



VAASAN AMMATTIKORKEAKOULU
VASA YRKESHÖGSKOLA
UNIVERSITY OF APPLIED SCIENCES

Henri Wennström

PID-LAITTEEN
SOVELLUSMAHDOLLISUUDET
RAKENNUSTEN KUNTO- JA
SISÄILMATUTKIMUKSESSA

Tekniikka ja liikenne
2013

ALKUSANAT

Opinnäytetyö on tehty IdeaStructura Oy:lle syksyn 2012 ja kevään 2013 välisenä aikana. Haluan kiittää projektipäällikkö Jukka Huttusta mielenkiintoisesta opinnäytetyön aiheesta ja asiantuntevasta opastuksesta työn aikana.

Lisäksi haluan kiittää Kokkolan kaupungin teknisen palvelukeskuksen tilapalveluiden projektipäällikköä Outi Teirikangas-Lerssiä, joka ohjasi minut opinnäytetyön aiheeseen. Kiitos kuuluu myös Vaasan ammattikorkeakoulun laboratorioinsinöörille Minna Lundbergille, joka auttoi laboratoriokokeiden kanssa, opinnäytetyön ohjaajalleni Tapani Hahtokarille sekä asiantuntijoille, joilta sain arvokasta tietoa työhöni.

Vaasassa 23.4.2013

Henri Wennström

TIIVISTELMÄ

Tekijä	Henri Wennström
Opinnäytetyön nimi	PID-laitteen sovellusmahdollisuudet rakennusten kunto- ja sisäilmatutkimuksissa
Vuosi	2013
Kieli	suomi
Sivumäärä	76 + 3 liitettä
Ohjaaja	Tapani Hahtokari

Opinnäytetyö on tehty IdeaStructura Oy:lle. Työn tarkoituksena oli selvittää fotoionisaatiodektoirin sovellusmahdollisuuksia kunto- ja sisäilmatutkimuksessa.

Sisäilmaongelmat ja homevauriot ovat nykyisin laajasti esillä. Ongelmia esiintyy niin vanhoissa kuin uusissakin rakennuksissa. Lisäksi ongelmat ulottuvat kouluista ja päiväkodeista aina tavallisiin asuinrakennuksiin. Suurimmaksi sisäilmaa pilaavaksi tekijäksi home- ja kosteusvaurioiden rinnalle ovat paljastuneet muovimattojen kemiallisesta hajoamisreaktiosta syntyvät haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC), erityisesti 2-etyyli-1-heksanoli. Mittausmenetelmät sisäilmaongelmien ja rakennevaurioiden havaitsemiseksi ovat perinteisesti kalliita ja hitaita.

Opinnäytetyössä tutkittiin fotoionisaatiodektoirin (PID) kykyä havainnoida sisäilmaongelmia, niiden epäpuhtauslähteitä ja rakennusmateriaalien kuntoa materiaaliemissioiden avulla. Työssä keskityttiin erityisesti PID-mittarin kykyyn havainnoida muovimattojen hajoamistuotteina syntyviä yhdisteitä ja niiden alustavien raja-arvojen määrittämiseen. Työn tarkoituksena oli selvittää laitteen käyttömahdollisuus kenttämittauslaitteena. Muovimattokokeet tehtiin useammassa oikeassa kohteessa, joissa tiedettiin olevan sisäilma- tai kosteusongelmia. Rakennusmateriaalien emissio- ja hajoamiskokeet suoritettiin Vaasan ammattikorkeakoulun laboratoriossa.

Fotoionisaatiodektoirin testauksessa ilmeni, että sen kyky havainnoida muovimattojen vaurioita on toimiva. Kokeiden aikana onnistuttiin luomaan raja-arvoja muovimattojen tuloksille. Raja-arvoja voidaan hyödyntää yhdessä kosteusmittaustulosten ja aistinvaraisten havaintojen kanssa päällysrakenteen kuntotutkimuksessa. Tulokset ovat kuitenkin vielä alustavia ja niiden tarkentamista jatketaan tulevaisuudessa kokeiden avulla.

ABSTRACT

Author	Henri Wennström
Title	The Application Possibilities of PID Device in Condition Survey and Indoor Air Research
Year	2013
Language	Finnish
Pages	76 + 3 Appendices
Name of Supervisor	Tapani Hahtokari

This thesis was made for IdeaStructura Oy. The aim of the thesis was to clarify potential applications for a photoionization detector in condition survey and indoor air research.

