




**TUTKIMUSRAPORTTI**

VTT-R-05960-14

# **Pelastusopiston paloteatterin mittausjärjestelmän toimivuuden arviointi**

Kirjoittaja: Tuula Hakkarainen

Luottamuksellisuus: julkinen

<b>Raportin nimi</b>	
Pelastusopiston paloteatterin mittausjärjestelmän toimivuuden arviointi	
<b>Asiakkaan nimi, yhteyshenkilö ja yhteystiedot</b>	<b>Asiakkaan viite</b>
Sisäministeriö, Pelastusosasto Jarkko Häyrinen PL 26 00023 VALTIONEUVOSTO	Sopimus SM-644-2014, SMDno-2014-1515
<b>Projektin nimi</b>	<b>Projektin numero/lyhytnimi</b>
Pelastusopiston paloteatterin auditointiselvitys	88842 / Paloteatteri
<b>Raportin laatija(t)</b>	<b>Sivujen/liitesivujen lukumäärä</b>
Tuula Hakkarainen	24/-
<b>Avainsanat</b>	<b>Raportin numero</b>
palokokeet, huonepalo, mittaustekniikka, savukaasut, lämpötila	VTT-R-05960-14
<b>Tiivistelmä</b>	
<p>Tässä tutkimusraportissa arvioidaan Pelastusopiston paloteatterin mittaustekniikan toimintaa ja luotettavuutta sekä mittausjärjestelmän soveltuvuutta ja rajoitteita huonepalon alkuvaiheessa syntyvien olosuhteiden tarkasteluun.</p> <p>Paloteatterin lämpötilamittausten tarkkuus on riittävä demonstraatiotarkoituksiin ja vertailumittauksiin. Kaasupitoisuusmittauksissa on otettava huomioon palavien materiaalien ja palo-olosuhteiden vaikutus palossa muodostuviin kaasuihin. Mittauskennojen ristiinherkkyydet on otettava huomioon tuloksia tulkittaessa.</p> <p>Pelastusopiston tutkimusyksikön suorittamissa tutkimuksissa ja testauksissa sekä opinnäytteissä mittausten tarkkuusvaatimukset ovat suuremmat kuin demonstraatioissa ja vertailumittauksissa. Tulosten perusteella tehtäviä johtopäätöksiä on tällöin arvioitava erityisen kriittisesti tiedostaen paloteatterin mittausjärjestelmien rajoitukset.</p> <p>Mittaustekniikan luotettava toiminta edellyttää mittausjärjestelmien toiminnan tuntemista, aktiivista kalibrointia, huoltoa ja kunnossapitoa. Mittauslaitteistojen kalibrointi- ja kunnossapitosuunnitelman laatiminen on erittäin suositeltavaa.</p> <p>Pelastusopiston paloteatteri on tarkoituksenmukainen ympäristö mm. huonepalon alkuvaiheen kehittymisen ja paloteknisten laitteiden toiminnan havainnollistamiseen.</p> <p>Paloteatterin yleisö tekee demonstraatioissa visuaalisia havaintoja, jotka jäävät mieleen ja vaikuttavat näkemyksiin. Tämän vuoksi on erityisen tärkeätä, että demonstraatioita seuraavien opiskelijoiden, koulutettavien, asiakkaiden, tiedotusvälineiden edustajien ja muun yleisön saamat mielikuvat ovat realistisia. Tällöin paloteatterin julkisuusarvo ja potentiaali mielikuvavaikuttamiseen palvelevat parhaalla mahdollisella tavalla paloturvallisuusosaamisen ja -tietoisuuden kehitystä.</p>	
<b>Luottamuksellisuus</b>	julkinen
Espoo 19.12.2014	
<b>Laatija</b>	<b>Tarkastaja</b>
	
Tuula Hakkarainen, erikoistutkija	Jukka Vaari, erikoistutkija
<b>Hyväksyjä</b>	
	Eila Lehmus, tutkimusalueen päällikkö
<b>VTT:n yhteystiedot</b>	
Tuula Hakkarainen, VTT, PL 1000, 02044 VTT, <a href="mailto:tuula.hakkarainen@vtt.fi">tuula.hakkarainen@vtt.fi</a>	
<b>Jakelu (asiakkaat ja VTT)</b>	
Sisäministeriö, Pelastusosasto, Jarkko Häyrinen, 1 kpl VTT, Arkisto, 1 kpl	
<p>VTT:n nimen käyttäminen mainonnassa tai tämän raportin osittainen julkaiseminen on sallittu vain VTT:ltä saadun kirjallisen luvan perusteella.</p>	

## Alkusanat

---

Tässä tutkimusraportissa kuvataan Pelastusopiston paloteatterin auditointiin liittyvän toimeksiannon ensimmäisen vaiheen tulokset. Työssä tarkasteltiin paloteatterin mittaus- tekniikan toimintaa ja luotettavuutta sekä mittausjärjestelmän soveltuvuutta ja rajoitteita huonepalossa syntyvien olosuhteiden arviointiin.

Kiitän Pelastusopiston paloteatterin auditointihankkeen ohjausryhmän jäseniä ylitarkastaja Jarkko Häyristä sisäministeriön pelastusosastolta, pelastuspäällikkö Seppo Männikköä Pirkanmaan pelastuslaitokselta, tekninen päällikkö Antti Rissasta Pelastusopistolta, riskienhallintapäällikkö Paavo Tiittaa Pohjois-Savon pelastuslaitokselta ja tutkimuspäällikkö Kati Tillanderia Helsingin pelastuslaitokselta toimivasta yhteistyöstä. Erityiset kiitokset kaikesta saamastani avusta esitän vanhempi opettaja Jani Jämsälle, opettaja Timo Lopuselle ja opettaja Ari Mustoselle Pelastusopistolta sekä mittalaite- ja mittausjärjestelmätoimittajien edustajille.

Espoo 19.12.2014

Tekijä

## Sisällysluettelo

---

Alkusanat .....	2
Sisällysluettelo .....	3
1. Johdanto.....	4
2. Tavoite.....	4
3. Paloteatterin kuvaus .....	4
3.1 Polttilan geometria .....	6
3.2 Mittausjärjestelmä.....	10
3.2.1 Lämpötilamittaukset .....	10
3.2.2 Kaasupitoisuusmittaukset .....	11
3.2.3 Paloilmaisimet ja sammutusjärjestelmät.....	14
4. Mittaustekniikan toiminnan ja luotettavuuden arviointi.....	16
4.1 Lämpötilamittaukset.....	16
4.2 Kaasupitoisuusmittaukset .....	16
4.2.1 Infrapunaspektrometria .....	16
4.2.2 Sähkökemialliset mittauskennot .....	17
4.2.3 Kaasupitoisuusmittausten luotettavuudesta yleensä .....	19
4.2.4 Paloteatterin kaasupitoisuusmittausten luotettavuudesta .....	19
4.2.5 Kaasunäytteenoton edustavuudesta .....	20
4.3 Paloilmaisimet ja sammutusjärjestelmät .....	20
5. Paloteatterin mittausjärjestelmän soveltuvuuden arviointi .....	22
6. Yhteenveto ja suositukset .....	23
Lähdeviitteet.....	24

## 1. Johdanto

---

Pelastusopisto on asettanut auditointiryhmän arvioimaan Pelastusopiston harjoitusalueella sijaitsevan paloteatterin soveltuvuutta huonepalossa syntyvien olosuhteiden demonstrointiin. Osana tätä auditointityötä sisäministeriö on tilannut VTT:ltä tutkimuksen paloteatterin mittalaitteiden ja tilojen toimivuudesta ja soveltuvuudesta käyttötarkoitukseensa. Selvitystyö on tarkoitus toteuttaa kahdessa vaiheessa seuraavasti:

### Vaihe 1

1. Paloteatterin mittaustekniikan toiminnan ja luotettavuuden arviointi kokonaisuutena
2. Paloteatterin mittausjärjestelmän soveltuvuuden arviointi ja rajoitteet huonepalossa syntyvien olosuhteiden arviointiin

### Vaihe 2 (optio)

1. Paloteatterin fyysisten ominaisuuksien (tilan muodon, ilmanvaihdon, aukkojen yms.) ja mittauspisteiden vaikutus mittaustuloksiin 2–3 valitun paloskenaariion pohjalta (vapaa ja sprinklattu palo)
2. Arvio, minkä tyyppisiä paloja tiloissa voidaan esittää, jotta mittaustulokset vastaisivat esitettävää skenaariota
3. Tilojen soveltuvuus paloteknisten laitteiden toiminnan esittelyyn ja esitys paloteatterin ja mittausjärjestelyiden kehittämistarpeista suhteessa nykyiseen käyttöön

Tässä tutkimusraportissa esitetään selvitystyön vaiheen 1 tulokset.

## 2. Tavoite

---

Tässä tutkimusraportissa esitettävän selvityksen tavoitteena oli toimeksiantosopimuksen mukaisesti arvioida Pelastusopiston paloteatterin mittaustekniikan toimintaa ja luotettavuutta kokonaisuutena sekä arvioida paloteatterin mittausjärjestelmän soveltuvuutta ja rajoitteita huonepalossa syntyvien olosuhteiden arviointiin.

## 3. Paloteatterin kuvaus

---

Pelastusopiston harjoitusalueen huoltorakennuksen yhteydessä sijaitseva paloteatteri on palon kehittymisen ja paloteknisten laitteiden toiminnan havainnollistamiseen tarkoitettu demonstraatiotila. Se on rakennettu vuonna 2005. Paloteatterin alkuperäinen tarkoitus on ollut tukea Pelastusopiston ammattiopetusta palon kehittymisen ja paloteknisten laitteiden toiminnan havainnollistamispaikkana.

Paloteatteri koostuu polttilasta, jossa koepoltot suoritetaan, laitetilasta, jossa sijaitsevat paloilmoin-, sammutuslaitteisto- ja kaasuanalysointikeskukset, sekä auditoriosta, josta ohjaus- ja tiedonkeruujärjestelmiä ohjataan ja jossa yleisö voi seurata koepolttoja. Paloteatterin polttilan varustukseen kuuluvat demonstraatiopolttojen lämpötila- ja kaasupitoisuusmittaukset sekä erityyppiset paloilmaisimet ja sammutusjärjestelmät [1].

Pelastusopiston paloteatteria pääosin käyttää ja siitä myös vastaa päällystöpäätöksyksikkö. Käytön myötä paloteatterista on muodostunut Pelastusopistolle myös tärkeä kokeilu- ja testausympäristö, joka tukee Pelastusopiston tutkimusyksikön toimintaa, lähinnä erilaisissa koepolttoissa ja testauksissa. Tilaa käytetään myös opinnäytetöihin liittyvissä kokeissa ja

testauksissa. Lisäksi ensihoito- ja pelastustoiminnan opetusyksikkö käyttää tilaa pelastustoiminnan opetuksen tukena ja havainnollistamisessa.

Paloteatteri on tärkeässä roolissa myös Pelastusopiston myytävän täydennyskoulutuksen tukena. Paloteatteria myydään melko paljon erilaisiin, lähinnä paloteknisiin laitteisiin liittyviin täydennyskoulutuksiin, mutta myös elämyksellisiin koulutuskäynteihin.

