-101-whats-a-smoke-point-and-why-does-it-matter.html>>. Luettu 28.3.2015.
- 10 CAPGO. 2013. Thermocouple theory. Verkkodokumentti. <<http://www.capgo.com/Resources/Temperature/Thermocouple/Thermocouple.html>> Luettu 28.3.2015.
- 11 Termistori. Verkkodokumentti. <<http://fi.wikipedia.org/wiki/Termistori>>. Luettu 25.3.2015
- 12 Thermocouple vs. RTD vs. thermistor. 2007. Verkkodokumentti. <<http://www.controleng.com/search/search-single-display/temperature-tutorial-thermocouple-vs-rtd-vs-thermistor/aae906fe91.html>> Luettu 28.3.2015.
- 13 Nokeval. Thermocouple Sensors with Pot Seal. Verkkodokumentti. <<http://www.nokeval.com/pdf/datasheets/fi/T12-termoelementtiantu-rit.pdf>> Luettu 28.3.2015.

- 14 IR-anturien valintaopas. 2008. Verkkodokumentti.<http://www.nokeval.com/pages.php?page_id=8&&language=finnish> Luettu 2.4.2015.
- 15 Raytek. Principles of Non-Contact Temperature Measurement. 2003. Verkkodokumentti. <http://support.fluke.com/raytek-sales/Download/Asset/IR_THEORY_55514_ENG_REVB_LR.PDF> Luettu 4.4.2015
- 16 Redundancy (engineering). Verkkodokumentti. <[http://en.wikipedia.org/wiki/Redundancy_\(engineering\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Redundancy_(engineering))> Luettu 28.3.2015.
- 17 Humidity. Verkkodokumentti. <<http://en.wikipedia.org/wiki/Humidity>> Luettu 2.4.2015
- 18 Choosing a Humidity Sensor: A Review of Three Technologies. 2001. Verkkodokumentti. <<http://www.sensormag.com/sensors/humidity-moisture/choosing-a-humidity-sensor-a-review-three-technologies-8402>>Luettu 2.4.2015.
- 19 National Instruments. 2010. Mitä on tiedonkeruu? Verkkodokumentti. <<http://finland.ni.com/tiedonkeruu/mita-on>> Luettu 15.4.2015.
- 20 National Instruments. 2010 What is Signal Conditioning? Verkkodokumentti, <<http://www.ni.com/white-paper/10630/en/>> Luettu 15.4.2015.
- 21 National NI USB-6210 Instruments. 2015. Verkkodokumentti. <<http://sine.ni.com/nips/cds/view/p/lang/fi/nid/203223>> Luettu 15.4.2015.

**Mittauspöytäkirja: Mitatut lämpötilat liesikuvun pohjassa (T1) sekä huoneen il-
massa (T2)**

Liesituuletin päällä

Aika [min]	T1 [°C]	T2 [°C]
1	22	21
2	22	21
3	23	21
4	24	21
5	26	21
6	27	21
7	29	21
8	29	21
9	30	21
10	35	21
11	37	21
12	38	22
13	38	22
14	38	22
15	38	22
16	38	22
17	37	22
18	37	22
19	37	22
20	38	22

Liesituuletin pois päältä

Aika [min]	T1 [°C]	T2 [°C]
1	22	21
2	23	21
3	24	21
4	25	21
5	28	21
6	31	21
7	33	21
8	34	21
9	35	22
10	40	22
11	42	22
12	43	23
13	43	23
14	42	23
15	42	23
16	41	23
17	42	23
18	42	23
19	41	23
20	41	23

Kaaviokuva antureiden sijoituspaikoista kuvattuna ylä- sekä etupuolelta.