Indoor air quality problems and mold damages are widely discussed in media. These kinds of problems exist in both old and new buildings. Problems appear in schools and kindergartens but also in residential buildings. Volatile organic compounds (VOC), especially 2-ethyl-1-hexanol, that emission from decomposition of plastic floor mats has beside mold and moisture damages emerged to one of the biggest indoor air pollutant factor. Methods for measuring indoor air problems and structural damages are in general expensive and slow.

This thesis studied the ability of the photoionization detector (PID) to detect indoor air quality problems, sources of air pollution and condition of building materials by material emissions. The work focused especially on the PID's ability to detect compounds from decomposition of the plastic floor mats and to set the initial limit values. The aim of the study was to determine the possibility of using PID as a field measurement device. Plastic floor mat experiments were performed in more than one destination where indoor air quality problems or moisture damages appeared. Building material emission tests were performed in a laboratory in Vaasa University of Applied Sciences.

The testing of the photoionization detector showed that its ability to detect damages of the plastic floor mats is functional. During the experiments, the limit values were successfully established for floor mat results. The limit values can be used together with humidity measurements and organoleptic findings in the condition survey of plastic floor mats. However, these results are still preliminary and further refinement will be conducted during future experiments.

Keywords Indoor air, VOC, photoionization detector, emission

SISÄLLYS

ALKUSANAT

TIIVISTELMÄ

ABSTRACT

1	JOHDANTO.....	11
2	MÄÄRÄYKSET JA OHJEISTUKSET SISÄILMAN LAADULLE	13
	2.1 Ohje- ja viitearvoja	13
	2.2 Rakennuslait, -ohjeet ja -velvoitteet	15
	2.3 Sisäilmastoluokitus	16
	2.4 Tutkimustuloksia.....	18
3	HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (VOC).....	20
	3.1 Haihtuvien yhdisteiden määrittely	20
	3.2 Epäpuhtauksien lähteet ja esiintyminen.....	21
	3.3 Terveysvaikutukset	25
	3.4 Mittausmenetelmät ja -olosuhteet	26
4	FOTOIONISAATIODETEKTORI	28
	4.1 Laitteen perustoiminta	28
	4.2 Mittatulosten korjauskerronta	32
	4.3 Laitteen havainnointi	32
	4.4 Käyttösovellukset.....	34
	4.5 Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät.....	36
5	TUTKITUT MENETELMÄT	38
	5.1 Sisäilman pitoisuuksien mittaus ongelmalähteiden määrittämiseksi.....	38
	5.2 Muovimattojen kunnon selvitys.....	41
	5.2.1 Mittausmenetelmän kuvaus.....	41
	5.2.2 Kosteusmittaus vertailu.....	43
	5.2.3 Materiaalinäyte vertailu	45
	5.3 Materiaaliemissioiden havainnointi	49
	5.3.1 Puumateriaali.....	50
	5.3.2 Eristemateriaalit	52
	5.3.3 Rakennuslevyt.....	54

5.3.4	Maalit, liimat ja muut rakennuskemikaalit.....	55
5.3.5	Huonekalut ja sisustusmateriaalit.....	56
5.3.6	Käyttäjien toiminta.....	56
5.3.7	Yhteenveto materiaalinäytekoikeista	57
5.4	Lämpötilan vaikutus materiaalipäästöihin	59
5.5	Homekasvustojen havainnointi	60
5.6	Rakennustöiden aikainen olosuhdetarkkailu.....	61
6	CASE-TUTKIMUS	62
6.1	Kohteen yleiskuvaus	62
6.2	Mittaustulokset.....	63
6.3	FLEC-vertailunäyte.....	68
7	POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET	70
	LÄHTEET.....	72
	LIITTEET	