Paloteatteria käytetään tällä hetkellä Pelastusopiston ammattiopetuksessa seuraavin tavoin:

- palofysiikassa huonepalon kehittymisen opetuksessa palon kehittymisen alkuvaiheen ilmiöiden havainnollistamiseen,
- palofysiikan opetukseen liittyvissä luonnontieteellisten ilmiöiden mittausharjoituksissa,
- pelastustoiminnan opetuksessa savutuuletuksen havainnollistamiseen,
- rakenteiden ja rakennusmateriaalien palotekniikan opetuksessa teoriaa tukeviin kokeisiin,
- paloteknisten laitteiden opetuksessa paloilmamaisimien, sammutuslaitteiden ja savunpoiston toiminnan mallintamiseen ja havainnointiin,
- palofysiikan ja paloturvallisuustekniikan opetuksessa teoreettisten mallien ja laskelmien tukena niiden havainnollistamisessa.

Paloteatterissa tehdään nykyisin noin 40–50 ammattiopetukseen liittyvää demonstraatiota vuodessa.

Pelastusopiston ulkopuolisille tahoille myytävässä koulutuksessa paloteatteria käytetään lähinnä

- paloteknisten laitteiden eli paloilmamaisimien, sammutuslaitteiden ja savunpoiston toiminnan mallintamiseen ja havainnointiin,
- rakenteiden ja rakennusmateriaalien palo-ominaisuuksien havainnollistamiseen,
- ns. ”suuren yleisön” näytöksiin (esimerkiksi Pelastusopiston avoimien ovien yhteydessä),
- ulkopuolisten ryhmien koulutuskäyttöön.

Paloteatteria myydään ulkopuolisten ryhmien koulutuskäyttöön nykyisin noin 10–20 kertaa vuodessa. Tyypillisimpiä ulkopuolisia asiakasryhmiä ovat olleet laitetoimittajat ja niiden sidosryhmät, vakuutusyhtiöt ja niiden sidosryhmät, Pelastusopistolla varautumiskoulutuksissa olleet erilaiset ryhmät, auktorisoidut laitteistotarkastusliikkeet, sisäministeriö ja sen alaiset työryhmät sekä kiinteistöalalla toimivat tahot ja huolto liikkeet.

Testaus- ja koepolttokäytössä paloteatteria on käytetty esimerkiksi

- palosuojattujen kankaiden polttokokeiden koetilana (valokuvaus)
- maataloille soveltuvien palovaroitinjärjestelmien testauksen koetilana (paloilmoitinlaitteet vertailujärjestelmänä)
- television polttotesteihin (valo- ja videokuvaus, lämpötilamittaus)
- paloturvallisten jäteastioiden polttokokeiden koetilana (lämpötilamittauksia)
- tupakan sytytysherkkyystestien koetilana (valo- ja videokuvaus, lämpötilamittaus)
- kemikaalien imeytysmattotestien koetilana (koeimeytyksiä, ei mittausta)
- opinnäytetöissä ammattikeittiöiden rasvakanavapalojen kokeiluun, sisäpyrotuotteiden testaukseen, potilashuonepolttoihin ja savunpoiston toiminnan kokeiluun

Paloteatteria käytetään erilaisessa testaus- ja koepolttokäytössä opetukseen liittyvien harjoitusmittausten lisäksi nykyisin noin 5–10 kertaa vuodessa.

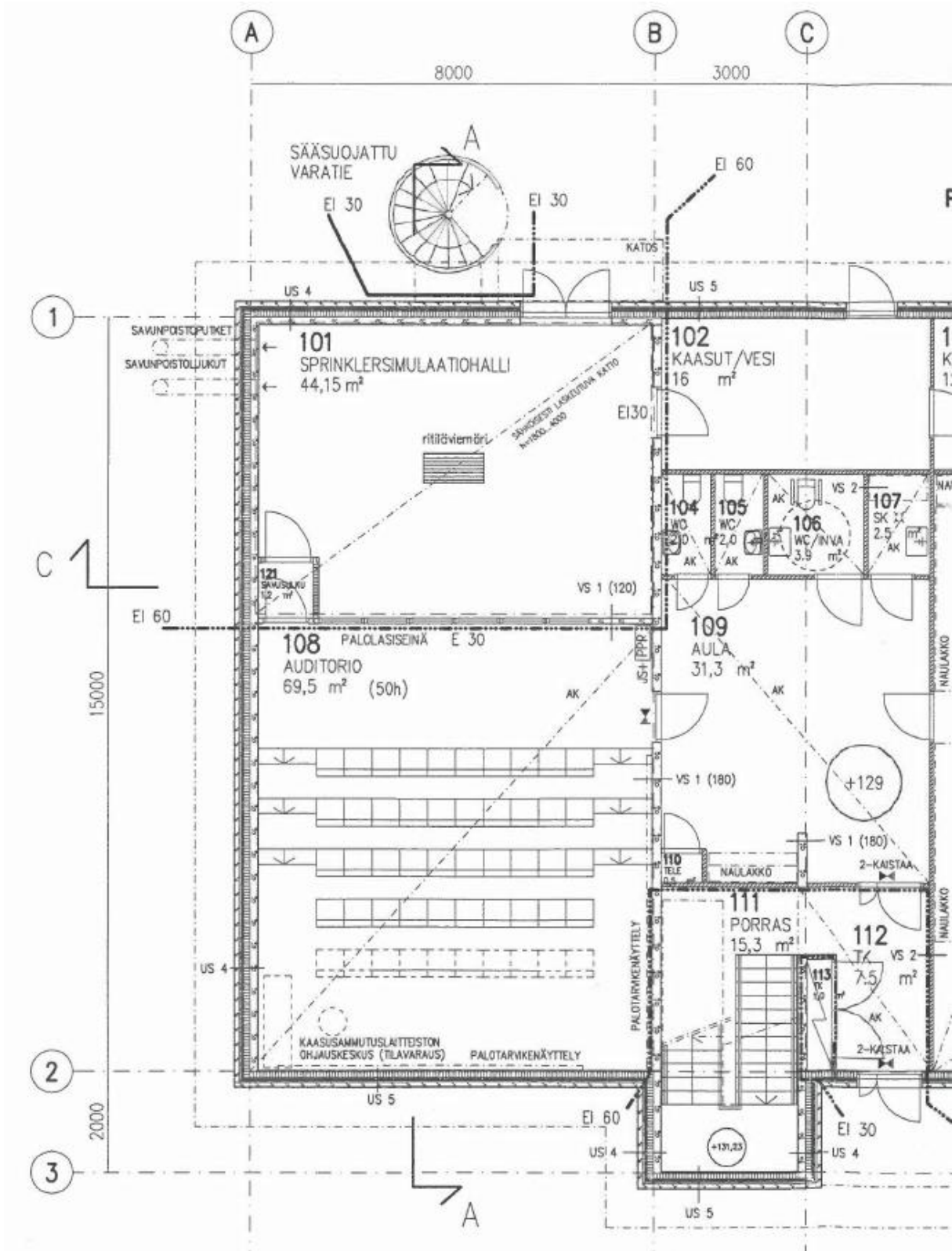
### 3.1 Polttilan geometria

Paloteatterin pohjapiirros ja leikkauskuvia esitetään kuvissa 1–3.

Paloteatterin polttilan lattiapinta-ala on n. 8,0 m x 6,2 m ja korkeus n. 4,8 m. Polttilassa on sähköisesti laskeutuva välikatto, jonka korkeutta lattiatasosta voidaan säätää välillä 1,8 m – 4,0 m. Yleisimmin käytetyt välikattokorkeudet ovat n. 2,5 m ja 3,5 m. Auditoriosta katsottuna polttilan oikeanpuoleisen sivuseinän ja välikaton reunan väliin jää n. 30 cm:n levyinen aukko. Muiden seinien ja välikaton reunan välinen etäisyys on n. 2 cm. Tila voidaan jakaa kahteen osaan pystyttämällä sinne elementtirakenteinen väliseinä polttokokeen kannalta tarkoituksenmukaiseen paikkaan. Tällöin käytettävä polttila on aina auditoriosta katsottuna oikealla puolella, jotta oikeanpuoleisella sivuseinällä sijaitsevia mittapisteitä (ks. kappaleet 3.2.1 ja 3.2.2) voidaan käyttää. Näkymä polttilasta esitetään kuvassa 4.

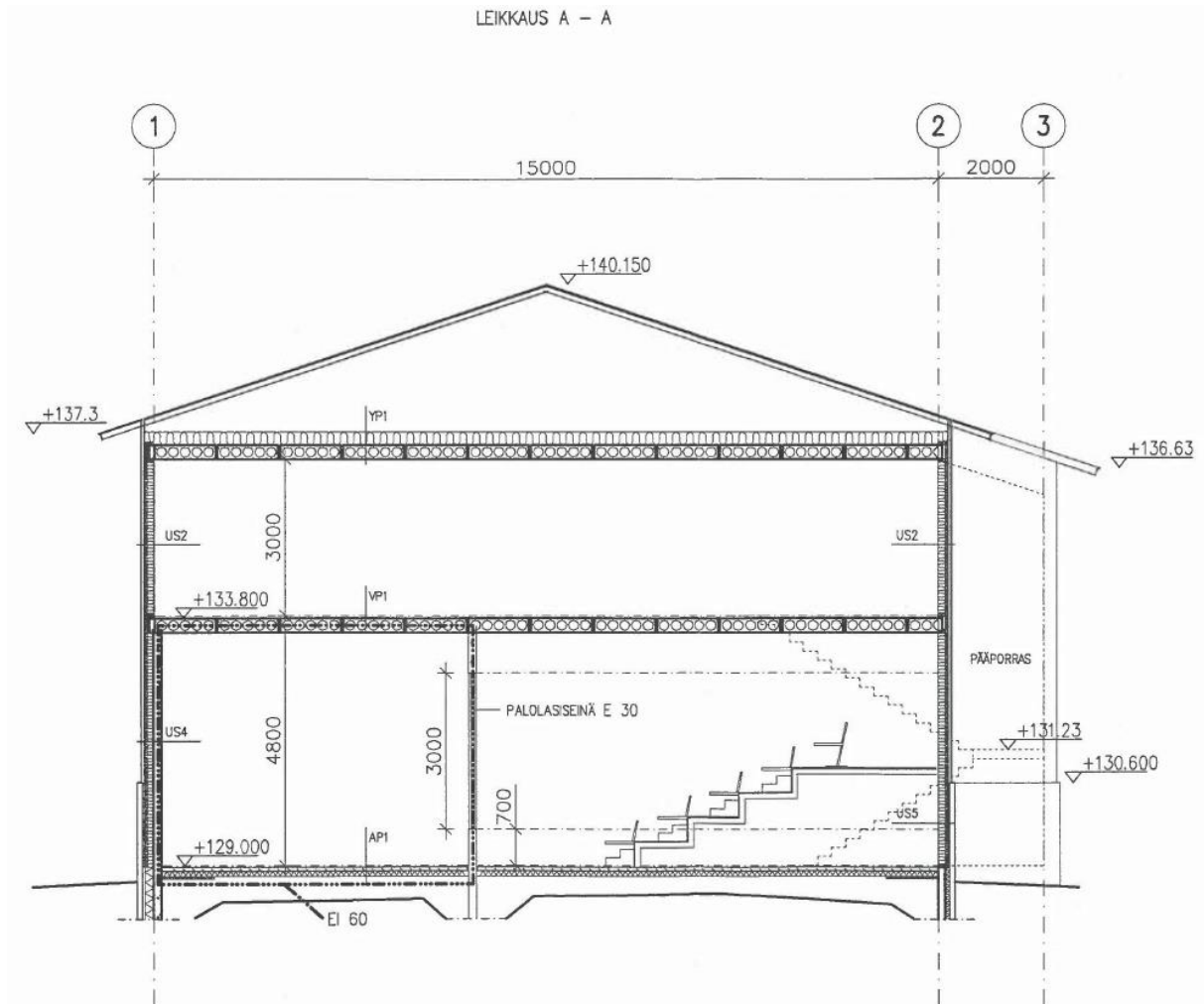
Polttilan poistoilmanvaihto tapahtuu kahdella puhaltimella. Normaali poistoilmanvaihto toteutetaan pienellä poistopuhaltimella, jonka poistovirtaus täydellä teholla on 0,5 m<sup>3</sup>/s. Kokeiden välituuleuksessa ja savunpoistodemonstraatioissa käytetään isoa poistopuhallinta, jonka poistovirtaus täydellä teholla on 4,0 m<sup>3</sup>/s. Poistopuhaltimien virtauksia voidaan säätää taajuusmuuttajien avulla. Polttilan korvausilma otetaan sähkösäätöisten korvausilmapelien kautta. Korvausilma-aukko sijaitsee polttilassa välikaton alapuolella ja poistoilma-aukko aivan tilan yläosassa välikaton yläpuolella. Painovoimaista ilmanvaihtoa ei käytetä. Tulo- ja poistoilmavirtauksia säädetään käytännön kokemukseen perustuen.