KUVIO- JA TAULUKKOLUETTELO

Kuvio 1.	Sairas rakennus- oireyhtymään vaikuttavia tekijöitä .	s. 26
Kuvio 2.	Fotoionisaatiodektoirin havainnointialueet.	s. 31
Kuvio 3.	Tulokset viiltomittauksista.	s. 42
Kuvio 4.	PID-tulosten ja kosteusmittaustulosten vertailu.	s. 44
Kuvio 5.	Ositumin materiaalikokeiden TVOC-lukemien vertailu PID-lukemiin.	s. 45
Kuvio 6.	Yhdisteryhmien vertailu PID- ja kosteusmittaustuloksiin.	s. 46
Kuvio 7.	Yhdistevertailu PID- ja kosteusmittaustuloksiin.	s. 47
Kuvio 8.	2-etyyli-1-heksanolin vertailu PID- ja kosteusmittauksiin.	s. 48
Kuvio 9.	1-butanolin vertailu PID- ja kosteusmittauksiin.	s. 49
Kuvio 10.	Case-kohteen PID-lukemien ja RH:n vertailu.	s. 65
Kuvio 11.	Case-kohteen PID-lukemien ja vesihöyrypitoisuuksien vertailu.	s. 66
Kuvio 12.	Case-kohteen PID-lukemien ja lattian lämpötilan vertailu.	s. 67
Kuvio 13.	FLEC tulokset maton päältä .	s. 68
Kuvio 14.	FLEC tulokset maton alta.	s. 69
Taulukko 1.	Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja .	s. 14
Taulukko 2.	Sisäilmastoluokkien ulkoilmavirtojen mitoitusarvot.	s. 17

Taulukko 3.	Materiaalipäästöluokituksen raja-arvot luokittain.	s. 18
Taulukko 4.	Ositum Oy:n tutkimus tuloksia VOC-pitoisuuksille.	s. 19
Taulukko 5.	Orgaanisten yhdisteiden ryhmät kiehumispisteen mukaan.	s. 21
Taulukko 6.	Päästölähteitä sisäilman yhdisteille.	s. 23
Taulukko 7.	VOC-päästölähteiden emissioprofiileja.	s. 39
Taulukko 8.	Yhteenveto materiaalikoetuloksista.	s. 58
Taulukko 9.	Case-kohteen tulokset mittapisteittäin.	s. 63
Kuva 1.	Kalibrointivälineet.	s. 29
Kuva 2.	Näytekaasun matka laitteessa.	s. 30
Kuva 3.	Öljy-yhdisteiden mittaaminen porareistä.	s. 35
Kuva 4.	Mittausepävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä.	s. 37
Kuva 5.	Epäpuhtauslähteen mittaus.	s. 40
Kuva 6.	Viiltomittauksen tiivistys.	s. 42
Kuva 7.	Kosteus- ja PID-mittari.	s. 43
Kuva 8.	Puunäytekappaleet.	s. 50
Kuva 9.	Märän kyllästetyn puukappaleen mittaaminen.	s. 51
Kuva 10.	Kreosootilla pinnoitettu seinä .	s. 53
Kuva 11.	Kosteudelle altistettu kipsilevy.	s. 54
Kuva 12.	Näytteiden lämpötilan kohotus.	s. 59
Kuva 13.	Homeelta haisevan seinän mittaus.	s. 60

- Kuva 14.** Värimuutoksia päällysteessä ja tasoitteessa . s. 64
- Kuva 15.** Kosteusvaurioitunut ulkoseinä. s. 67

LIITELUETTELO

LIITE 1. Viiltomittauksen suoritusohje

LIITE 2. Yleisiä ohjeistuksia laitteen käyttöön

LIITE 3. Kalibrointiin liittyviä ohjeistuksia

1 JOHDANTO

Ihminen viettää suurimman osan elinajastaan sisätiloissa. Huono sisäilma voi aiheuttaa tilojen käyttäjille terveyshaittoja. Syitä sisäilman huonoon laatuun on monia. Kemiallisten epäpuhtauksien tiedetään olevan yksi vakavimmista sisäilman laatua heikentävistä tekijöistä. Ne voivat olla peräisin rakennus- ja sisustusmateriaaleista, ihmisen omasta toiminnasta, kosteusvaurioituneista materiaaleista, tai ulkopuolisista epäpuhtauslähteistä kuten liikenteestä. VOC-yhdisteet, eli haihtuvat orgaaniset yhdisteet, ovat eräitä kemiallisia epäpuhtauksia, jotka esiintyvät huoneenlämmössä kaasumaisessa muodossa. VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin sisäilmassa vaikuttavat muun muassa sisäilman lämpötila ja kosteus, sääolosuhteet, ihmisen toiminta sekä ilmanvaihdon tehokkuus /33/. Synteettisesti valmistettujen muovimattojen kosteusvaurioista aiheutuvat päästöt, erityisesti 2-etyyli-1-heksanoli, ovat olleet tutkimusten alla terveyshaittoja aiheuttavina yhdisteinä. 2-etyyli-1-heksanolin kohonneita pitoisuuksia pidetään myös indikaattorina muovimattojen kosteusvaurioille. /41/