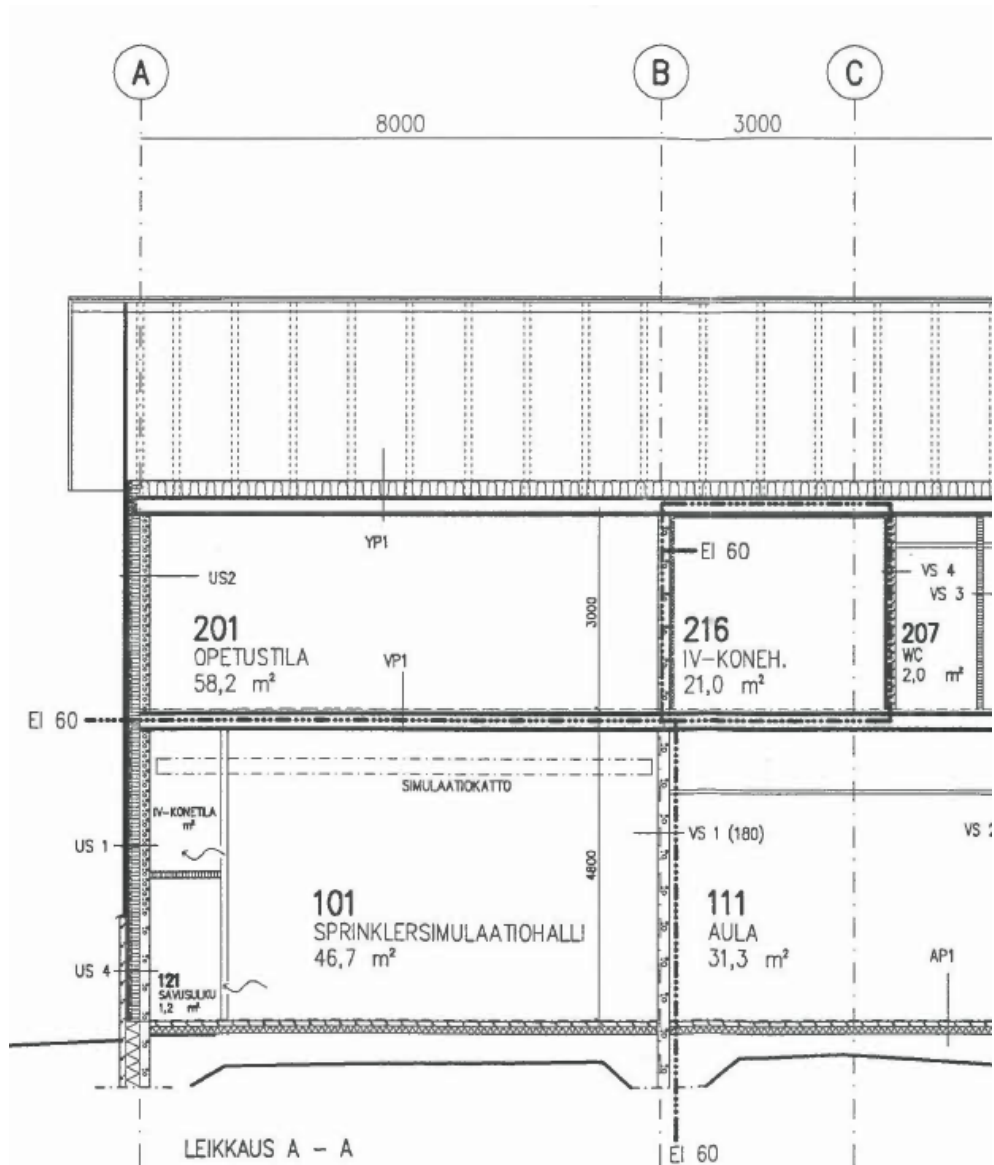


Kuva 1. Paloteatterin pohjapiirros. Vasemmalla polttotila (sprinklersimulaatiohalli) ja auditorio, oikeassa yläkulmassa laitetila (kaasut / vesi).





Kuva 2. Paloteatterin poikkileikkauskuva A – A.



Kuva 3. Paloteatterin pystyleikkauskuva.



Kuva 4. Paloteatterin polttotila.

## 3.2 Mittausjärjestelmä

Paloteatterin polttotilassa mitataan lämpötiloja ja kaasupitoisuuksia. Lämpötila- ja kaasuantureiden lukemat voidaan tallentaa tiedonkeruujärjestelmää käyttäen.

Tilassa voidaan myös demonstroida paloilmaisimien ja sammutusjärjestelmien toimintaa. Laitteistoja hallitaan ja ohjataan tietokoneella ohjausjärjestelmää käyttäen.

Mittaustuloksia sekä paloilmaisimien ja sammutusjärjestelmien reagointia voidaan seurata demonstraatioiden aikana reaaliaikaisesti auditorion videonäytöltä, joka on kytketty tiedonkeruu- ja ohjausjärjestelmiin.

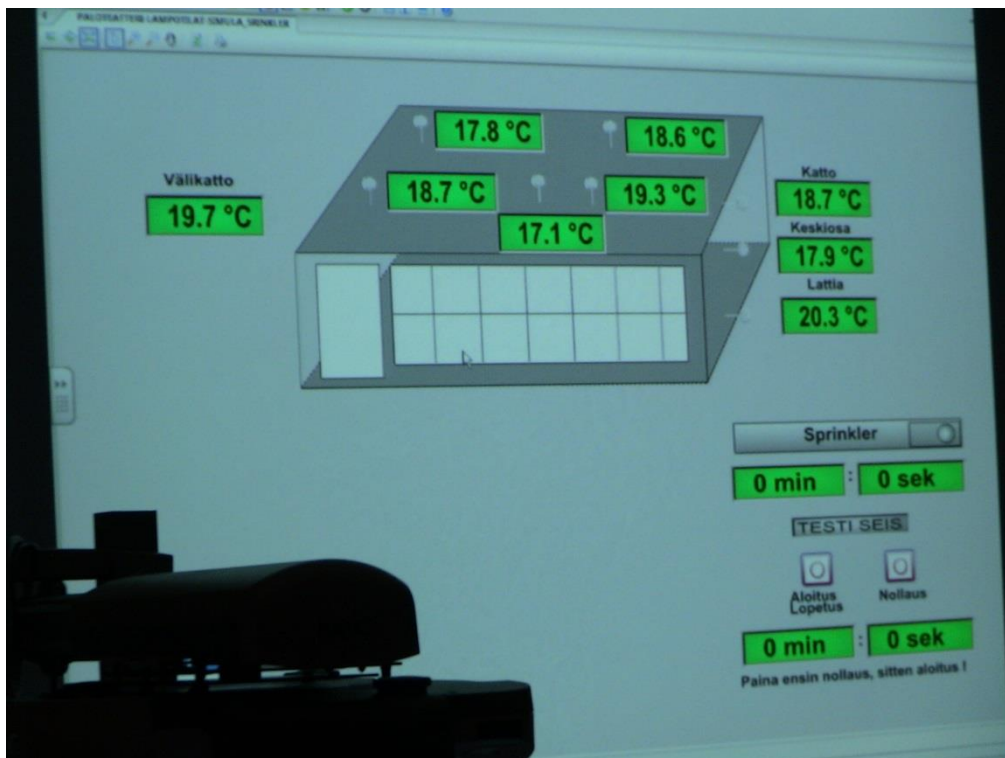
### 3.2.1 Lämpötilamittaukset

Paloteatterin polttotilassa on kiinteä lämpötilamittausjärjestelmä, jolla mitataan lämpötiloja yhdeksästä eri pisteestä: sivuseinältä kolmella korkeudella (kaasupitoisuuksien mittauspisteiden läheisyydessä, ks. kappale 3.2.2), välikaton alapuolella viidessä pisteessä (neljä mittauspistettä sammutusjärjestelmän suuttimien läheisyydessä ja yksi keskellä, ks. kuva 5) ja välikaton yläpuolisesta tilasta yhdessä pisteessä. Lämpötilan mittauspisteiden sijaintia havainnollistaa auditorion lämpötilamittausnäyttö, joka nähdään kuvassa 6.

Lämpötilamittaukset suoritetaan kiinteästi asennetuilla puikkoantureilla, jotka ovat vaipallisia K-tyyppin termoelementtejä. Tilassa tällä hetkellä olevat lämpötila-anturit ovat mineraalieristeisiä vaippaelementtejä kaapelilla, SKS-tyyppi T-M-303-3/300-3000/SIL-K-1.



Kuva 5. Lämpötilamittaus sammutusjärjestelmän suuttimen vieressä välikaton alapuolella.



Kuva 6. Lämpötilamittausnäyttö Paloteatterin auditoriossa. Lämpötilamittauspisteiden sijainnit kuvassa ovat suuntaa-antavat.

### 3.2.2 Kaasupitoisuusmittaukset

Paloteatterin kaasupitoisuusmittauslaitteiston tarkoituksena on havainnollistaa häkä-, hiilidioksidi-, happi- ja syaanivetytypitoisuuksien (CO, CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> ja HCN) kehittymistä erilaisissa paloissa.



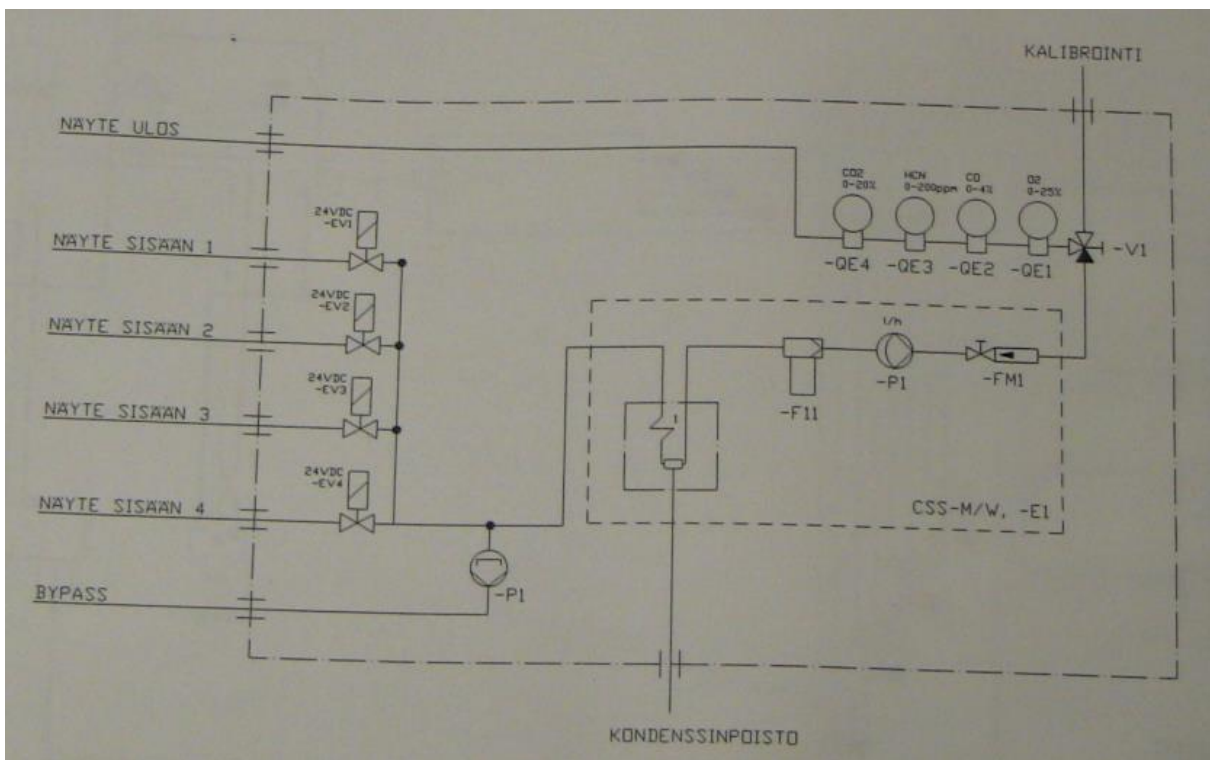
Paloteatterin kaasupitoisuuksien mittauspisteet sijaitsevat auditoriosta katsottuna polttotilan oikeanpuoleisella sivuseinällä kolmella korkeudella: 39 cm, 157 cm ja 237 cm lattiatasosta. Näytteenotto voidaan toteuttaa joko kaikista mittauspisteistä vuorotellen tai yhdestä mittauspisteestä koko kokeen ajan.

Kaasunäyte imetään kahdella pumpulla ruostumattomasta teräksestä valmistettuja putkia pitkin kaasujen analysointilaitteistoon. Näytelinjan putket on asennettu kiinteästi.

Analysointilaitteistossa kaasunäyte jäädytetään, kuivataan ja suodatetaan ennen kuin se johdetaan kaasuanturilinjaan. Suodattimena käytetään lasikuitusuodatinta FPF-2-0,3GF, joka vaihdetaan uuteen polttojen välissä. Kaasunäytteenoton virtauskaavio esitetään kuvassa 7. Kaasuanturit nähdään kuvassa 8a ja esikäsitteilylaitteisto kuvassa 8b.

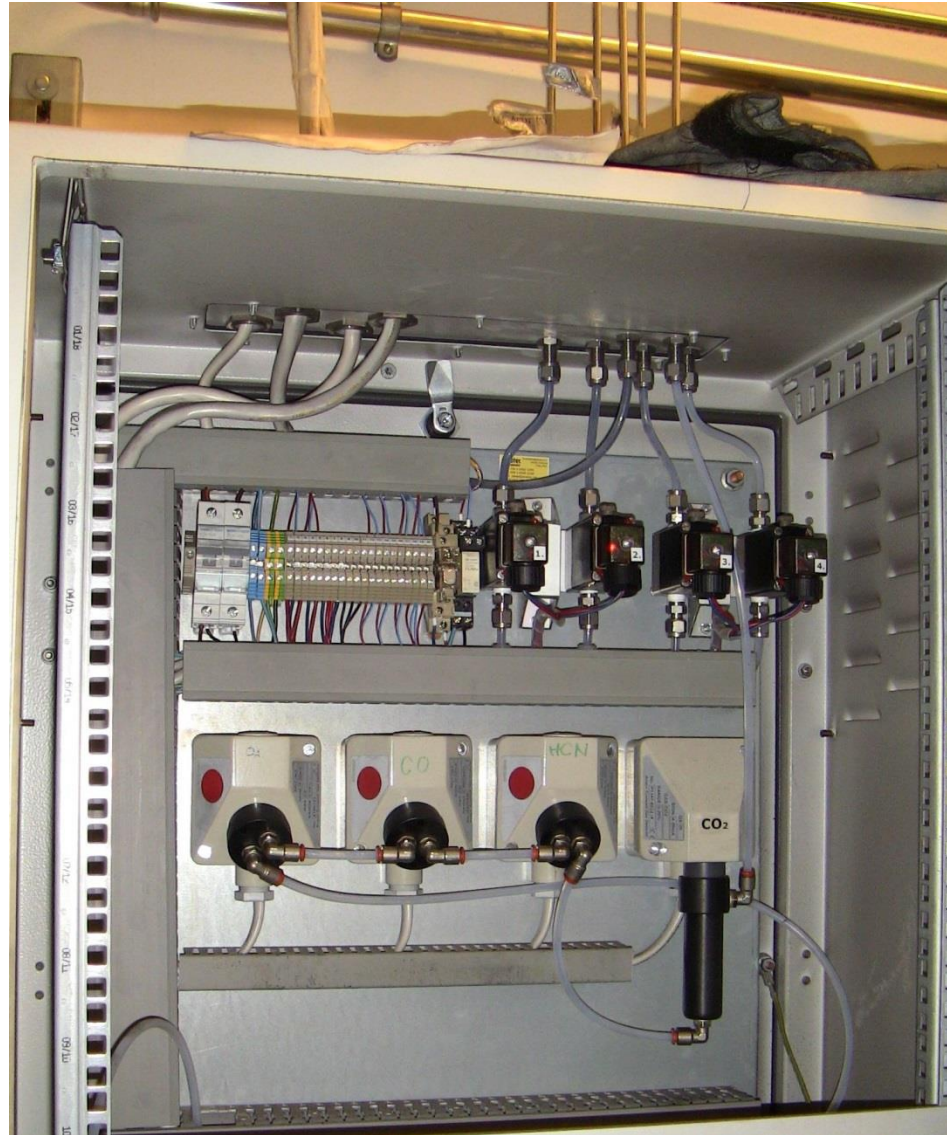
Kaasuanturit, joilla kaasupitoisuuksia mitataan, ovat tällä hetkellä seuraavat:

- 1) Happi ( $O_2$ ), mittausalue 0–25 %, sähkökemiallinen kenno (tyyppi O2-A2)
- 2) Hiilimonoksidi (CO), mittausalue 0–5000 ppm, sähkökemiallinen kenno (tyyppi CO-BX)
- 3) Syaaniivety (HCN), mittausalue 0–200 ppm, sähkökemiallinen kenno (tyyppi HCN-B1)
- 4) Hiilidioksidi ( $CO_2$ ), mittausalue 0–20 %, ei-dispersiivinen infrapuna-anturi (tyyppi GSIR)



Kuva 7. Paloteatterin kaasunäytteenoton virtauskaavio.

a)



b)



Kuva 8. Kaasujen analysointilaitteisto: a) kaasuanturit ja b) jäähdytys, kuivaus ja suodatus.

Aiemmin, marraskuusta 2011 toukokuuhun 2014, CO-anturin mittausalue oli 0–4 % ja kennotyyppi 7HYE, ja HCN-anturin kennotyyppi oli 7HCN. Anturien kennot päätettiin vaihtaa, koska CO:lle haluttiin erotuskyvyn parantamiseksi kapeampi mittausalue (4 %:sta 0,5 %:iin eli 5000 ppm:ään) ja HCN-kennon oli havaittu olevan ristiinherkkä CO:lle (ks. ristiinherkkyyden kuvaus luvussa 4.2.2).

Paloteatterin kaasupitoisuusmittausten anturit kalibroidaan silloin, kun vanha anturi korvataan uudella. Uusien anturien kalibroinnin suorittaa kaasuilmaisintoimittaja. Viimeksi suoritettussa kalibroinnissa toukokuussa 2014 HCN-anturin kalibroitikaasuna käytettiin divetyysulfidia (H<sub>2</sub>S). Muut anturit kalibroitiin kohdekaasulla.

Paloteatterin kaasumittausjärjestelmässä pidetään virransyöttö yleensä aina toiminnassa lukuun ottamatta pitkiä mittaustaukoja kuten kesälomataukoa. Tämä on kaasumittausjärjestelmän toiminnan kannalta edullista, koska jos järjestelmä ehtii virransyötön katkettua jäähtyä, sen uudelleenlämpeneminen kestää noin 2 vuorokautta, jotta anturien antamat mittaustulokset olisivat luotettavia. Paloteatterin tiedonkeruujärjestelmä on varustettu UPS-laitteella (engl. Uninterruptible Power Supply), jonka tehtävä on taata tasainen virransyöttö lyhyissä katkoksissa ja syöttöjännitteen epätasaisuuksissa. Kaasumittausjärjestelmä ei ole UPS-varmennettu, mutta lyhyistä virtakatkoksista ei ole järjestelmälle erityistä haittaa elleivät ne tapahdu juuri kokeen tai demonstraation ollessa käynnissä.

### 3.2.3 Paloilmaisimet ja sammutusjärjestelmät

Paloteatterissa voidaan demonstroida yleisimmin käytössä olevien paloilmaitinjärjestelmien ilmaisintyyppien reagoitinopeuksia erilaisissa paloissa. IlmaisINVALIKOIMAAN kuuluvat optinen savuilmaisimien, ionisavuilmaisimien, lämpöilmaitin (58 °C), laserilmaitin, yhdistelmäilmaitin ja monikriteeri-ilmaisimia sekä optinen palovaroitin. Lisäksi laitteistoon kuuluu kiinteä näytteenottoilmaitinjärjestelmä laserilmaitimilla.