Fotoionisaatiodektoori (PID) on työkalu, jolla pystytään mittaamaan VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuksia. Laitetta käytetään muun muassa teollisuudessa työturvallisuusmittauksissa, ympäristöalalla saastuneen maaperän tutkimisessa ja rakennusalalla vanhojen teollisuusrakennusten kuntotutkimuksessa. PID-mittarin toiminta perustuu ionisaatioon, jonka mahdollistaa fotoneja tuottava UV-lamppu. /1/

Tässä työssä tutkittiin fotoionisaatiodektoerin soveltamista sisäilma- ja kuntotutkimuksessa. Erityisesti keskityttiin muovimattojen kosteusvaurioista johtuvien päästöjen havainnointiin ja tulosten tulkintaan. Vertailua PID-mittaukselle haettiin kosteusmittauksista, materiaalinäytekoikeista ja FLEC-mittauksesta. Opinnäytetyön Case-tutkimusosiossa on suoritettu PID-mittaus eräässä koulurakennuksessa.

Lisäksi työssä testattiin erilaisten näytteiden avulla materiaaleista vapautuvien yhdisteiden ja kosteusvaurioituneiden materiaalien tunnistamista, sekä laitteen

kykyä antaa viitettä sisäilman laadusta pitoisuuksien avulla. Tämä opinnäytetyö on tehty IdeaStructura Oy insinööritoimistoa varten.

Opinnäytetyössä onnistuttiin luomaan alustavia raja-arvoja muovimattojen pitoisuuksille. Näiden arvojen käyttö vaatii kuitenkin vielä tarkentamista ja jatkotyöskentelyä. Lisäksi työssä saatiin määritettyä materiaaleja, joiden pitoisuuksissa on selviä eroja kosteusvaurioituneena ja materiaaleja, jotka voivat esiintyessään aiheuttaa tuloksiin poikkeamia.

Opinnäytetyön liitteessä 1 on työohje PID-mittauksen suorittamiseksi muovimatoille, liitteessä 2 yleisiä ohjeistuksia mittaukseen ja liitteessä 3 kalibrointiin liittyviä ohjeistuksia. Laitteen käyttöön liittyviä materiaaleja on saatavilla RaeSystems:n kotisivuilta.

2 MÄÄRÄYKSET JA OHJEISTUKSET SISÄILMAN LAADULLE

Rakennuksen sisäilmastoon pystytään vaikuttamaan suunnittelulla ja rakennustavalla. Kaavoituksella ja talojen sijoittelulla voidaan vaikuttaa siihen, minkälaisessa ympäristössä rakennus sijaitsee suhteessa ulkoisiin epäpuhtauslähteisiin, kuten esimerkiksi saastuttavaan teollisuuteen ja liikenneväyliin. Pääsääntöisesti rakennuksen sijainti, rakennustapa, rakennusmateriaalit ja ilmanvaihtoratkaisut määräävät sisäilman perustan. /10/

Rakentamiselle on annettu ohjeistuksia ja määräyksiä terveen sisäilmympäristön saavuttamiseksi. Sisäilmassa esiintyvien kemiallisten aineiden enimmäispitoisuuksille asunnoissa ja oleskelutiloissa ei kuitenkaan ole käytettävissä kansainvälisiä, tai kotimaisia viranomaisstandardeja /44/.

Kemiallisten aineiden esitetyt viitearvot ovat ohjeellisia ja suuntaa antavia. Ihmisen oireilu eri pitoisuusmäärille ja yhdisteille on yksilöllistä ja tästä syystä raja-arvojen määrittäminen on vaikeaa ja tapauskohtaista. Tehdas-, toimisto- ja asuinympäristöille on määritetty omat viitearvonsa.

2.1 Ohje- ja viitearvoja

Asumisterveysopas antaa asuntojen sisäilman tavanomaiseksi TVOC-pitoisuudeksi 200-300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Epätavallisen korkeana lukemana pidetään pitoisuuksia, jotka ylittävät 600 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Tällöin lisäselvitykset yksittäisten aineiden tutkimisista ovat tarpeen. TVOC-mittausten tuloksia ei voida kuitenkaan sellaisinaan käyttää terveyshaittojen arviointiin. /44, 136/

Norjassa asuntojen sisäilman pitoisuuksien enimmäisarvona on pidetty 400 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. /33, 132/