Paloilmaitimet on asennettu levyyn, joka kiinnitetään polttotilan välikattoon demonstraatiota varten. Asennusta ja kiinnitystä havainnollistaa kuva 9.



Kuva 9. Paloilmaitinlevy kiinnitettynä Paloteatterin polttotilan välikattoon. Ilmaisimien asennus levyyn on laitetöimittajan tekemä.



Paloteatterissa on kolme kiinteästi asennettua sammutusjärjestelmää: 1) normaali vesisprinklerilaitteisto, 2) matalapaineinen vesisumusammutuslaitteisto ja 3) korkeapaineinen vesisumusammutuslaitteisto. Sammutusjärjestelmien ominaisuudet ja käyttötavat ovat seuraavat:

- 1) Normaali vesisprinklerilaitteisto
  - alkuperäinen mitoitussuokka OH3
  - käytössä olevat hälytysventtiilityypit: asuntospinklauksen virtauskytkin, märkähälytysventtiili, kuivahälytysventtiili ja Deluge-venttiili
  - käytetään erilaisilla normaalin sprinkleriluokan (OH) suuttimilla sekä asuntospinklaussuuttimilla
  - kahden perussuutintyyppin TY-FR B 15MM NPT / SSP 68C/3 (Quick response) ja NG TY-B 15MM NPT SP 68C/5 (Standard response) lisäksi käytössä satunnaisemmin myös asuntospinklerisuutin Residential (RES) TY2234 / 68C / k=4.9
- 2) Matalapaineinen vesisumusammutuslaitteisto
  - mahdollisuus käyttää sekä kalvovaahtolaitteistona että OH1-veisammutuslaitteistona
  - mitoitettu alun perin vuonna 2005 OH1-vastaavaksi
  - kalvovaahtosuuttimina käytössä suljettu ampullisuutintyyppi SE 14W sekä ns. hyttisuutin SE 36 SW
  - OH1-veisumusammutuslaitteistona käytössä suljettu ampullisuutin, suutintyyppi SE 60W
  - OH1-veisumusammutuslaitteistona järjestelmää käytetään demoissa em. OH1-ampullisuuttimilla, mutta laukaistaan kustannussyistä lämpötilan mukaan käsinlaukaisuna suuttimien vieressä olevien lämpötila-anturien lukemien mukaan, ks. kuva 5 (suuttimissa ei käsin laukaistaessa ole ampullia)
  - käsinlaukaisulla ohjataan järjestelmän sähköpumppua ja pääventtiileitä, suutin valmiiksi avoinna (ampulli on siis poistettu)
  - järjestelmä käsinlaukaisukäytössä paineistettu valmiiksi venttiileille saakka, pumppu pyörii valmiiksi vakiopaineasetuksella
  - voidaan käyttää myös testaus- yms. toiminnassa em. normaaleilla, suljetuilla ampullisuuttimilla
- 3) Korkeapaineinen vesisumusammutuslaitteisto
  - mitoitettu alun perin vuonna 2010 järjestelmän päivityksen yhteydessä OH1-vastaavaksi
  - käytössä suutintyyppi 1N 1MC 6MC 10RA
  - OH1-veisammutuslaitteistona järjestelmää käytetään demoissa em. OH1-ampullisuuttimilla, mutta laukaistaan kustannussyistä lämpötilan mukaan käsinlaukaisuna suuttimien vieressä olevien lämpötila-anturien lukemien mukaan, ks. kuva 5 (suuttimissa ei käsin laukaistaessa ole ampullia)
  - käsinlaukaisulla ohjataan järjestelmän suutinlinjojen magneettiventtiileitä siten, että mahdollisuus laukaista suutin kerrallaan, suuttimet valmiiksi avoimia (ampullit on siis poistettu)
  - järjestelmä on ko. käsinlaukaisukäytössä paineistettuna valmiiksi magneettiventtiileille saakka
  - voidaan käyttää myös testaus- yms. toiminnassa em. normaaleilla, suljetuilla ampullisuuttimilla

## 4. Mittaustekniikan toiminnan ja luotettavuuden arviointi

---

### 4.1 Lämpötilamittaukset

Paloteatterin lämpötilamittauksiin käytetään kiinteästi asennettuja puikkoantureita, jotka ovat vaipallisia K-tyyppin termoelementtejä.

K-tyyppin termoelementit ovat tavallisimpia yleiskäyttöisiä termoelementtejä. Niillä on laaja mitta-alue (jopa  $-270\dots 1372\text{ °C}$ ) ja niiden herkkyys on n.  $41\text{ }\mu\text{V/°C}$ . K-tyyppin termoelementtejä suositellaan käytettäväksi hapettavissa ja täysin inerteissä ympäristöolosuhteissa lämpötila-alueella  $-200\dots 1260\text{ °C}$ . Koska K-tyyppin termoelementtien vastustuskyky hapettumiselle on parempi kuin E-, J- ja T-tyyppin termoelementeillä [2], ne soveltuvat hyvin palokokeiden ja -demonstraatioiden yhteydessä tehtäviin lämpötilamittauksiin.

Puikkoa voidaan pitää luotettavana anturina vaipallisuutensa vuoksi, koska lämpötilaa mittaava termoliitos ei ole altis noelle ja kosteudelle, ja vaippa suojaa myös mekaaniselta vahingoittumiselta (esim. liitoksen irtoaminen). Vaipallisuuden periaatteellinen haitta on mittarin terminen massa, jolloin hyvin nopeat lämpötilan muutokset jäävät havaitsematta.

Alaspäin osoittava puikon kärki voi kostua, ja sen päähän voi jäädä vesitippa. Alaspäin osoittava lämpöanturi voi myös periaatteessa kärsiä lämmönjohtumisesta aiheutuvasta virheestä, mistä syystä tarkat lämpötilan mittaukset tehdään anturilla, jonka johdot kulkevat mittauskorkeudella vaakasuorasti vähintään 20 anturin läpimittaa.

Paloteatterin olosuhteissa itse puikkoanturia suurempana ongelmana voivat olla liitokset, joilla anturin signaali viedään mittalaitteelle, sekä signaalia kuljettavat johdot. Pitkiä aikoja polttotilassa ollessaan liitokset voivat kerätä kosteutta ja nokea, mikä heikentää tarkkuutta. Myös välikaton liikuttelu voi aiheuttaa räsitystä liitoksille. Polttotilassa olevien liitosten ja yleensä johtojen toiminnan tarkastaminen säännöllisesti parantaisi mittausten luotettavuutta oleellisesti.

Yksinkertainen tapa arvioida lämpötila-antureiden toimivuutta on verrata niiden lukemia toisiinsa silloin, kun polttotilassa ei ole käynnissä palokoea ja se on jo ehtinyt jäähtyä edellisen palokokeen jälkeen. Tällaisessa tilanteessa antureiden tulisi näyttää suunnilleen samaa lämpötilaa. Jos jokin lukema poikkeaa merkittävästi muista, on syytä epäillä anturin toimintakuntoa. Tällöin tulee tarkistaa liitokset ja johdot. Jos vika ei poistu, anturi tulee vaihtaa uuteen. Tämä tarkistusmenettely on Paloteatterissa käytössä.

Uusilta lämpötila-antureilta tulisi vaatia kalibrointitodistus. Suhteellisen yksinkertaisia määräaikaistarkastuksia voisi suorittaa tarkistamalla anturien lukemat mitattaessa jääveden (n.  $0\text{ °C}$ ) ja kiehuvan veden ( $100\text{ °C}$ ) lämpötilaa; kuitenkin siten, ettei työturvallisuus vaarannu. Tätä tarkastusta helpottaisi, jos anturit olisi asennettu siten, että niitä on mahdollista liikutella.

### 4.2 Kaasupitoisuusmittaukset

Kuten kappaleessa 3.2.2 todettiin, kaasupitoisuuksia mitataan paloteatterissa sähkökemiallisilla kennoilla ( $\text{O}_2$ ,  $\text{CO}$  ja  $\text{HCN}$ ) ja ei-dispersiivisellä infrapuna-anturilla ( $\text{CO}_2$ ).

#### 4.2.1 Infrapunaspektrometria

Infrapunaspektrometria perustuu siihen, että kaikki kaasut lukuun ottamatta jalokaasuja ja kaksiatomisia, samanytimisiä kaasuja (esim.  $\text{O}_2$  ja  $\text{N}_2$ ) absorboivat infrapunasäteilyä kullekin kaasulle ominaisilla aallonpituuksilla. Ei-dispersiivisissä infrapuna-analysaattoreissa aallonpituuskaista valitaan optista suodatinta käyttäen mitattavalle kaasulle sopivaksi ja laitteet ovat pääsääntöisesti ns. yksikomponenttianalysaattoreita [3].

Infrapuna-anturit ovat yleensä suhteellisen stabiileja ja hyvin selektiivisiä mitattavalle kaasulle. Joissakin tapauksissa infrapunatekniikan ongelmana voi olla se, että jotkut kaasut absorboivat säteilyä samalla aallonpituusalueella kuin mitattava kaasu. CO<sub>2</sub>:lle on kuitenkin aallonpituusalueita, joilla tätä häiritsevää ilmiötä ei merkittävässä määrin esiinny.

#### 4.2.2 Sähkökemialliset mittauskennot

Sähkökemialliset kennot ovat hinnaltaan edullisia, pieniä ja kevyitä. Niiden toiminta perustuu hapetus-pelkistys-reaktioon, joka on periaatteessa kullekin kaasulle ominainen. Sähkökemiallisen kennon tuottama virta on suoraan verrannollinen mitattavan kaasukomponentin pitoisuuteen näytekaasussa. Toimintaperiaatteensa mukaisesti sähkökemialliset kennot kuluvat käytössä ja niinpä ne soveltuvat lähinnä lyhytaikaisiin mittauksiin ja hälyttimiin [3].

Mittalaitteena sähkökemiallinen kenno on suuntaa-antava, koska sitä ei tällä hetkellä ole Euroopassa hyväksytty referenssimenetelmäksi.

Sähkökemiallisilla kennoilla esiintyy ristiinherkkyyttä, ts. kennot voi reagoida myös muihin yhdisteisiin kuin kohdekaasuun. Paloteatterin HCN- ja CO-kaasukennojen ristiinherkkyydet esitetään taulukoissa 1 ja 2. Esimerkiksi jos HCN-kaasukennoon syötetään 20 ppm:n pitoisuus divetyksulfidia (H<sub>2</sub>S), se antaa signaalin, joka vastaa (enintään) 80 ppm:n HCN-pitoisuutta (< 400 %). Ristiinherkkyys voi olla myös negatiivinen, kuten HCN-kennon tapauksessa typpidioksidille (NO<sub>2</sub>, < -120 %). Kuten taulukosta 2 havaitaan, ristiinherkkyyksiä on mahdollista eliminoida suodattimilla.

Taulukko 1. HCN-B1-kaasukennon ristiinherkkyydet.