Työterveyslaitos painottaa toimistoympäristöstä, että sisäympäristön mittatulokset ovat yksi osa-alue sisäilmaongelmien tunnistamisesta. Sisäilmympäristön tutkimisessa tarkastelu on tehtävä kokonaisuutena, jolloin viitearvot, käyttäjien kokemukset sisäilmympäristöstä, rakennuksen ylläpito ja ongelmien

ratkaisuprosessi muodostavat tutkimisen rakenteen. Työterveyslaitos käyttää puhtaissa toimistotyöympäristöissä taulukon 1 mukaisia viitearvoja. Taulukosta näkyy, että työterveyslaitos pitää toimistotyöympäristössä kohonneena TVOC lukemana pitoisuuksia jotka ylittävät 250 µg/m³. Kohonnut pitoisuus antaa viittausta epätavanomaisista lähteistä. /39/

TAULUKKO 1. Työterveyslaitoksen käyttämiä viitearvoja toimistosisäilman orgaanisista kemiallisista yhdisteistä. /39/

Mitattu altiste	Viitearvo	Huom.
Ammoniakki	>25 µg/m ³	kohonnut pitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaisiin lähteisiin
Formaldehydi	>15 µg/m ³	Formaldehydi voi aiheuttaa ärsytysoireita herkällä henkilöllä hyvin pienissä pitoisuuksissa. Suositeltu sisäilmataso (RIL) formaldehydille on 4 µg/m ³ .
TVOC	>250 µg/m ³	kohonnut pitoisuus, viittaa sisäilman epätavanomaisiin lähteisiin
Aromaattiset hiilivedyt	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Alkoholit	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Alifaattiset hiilivedyt	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Aldehydit	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Glykolit/glykoli-eetterit	>10 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Terpeenit	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Si-yhdisteet	>10 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Orgaaniset hapot	>10 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Esterit	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Ketonit	>5 µg/m ³	Kohonnut pitoisuus
Naftaleeni	2-20 µg/m ³	20 µg/m ³ on ohjearvo, jonka ylittäminen aiheuttaa välittömiä toimenpiteitä.

Sosiaali- terveysministeriö on määrittänyt työpaikkojen sisäilmalle haitalliseksi tunnetut epäpuhtauspitoisuudet, HTP-arvot. Ne ovat arvioita työntekijän

terveydelle haitallisista pienimmistä pitoisuuksista, jotka voivat aiheuttaa haittaa tai vaaraa työntekijän turvallisuudelle, terveydelle tai lisääntymisterveydelle. HTP-arvot on määritetty lähes jokaiselle yhdisteelle, mutta kokonaispitoisuuksille ei ole annettu raja-arvoa /12/. HTP-arvoja ei kuitenkaan voida käyttää viitearvoina asuntojen sisäilman laadun määrittämisessä, sillä asuntojen sisäilmasta mitatut tavanomaiset pitoisuudet ovat moninkertoinen pienempiä. HTP-arvojen soveltamista asumisterveyteen on kokeiltu pienennyskertoimilla, mutta sen on todettu olevan epätarkkaa. HTP-arvot on ilmoitettu 8:n tunnin sekä 15 minuutin altistumisajanjaksoille erikseen. Työpaikoilla noin 10% pitoisuus HTP-arvoista johtaa pidemmässä oleskelussa altistumiseen. /49/

2.2 Rakennuslait, -ohjeet ja -velvoitteet

Suomen rakentamismääräyskokoelman osa D2 Rakennusten sisäilmasto ja ilmanvaihto (2012) antaa rakennusten suunnittelulle ja ilmanlaadulle seuraavanlaisen määräyksen:

”Rakennus on suunniteltava ja rakennettava siten, että sisäilmassa ei esiinny terveydelle haitallisessa määrin kaasuja, hiukkasia tai mikrobeja eikä viihtyisyyttä alentavia hajuja”.

Rakennuksen tulee säilyttää terveellinen, turvallinen ja viihtyisä sisäilmasto kaikissa tavanomaisissa sääoloissa sekä rakennuksen oleskeluvyöhykkeellä. Sisäilmaston tavoitearvojen saavuttamiseksi tulee rakentamisessa sekä suunnittelussa ottaa yleensä huomioon rakennuksen:

”1) sisäiset kuormitustekijät, kuten lämpö- ja kosteuskuormitus, henkilökuormat, prosessit sekä rakennus- ja sisustusmateriaalien päästöt; 2) ulkoiset kuormitustekijät kuten sää- ja ääniolosuhteet, ulkoilman laatu ja muut ympäristötekijät; sekä 3) sijainti ja rakennuspaikka”. /23/

Työturvallisuuslain 37§ määrittelee työpaikalla esiintyvien epäpuhtauksien, kuten esimerkiksi kaasujen rajoittamista. Niiden leviäminen on estettävä eristämällä epäpuhtauksien lähde tai sijoittamalla se suljettuun tilaan tai laitteeseen.