<b>CROSS SENSITIVITY</b>	H <sub>2</sub> S	sensitivity	% measured gas @ 20ppm	H <sub>2</sub> S	< 400
	NO <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 10ppm	NO <sub>2</sub>	< -120
	Cl <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl <sub>2</sub>	< 25
	NO	sensitivity	% measured gas @ 50ppm	NO	< 1
	SO <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 20ppm	SO <sub>2</sub>	< 3 (transient)
	CO	sensitivity	% measured gas @ 400ppm	CO	< 0.1
	H <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 400ppm	H <sub>2</sub>	< 0.1
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	sensitivity	% measured gas @ 80ppm	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	< 0.1
	NH <sub>3</sub>	sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NH <sub>3</sub>	< 2
	CO <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 5% volume	CO <sub>2</sub>	< 0.1

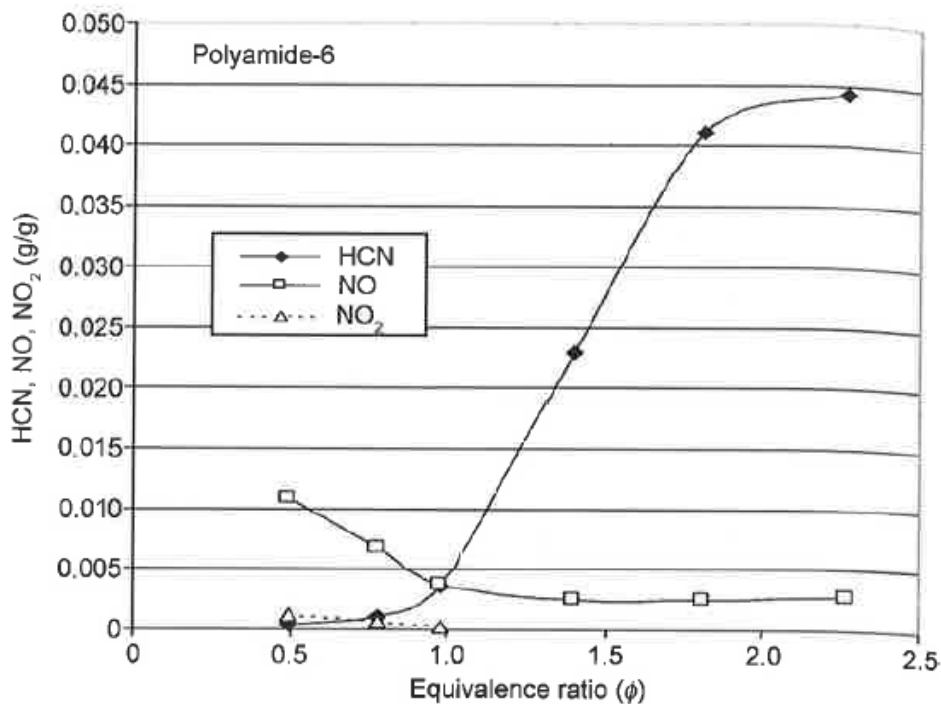
Taulukko 2. CO-BX-kaasukennon ristiinherkkyydet.

<b>CROSS SENSITIVITY</b>	Filter capacity	ppm·hrs	H <sub>2</sub> S	160,000	
	Filter capacity	ppm·hrs	NO <sub>2</sub>	120,000	
	Filter capacity	ppm·hrs	NO	120,000	
	Filter capacity	ppm·hrs	SO <sub>2</sub>	160,000	
	H <sub>2</sub> S	sensitivity	% measured gas @ 20ppm	H <sub>2</sub> S	< 0.1
	NO <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 10ppm	NO <sub>2</sub>	< 1
	Cl <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 10ppm	Cl <sub>2</sub>	< 0.1
	NO	sensitivity	% measured gas @ 50ppm	NO	< 25
	SO <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 20ppm	SO <sub>2</sub>	< 0.1
	H <sub>2</sub>	sensitivity	% measured gas @ 400ppm	H <sub>2</sub> at 20°C	< 5
	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	sensitivity	% measured gas @ 400ppm	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	< 10
	NH <sub>3</sub>	sensitivity	% measured gas @ 20ppm	NH <sub>3</sub>	< 0.1

Mittaustuloksia tulkittaessa on otettava huomioon, että kohdekaasun pitoisuusmittaus ei anna luotettavia tuloksia, jos näytekaasu sisältää myös yhdisteitä, joille kaasukenno on ristiinherkkä. Tyypeä sisältävät materiaalit, kuten esimerkiksi polyuretaani, voivat palaessaan tuottaa mm. syaanivetyä ja typen oksideja.

Erityisesti on huomattava, että HCN-mittaukseen ennen toukokuuta 2014 käytetty kennotyyppi 7HCN on ristiinherkkä CO:lle, jota muodostuu aina, kun orgaanista ainetta palaa eli aina tulipalossa. Näin ollen näiden aiempien HCN-mittausten tuloksia ei voida pitää luotettavina. 7HCN-kennolla tehtyjen mittausten tulokset ovat CO-tuoton vuoksi todennäköisesti merkittävästi suurempia kuin todelliset HCN-pitoisuudet polttilassa ovat olleet, mutta mittausvirheen suuruus ei ole kvantitatiivisesti arvioitavissa jälkikäteen monien epävarmuustekijöiden vuoksi.

Palossa syntyviin yhdisteisiin sekä niiden tuottoon ja suhteellisiin osuuksiin vaikuttavat paitsi palavat materiaalit myös palon olosuhteet kuten lämpötila ja happipitoisuus. Kuva 10 [4] esittää HCN:n, NO:n ja NO<sub>2</sub>:n tuottoja ekvivalenssisuhteen funktiona polyamidi 6:n liekehtivässä palossa. Tuotto (yksikkönä g/g) ilmaisee, montako grammaa tarkasteltavaa yhdistettä syntyy, kun yksi gramma poltettavaa materiaalia palaa. Kun ekvivalenssisuhde  $\phi = 1.0$ , palamisreaktio on stoikiometrinen eli ilma/polttoaine-suhde on yhtä suuri kuin teoreettinen ilmamäärä. Kun  $\phi < 1.0$ , palo on polttoainerajoitteinen eli happea on saatavilla enemmän kuin täydelliseen palamiseen tarvitaan. Kun  $\phi > 1.0$ , palo on happirajoitteinen eli happea on vähemmän kuin täydelliseen palamiseen tarvitaan. Kuten kuvasta 10 nähdään, happirajoitteisissa olosuhteissa muodostuu suhteessa enemmän HCN:ä kuin typen oksideja, ja polttoainerajoitteisissa olosuhteissa tilanne on päinvastainen.



14.12 Relationship between equivalence ratio and yields of nitric oxide, nitrogen dioxide and hydrogen cyanide under flaming combustion conditions at 650 °C in air measured in the steady-state tube furnace.

Kuva 10. HCN:n, NO:n ja NO<sub>2</sub>:n tuotot ekvivalenssisuhteen funktiona polyamidi 6:n liekehtivässä palossa [4].

Kokeellisessa tutkimuksessa on havaittu, että vesisammutus voi vaikuttaa palamisessa tapahtuviin kemiallisiin reaktioihin ja siten palossa syntyvien yhdisteiden tuottoihin. TOXFIRE-projektissa [5] tehtiin pienen mittakaavan palokokeita kammiossa, johon voitiin syöttää sammutusvettä. Vesisammutuksen havaittiin kasvattavan nylonin CO-tuottoa n. 20–70 % ja polypropeenin CO-tuottoa n. 100 %. Nylonin HCN- ja N<sub>2</sub>O-tuotot kaksinkertaistuivat sammutuksen vaikutuksesta, mutta NO- ja NO<sub>2</sub>-tuottoihin sillä ei ollut vaikutusta. Kahdelle muulle tutkitulle yhdisteelle (CNBA ja TMTM; teollisuudessa käytettäviä kemikaaleja) vesisammutuksen vaikutus palokaasujen tuottoihin oli pienempi kuin polymeereille. Vesi voi siis vaikuttaa palamisreaktioihin muutenkin kuin sammutteena. Toisaalta on otettava huomioon myös se, että vaikka jonkin yhdisteen tuotto (yksikkönä g/g) kasvaisi sammutusveden vuoksi, sammutus vähentää palavan materiaalin massaa. Tällöin kyseisen yhdisteen kokonaistuotto (yksikkönä g) voi huomattavasti pienentyä sammutuksen vaikutuksesta, mikä on myönteinen asia henkilöturvallisuuden kannalta.

#### 4.2.3 Kaasupitoisuusmittausten luotettavuudesta yleensä

Jatkuvatoimisten kaasupitoisuusmittausten luotettavuuteen vaikuttavat mm. toistettavuus, lineaarisuus, (nollapisteen ja kalibroinnin) ryömintä, kohina, likaantuminen, ympäristöolosuhteet, häiritsevät komponentit ja kalibrointi (kaasujen epätarkkuus) [3].

Laittevalmistajat ilmoittavat yleensä laitteidensa toistettavuuden, lineaarisuuden, ryöminän ja kohinan vaikutukset tuloksiin. Ympäristöolosuhteista laitteiden manuaaleissa ilmoitetaan yleensä sallittu toimintalämpötila ja ilman suhteellinen kosteus.

Näytteenottolinjan tulee olla inerttiä materiaalia, ts. se ei saa reagoida tutkittavien kaasukomponenttien kanssa ja komponentit eivät myöskään saa diffundoitua sen läpi. Kaasu voi myös adsorboitua linjan sisäpinnalle, jolloin mittauksiin syntyy viivettä.

Palokaasuissa esiintyvät hiukkaset eivät saa päästä kaasuantureihin, joten ne on poistettava näytekaasusta suodattimien avulla. Suodatinmateriaali on valittava siten, ettei se reagoi tutkittavien kaasukomponenttien kanssa.

Palokaasujen mittauksessa tarvittava kaasunkuivauslaitteisto saattaa myös aiheuttaa virhettä mittaustuloksiin, jos tutkittavat kaasut voivat absorboitua veteen ja siten poistua näytekaasusta.

Kalibrointikaasun pitoisuuden tulisi vastata kaasuanturin mittausaluetta siten, että se olisi suhteellisen lähellä mittausalueen ylärajaa tai niitä pitoisuuksia, joita mittauksissa tyypillisesti oletetaan esiintyvän. Monipistekalibroinnissa pitoisuudet tulisi valita tasaisin välein mittausalueelta tai korostaen tyypillisiä odotettavissa olevia pitoisuuksia. Kalibrointikaasujen suhteen on huomioitava myös stabiilisuusajat, jotka valmistajat ilmoittavat kaasuseoksille.

#### 4.2.4 Paloteatterin kaasupitoisuusmittausten luotettavuudesta

Paloteatterin kaasupitoisuusmittausten luotettavuuskysymykset liittyvät pääasiassa likaantumiseen, häiritseviin komponentteihin ja kalibrointiin.

Paloteatterin näytteenottolinja on kiinteästi asennettu ja sen materiaali on ruostumaton teräs. Teräsputkea voidaan pitää inerttinä eikä se päästä kaasukomponentteja diffundoitumaan linjan seinämän läpi. Kiinteä asennus kuitenkin vaikeuttaa näytteenottolinjan puhtaanapitoa. Ajan mittaan linjan sisäpintaan voi kertyä nokea, joka voi haitata virtausta ja pahimmassa tapauksessa reagoida kaasunäytteen komponenttien kanssa. Tämän vuoksi kaasunäytteenottolinja olisi säännöllisin väliajoin syytä puhdistaa tai vaihtaa. Puhdistus- tai vaihtoväli riippuu Paloteatterissa tehtävien palokokeiden määrästä ja laadusta eikä siihen voi antaa yksiselitteistä ohjetta. Asiaa on syytä miettiä kaasumittauslaitteistotoimittajan ja Paloteatterin vastuuhenkilöiden kesken.

Mittausta häiritsevien komponenttien suhteen on huomioitava mittauskennojen ristiinherkkyydet ja palokokeiden palokuormat kappaleessa 4.2.2 esitettyjen asioiden pohjalta. Kun valitaan palokuormaa eli poltettavia materiaaleja palokokeeseen, tulee huomioida käytettävien mittauskennojen ristiinherkkyydet.

Paloteatterissa tehtävissä paloilmoitinlaitedemoissa palokuormana voi olla esimerkiksi lastulevy- ja vaahtomuovikappaleita. Näihin liittyen voidaan nyrkkisääntönä todeta, että tyyppiä sisältävät materiaalit (esim. patjoissa käytettävä polyuretaani ja vaahtomuovi yleensä sekä ureapitoista liimaa sisältävä lastulevy) voivat tuottaa mm. syaanivetyä ja typen oksideja palo-olosuhteista riippuen (ks. kappale 4.2.2). Ottaen huomioon palamisreaktioiden monimutkaisuuden ja monivaiheisuuden myös muita yhdisteitä voi muodostua näissä polttokokeissa. HCN-mittauskennon ristiinherkkyydet on otettava huomioon tuloksia tulkittaessa ja niiden epävarmuuksia arvioitaessa.

Kaasupitoisuusmittauksien luotettavuutta lisää anturien säännöllinen kalibrointi. Nykykäytännön mukaisesti Paloteatterin kaasupitoisuusantureille suoritetaan kalibrointi vain uusia antureita käyttöönotettaessa. Hyvän laboratoriokäytännön (engl. good laboratory practice) mukaan anturit tulisi kalibroida ennen palokoesarjan aloittamista sekä määräaikaisesti riippuen palokokeiden määrästä ja palokoesarjojen väliajoista. Paloteatterin suhteen kalibroinneissa on kuitenkin löydettävä kompromissi optimaalisesti saavutettavissa olevan mittaustarkkuuden ja käytännön tarpeet täyttävän kustannustehokkaan toiminnan välillä. Joka tapauksessa suositeltavaa on käyttää antureiden kalibrointikaasuina mittauksen kohdekaasuja. Nykykäytännössä tästä poiketaan HCN-anturin suhteen (ks. kappale 3.2.2).

Paloteatterissa nykyisin mitattavilla kaasuilla ( $O_2$ , CO, HCN ja  $CO_2$ ) ei ole erityistä taipumusta absorboitua veteen kuten esimerkiksi vetykloridilla (HCl) [6]. Vetykloridia muodostuu poltettaessa klooria sisältäviä materiaaleja kuten PVC:tä. Jos HCl-pitoisuuksien mittaus olisi tulevaisuudessa tarkoituksenmukaista, tulisi kiinnittää erityistä huomiota siihen, ettei näytteenottolinjaan missään kohdassa pääse tiivistymään kosteutta.

#### 4.2.5 Kaasunäytteenoton edustavuudesta

Kaasupitoisuusmittaukset tulee toteuttaa siten, etteivät mittausympäristön tai näytteenottolinjan olosuhteet vaikuta näytteenoton edustavuuteen.

Palokokeiden ominaispiirteet asettavat erityisiä haasteita niiden yhteydessä tehtäville kaasupitoisuusmittauksille. Kyseessä ei ole normaalisti vakioitaisen jatkuvan prosessin valvonta vaan mittaus ajan funktiona muuttuvista olosuhteista. Muutokset saattavat olla nopeita, mikä tuo vaatimuksia mittausjärjestelmän vasteelle. Suositeltavaa olisi suorittaa kaasunäytteenottojärjestelmälle vasteaikamittaus. Tämä voidaan toteuttaa esimerkiksi syöttämällä kaasulinjaan kalibrointikaasua pulsseina (esim.  $3 \times (1 \text{ min ilmaa} + 1 \text{ min kalibrointikaasua})$ ) ja mittaamalla, missä ajassa kaasuanturi reagoi ja mitkä ovat signaalin nousu- ja laskuajat.

Jotta avoimessa tilassa tehtävän palokokeen tuottamista palokaasuista saataisiin edustava näyte, tulisi näytteenoton tapahtua suhteellisen läheltä paloa (esimerkiksi 1–2 metrin etäisyydeltä) muttei kuitenkaan paikasta, jossa kaasut ovat puutteellisesti sekoittuneet.

Paloteatterin tapauksessa näytteenotto läheltä polttotilan sivuseinää voi heikentää näytteen edustavuutta erityisesti silloin, kun palo on pieni ja melko kaukana näytteenottopisteistä. Huonetilojen palokokeita ja demonstraatioita järjestettäessä on myös huolehdittava siitä, ettei palotilan kalustus peitä tai varjosta näytteenottopisteitä.

### 4.3 Paloilmaisimet ja sammutusjärjestelmät

Paloteatterin paloilmaisimet on valittu tarkoituksenmukaisesti edustamaan yleisimmin käytössä olevien paloilmoitinjärjestelmien ilmaisintyyppiä. Paloilmaisinvalikoima on



suhteellisen helposti muutettavissa ja laajennettavissa tulevien tarpeiden ja tekniikan kehityksen mukaan.

Myös demonstroitavien sammutusjärjestelmien suhteen Paloteatteriin valitut järjestelmät (normaali vesisprinklerilaitteisto, matalapaineinen vesisumusammutuslaitteisto ja korkeapaineinen vesisumusammutuslaitteisto) ovat asianmukaiset ja nykykäytäntöä edustavat. Näiden muuttaminen tai laajentaminen tulevaisuuden tarpeiden mukaan vaatii kuitenkin enemmän resursseja kuin paloilmainsivalikoiman päivittäminen.

Sammutusjärjestelmälaitteistoja tulisi käyttää niiden soveltamisalueella. Jos esimerkiksi laitteisto on tarkoitettu OH1-sovelluksiin, sitä voi käyttää OH1- ja LH-sovelluksiin mutta ei vaativampiin sovelluksiin. Koska laitteistotoimittajalla on paras näkemys tuotteidensa toiminnasta, olisi suositeltavaa, että laitteistotoimittaja arvioisi ja hyväksyisi ne demonstraatiot, joihin kyseistä laitteistoa käytetään. Tämä pätee erityisesti vesisumu-laitteistoille.

Sprinklerien laukeamislämpötilan tarkkuudelle asetetaan vaatimuksia mm. standardeissa LPS 1039-5.1 [7] ja FM Approval Standard 2000 [8]. On huomattava, että alla kuvatut lasikapselitestit tehdään testiprosessin paremman hallittavuuden vuoksi vähitellen kuumennettavassa vesihauteessa eikä ilmatilassa, mikä on sprinklerin normaali käyttöympäristö.

LPS 1039-5.1 –standardi määrittelee sprinklerien lasikapselien rikkoutumiselle toimintalämpötilajakaumat, joiden vaatimukset 50 kapselin otoksen tulee testissä täyttää. Nämä vaatimukset esitetään taulukossa 3 [7]. Esimerkiksi lasikapselien, joiden nimellinen toimintalämpötila on 68 °C, tulee testissä rikkoutua lämpötilavälillä 65–86 °C.

*Taulukko 3. Vaatimukset sprinklerien lasikapselien toiminnalle LPS 1039-5.1 –standardin mukaan [7].*

1	2	3	4	5
Nominal bulb rating (°C)	Lowest temperature (°C)	25 of the 50 bulbs (°C)	40 of the 50 bulbs (°C)	50 of the 50 bulbs (°C)
57	54	63	68	74
68	65	74	79	86
79	76	87	92	99
93	90	101	106	113
141	138	149	155	163
182	179	190	196	206
227	224	235	242	252
260	257	268	275	286

FM Approval Standard 2000:n mukaan sprinklerin todellisen toimintalämpötilan tulee olla  $\pm 3.5\%$ :n sisällä nimellisarvosta [8]. Nimellisarvolle 155 °F (n. 68 °C) sallittu vaihteluväli on tällöin 150–160 °F (n. 65–71 °C).

Sprinkleridemonstraatioissa on havaittu merkittävästi suurempia poikkeamia sprinklerin laukeamislämpötiloissa perustuen suuttimien läheisyydessä vaipallisilla termoelementeillä mitattuihin lämpötiloihin. Nimellisarvoltaan 68 °C olevien lasikapselien rikkoutumislämpötilat ovat saattaneet lämpötilamittausten mukaan vaihdella n.  $\pm 20$  °C.



Edellä esitettyjen vaatimusten nojalla ja VTT:n asiantuntija-arvion mukaan lasikapselien rikkoutumislämpötilan vaihtelu on vähäisempää kuin paloteatterin lämpötilamittausten perusteella voisi päätellä. Demonstraatioissa tehdyt havainnot viittaavat vahvasti siihen, että paloteatterin lämpötilamittausten antamat lukemat eivät kaikissa tilanteissa vastaa todellista lämpötilaa sprinklerin lasikapselin lähiympäristössä. Poikkeamat voivat liittyä esim. alaspäin osoittavien lämpötila-anturien kärjen kostumiseen tai lämmönjohtumiseen, liitosten tai signaalijohtojen epävarmuuteen, anturien vanhenemiseen tai palotilan virtauksiin. Täyttä varmuutta poikkeamien syistä ei ole mahdollista jälkikäteen saada, mutta nämä tekijät on tarpeen huomioida tulevaisuudessa.

## 5. Paloteatterin mittausjärjestelmän soveltuvuuden arviointi

---

Paloteatterin palokokeiden pääasiallisena tarkoituksena on demonstroida huonepalon olosuhteiden kehittymistä palon alkuvaiheessa sekä siihen liittyvien palonilmais- ja sammutusjärjestelmien reagointia. Tavoitteena eivät tällöin ole lämpötila- ja kaasupitoisuusmittaukset tieteellisellä tarkkuudella tai hyväksyntästandardien mukaisesti. Tulosten perusteella tehtäviä johtopäätöksiä on kuitenkin arvioitava kriittisesti tiedostaen paloteatterin mittausjärjestelmien rajoitukset.

Demonstraatioiden yleisön tekemien johtopäätösten oikeellisuutta on tarpeellista varmistaa kertomalla epävarmuustekijöistä, kuten paloteatterin nykyisessäkin toiminnassa on tapana tehdä. Lisäksi on aiheellista miettiä, mitä mittaustulosnäyttöjä yleisölle esitetään. Jos esimerkiksi kaasupitoisuusmittauksissa on merkittäviä epävarmuustekijöitä, kaasupitoisuusnäyttöjä ei ole tarkoituksenmukaista näyttää yleisölle. Virheellisten mielikuvien syntymistä on syytä välttää.

Pelastusopiston tutkimusyksikön suorittamissa tutkimuksissa ja testauksissa sekä opinnäytetöissä mittausten tarkkuusvaatimukset ovat suuremmat kuin demonstraatioissa ja vertailumittauksissa. Vaikka tällöinkään ei kaikissa tapauksissa ole tavoitteena lämpötila- ja kaasupitoisuusmittaukset tieteellisellä tarkkuudella tai hyväksyntästandardien mukaisesti, tulosten perusteella tehtäviä johtopäätöksiä on arvioitava erityisen kriittisesti tiedostaen paloteatterin mittausjärjestelmien rajoitukset.

Mittaustekniikan luotettava toiminta edellyttää mittausjärjestelmien toiminnan tuntemista, aktiivista kalibrointia, huoltoa ja kunnossapitoa. Näiden asioiden suhteen suositellaan mittauslaitteistojen kalibrointi- ja kunnossapitosuunnitelman laatimista. Tässä työssä tulee huomioida Paloteatterin käytön volyyymi ja eri käyttötarkoitusten tavoitteet.

Mittausjärjestelmän kalibroinneissa on tarpeen löytää tasapaino hyvän laboratoriokäytännön ja paloteatterin arkipäiväkäytännön välillä. Tämän tilanteen reunaehdot on mahdollista selvittää miettimällä paloteatterin toiminnan tavoitteita käytettävissä oleviin resursseihin nähden.

Edellyttäen, että mittausjärjestelmän kalibroinnit suoritetaan tarkoituksenmukaisin aikavälein (ennen palokoesarjan alkua ja määräaikaaisesti riippuen palokokeiden määrästä ja koesarjojen väliajoista), lämpötilamittausten tarkkuuden voidaan olettaa olevan riittävä demonstraatiotarkoituksiin ja vertailumittauksiin. Kaasupitoisuusmittauksissa on tämän lisäksi kiinnitettävä huomiota mittauskennojen ristiinherkkyyksiin, palokokeiden palokuormiin ja palo-olosuhteisiin erityisesti HCN-mittausten suhteen. Tutkimus-, testaus- ja opinnäytetyökäytössä vaatimukset ovat tiukemmat kuin demonstraatioissa ja vertailumittauksissa.

Ennen toukokuuta 2014 suoritettujen HCN-pitoisuusmittausten tulokset ovat epäluotettavia. Tuolloin käytetty HCN-mittauskenno oli ristiinherkkä CO:lle, jota käytännössä aina muodostuu tulipalossa. Mittausvirheen suuruus ei ole jälkikäteen arvioitavissa, mutta tulokset ovat todennäköisesti olleet merkittävästi suurempia kuin polttilan todelliset HCN-pitoisuudet. Nykyisin käytössä olevalla HCN-mittauskennolla päästään luotettavampiin

tuloksiin, koska tämä kennotyyppi ei ole ristiinherkkä CO:lle. Muut ristiinherkkyydet (esim. negatiivinen ristiinherkkyys NO<sub>2</sub>:lle) on nyt tiedostettu ja osataan jatkossa huomioida.

Nykytilanteessa lämpötilan ja kaasupitoisuuksien mittauspisteet ovat kiinteästi asennettuja. Tämä ei välttämättä aiheuta ongelmia mittausten luotettavuuden suhteen, mutta asian tarkemmaksi selvittämiseksi tarkoituksenmukaista mittauspisteiden sijaintia voitaisiin tarkastella palosimuloinneilla työvaiheessa 2.

VTT:n asiantuntija-arvion perusteella kaasupitoisuuksien ja lämpötilojen mittaaminen kolmelta eri korkeudelta ja lämpötilan mittauspisteiden sijoittaminen lähelle sammutusjärjestelmän suuttimia vaikuttaa tarkoituksenmukaiselta. Jo muutamalla anturilla on mahdollista saada paljon informaatiota edellyttäen, että anturit toimivat riittävän luotettavasti ja ovat edustavissa paikoissa esimerkiksi huonepalon keskimääräisten olosuhteiden kannalta.

Paloteatterin polttotilan puhdistumisen arviointia mitattujen CO- ja HCN-pitoisuuksien perusteella (so. milloin tilaan voi mennä ilman paineilmalaitteita) tulee tarkastella kriittisesti. Henkilöturvallisuus tulee kaikissa tilanteissa varmistaa mittausepävarmuudet huomioiden ja tarpeetonta altistumista savukaasujen haitallisille yhdisteille tulee välttää.

## 6. Yhteenveto ja suositukset

---

Tässä tutkimusraportissa on arvioitu Pelastusopiston paloteatterin mittaustekniikan toimintaa ja luotettavuutta sekä mittausjärjestelmän soveltuvuutta ja rajoitteita huonepalon alkuvaiheessa syntyvien olosuhteiden tarkasteluun.

Paloteatterin lämpötilamittausten tarkkuus on riittävä demonstraatiotarkoituksiin ja vertailumittauksiin. Kaasupitoisuusmittauksissa on otettava huomioon palavien materiaalien ja palo-olosuhteiden vaikutus palossa muodostuviin kaasuihin. Mittauskennojen ristiinherkkyydet on otettava huomioon tuloksia tulkittaessa.

Paloteatterissa tehtävissä demonstraatioissa on yleisölle korostettava sitä, että demonstraatio edustaa yhtä mahdollista tilannetta tarkasteltavassa paloskenaariossa. Todellisuudessa vaikkapa sairaalan potilashuone voi olla merkittävästi erilainen kuin demonstraatioissa on oletettu. Demonstraatioiden olosuhteet on määriteltävä mahdollisimman edustaviksi, mutta kaikkia tosielämän tilanteita ei voida käytännössä kattaa. Yleisön tulee olla tietoinen tästä väistämättömästä tosiasia.

Pelastusopiston tutkimusyksikön suorittamissa tutkimuksissa ja testauksissa sekä opinnäytetöissä mittausten tarkkuusvaatimukset ovat suuremmat kuin demonstraatioissa ja vertailumittauksissa. Vaikka tällöinkään eivät kaikissa tapauksissa ole tavoitteina lämpötila- ja kaasupitoisuusmittaukset tieteellisellä tarkkuudella tai hyväksyntästandardien mukaisesti, tulosten perusteella tehtäviä johtopäätöksiä on arvioitava erityisen kriittisesti tiedostaen paloteatterin mittausjärjestelmien rajoitukset.

Mittaustekniikan luotettava toiminta edellyttää mittausjärjestelmien toiminnan tuntemista, aktiivista kalibrointia, huoltoa ja kunnossapitoa. Mittauslaitteistojen kalibrointi- ja kunnossapitosuunnitelman laatimista suositellaan painokkaasti luotettavuuden parantamiseksi ja erityisesti tutkimus-, testaus- ja opinnäytetyökäytön tukemiseksi. Suunnitelmaa laadittaessa tulee huomioida paloteatterin käytön volyyymi ja eri käyttötarkoitusten tavoitteet. On muistettava, että toiminnan epävarmuustekijät vaikuttavat lopputulosten luotettavuuteen.

Tässä tutkimusraportissa esitetään Pelastusopiston paloteatterin auditointiin liittyvän selvitystyön ensimmäisen vaiheen tulokset. Mikäli selvitystyön toinen vaihe toteutuu, voidaan selvittää tarkemmin mm. lämpötilan ja kaasupitoisuuksien mittauspisteiden tarkoituksen-

mukaista sijaintia, mittausjärjestelyjen kehitystarpeita suhteessa nykyiseen käyttöön ja tilan soveltuvuutta paloteknisten laitteiden toiminnan esittelyyn.

Pelastusopiston paloteatteri on tarkoituksenmukainen ympäristö mm. huonepalon alkuvaiheen kehittymisen ja paloteknisten laitteiden toiminnan havainnollistamiseen. Paloteatterin yleisö tekee demonstraatioissa visuaalisia havaintoja, jotka jäävät mieleen ja vaikuttavat näkemyksiin. Tämän vuoksi on erityisen tärkeitä, että demonstraatioita seuraavien opiskelijoiden, koulutettavien, asiakkaiden, tiedotusvälineiden edustajien ja muun yleisön saamat mielikuvat ovat realistisia. Tällöin paloteatterin julkisuusarvo ja potentiaali mielikuvavaikuttamiseen palvelevat parhaalla mahdollisella tavalla paloturvallisuusosaamisen ja -tietoisuuden kehitystä.

## Lähdeviitteet

---

1. [http://www.pelastusopisto.fi/fi/tule\\_opiskelemaan/oppimisymparistot/paloteatteri](http://www.pelastusopisto.fi/fi/tule_opiskelemaan/oppimisymparistot/paloteatteri) [viitattu 19.11.2014].
2. Manual on The Use of Thermocouples in Temperature Measurement. Fourth Edition. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1993. 290 s. (ASTM manual series: MNL 12.) ISBN 0-8031-1466-4
3. Päästömittausten käsikirja, Osa 1: Päästömittaustekniikan perusteet. Kesäkuu 2007. 58 s. + 52 liites. [viitattu 19.11.2014]. Saatavissa: <http://www.isy.fi/osa1.pdf>.
4. Purser, D. A., Stec, A. A. & Hull, T. R. Effects of the material and fire conditions on toxic product yields. Teoksessa: Stec, A. & Hull, R. (toim.). Fire toxicity. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2010. Ss. 515–540. ISBN 978-1-84569-502-6
5. Hietaniemi, R., Kallonen, R. & Mikkola, E. Fires at chemical warehouses. A cone calorimeter study on the burning characteristics and fire effluent composition of selected chemical compounds. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 1997. 56 s. + 35 liites. (VTT Research Notes 1810.) ISBN 951-38-5085-4
6. Hakkarainen, T. (toim.). Smoke gas analysis by Fourier transform infrared spectroscopy. The SAFIR project. Espoo: VTT Technical Research Centre of Finland, 1999. 81 s. (VTT Tiedotteita–Meddelanden–Research Notes 1981.) ISBN 951-38-5481-7. [viitattu 16.12.2014]. Saatavissa: <http://www.vtt.fi/inf/pdf/tiedotteet/1999/T1981.pdf>.
7. LPS 1039: Issue 5.1. Requirements and Testing Methods for Automatic Sprinklers. Watford: BRE Global Ltd, 2005. 49 s. [viitattu 25.11.2014]. Saatavissa: <http://www.redbooklive.com/pdf/LPS1039-5.1.pdf>
8. FM Approval Standard 2000. Approval Standard for Automatic Control Mode Sprinklers for Fire Protection. Class Number 2000. FM Approvals, March 2006. 71 s. + 52 liites. [viitattu 25.11.2014]. Saatavissa: <http://www.fmglobal.com/assets/pdf/fmapprovals/2000.pdf>