Epäpuhtaudet on koottava ja poistettava riittävässä määrin tarkoituksenmukaisella ilmanvaihdolla. /22/

Maankäyttö- ja rakennusasetuksen 50§ kohta 3 antaa rakennuksen sisäilmastolle seuraavanlaisia teknisiä vaatimuksia:

”Rakennuksesta ei saa aiheutua hygienian tai terveyden vaarantumista syistä, jotka liittyvät erityisesti myrkyllisiä kaasuja sisältäviin päästöihin, ilmassa oleviin hiukkasiin tai kaasuihin, vaaralliseen säteilyyn, veden tai maapohjan saastumiseen tai myrkyttämiseen, savun taikka kiinteän tai nestemäisen jätteen puutteelliseen käsittelyyn taikka rakennuksen osien tai sisäpintojen kosteuteen.” /21/

2.3 Sisäilmastoluokitus

Sisäilmastoluokitus 2008 antaa ohjeistuksia sisäilman laadun kannalta tärkeille tekijöille sekä tapoja miten jo rakennusvaiheessa voidaan vaikuttaa hyvään sisäilman laatuun. Luokitus on tarkoitettu uudisrakentamiseen sekä soveltaen korjausrakentamiseen. Sisäilmastoluokitus jakaa sisäilmastot kolmeen eri laatuluokkaan, jotka kerrotaan seuraavissa kappaleissa. Lisäksi taulukossa 2 esitetään laatuluokille ominaiset ulkoilmavirtojen mitoitusarvot.

S1-luokka on yksilöllinen sisäilmasto, jossa ilman laatu on erittäin hyvä, eikä havaittavia hajuja esiinny. Tilat ja rakenteet ovat kunnossa, eikä niissä esiinny vaurioita, tai epäpuhtauslähteitä, jotka heikentävät ilman laatua. Lämpötilaolot ovat viihtyisät ja käyttäjä pystyy niitä hallitsemaan. Ääni- ja valaistusolosuhteet ovat käyttötarkoituksen mukaisesti hyvät.

S2-luokka on hyvä sisäilmasto, jossa sisäilman laatu on hyvä, eikä tiloissa esiinny häiritseviä hajuja. Tilat ja rakenteet ovat hyvässä kunnossa, eikä niissä esiinny vaurioita, tai epäpuhtauslähteitä. Lämpöolot tiloissa ovat hyvät ja ääni-, sekä valaistusolosuhteet käyttötarkoituksen mukaiset.

S3-luokka on tyydyttävä sisäilmasto, jossa sisäilman laatu, lämpöolot, sekä valaistus- ja ääniolosuhteet täyttävät rakentamismääräyksen vähimmäisvaatimukset. /36/

TAULUKKO 2 Sisäilmastoluokkien ulkoilmavirtojen mitoitusarvot. /36/

Tila	Lattia-ala m ² /hlö	S1-luokka		S2-luokka	
		dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö	dm ³ /s per henkilö	dm ³ /s per neliö
Toimitila, normaali tilatehokkuus	12	16	1,5	13	1,5
Toimitila, suuri tilatehokkuus	8	14	2,0	11	1,5
Neuvotteluhuone	3	12	4,0	9	4,0
Taukotila, kahvio	1,5	11	7,0	8	5,0
Hotellihuone	10	15	1,5	12	1,0
Luokahuone	2	11	5,5	8	4,0
Luentosali	1	11	10,5	8	7,5
Käytävä, aula koulussa	2	11	5,5	8	4,0
Aula	6	13	2,0	10	2,0
Päiväkoti	3	12	4,0	9	2,5

Rakennusmateriaalien päästoluokitus jakaa rakennusmateriaalit ja huonekaluissa käytetyt levyt kolmeen ryhmään. Jaottelun määritelmänä on materiaaleista huoneilmaan kulkeutuvien kemiallisten päästöjen suuruus. Luokituksessa paras materiaalipäästoluokka on M1, johon päästäkseen materiaali täytyy olla testattu puolueettomassa laboratorioissa ja neljän viikon iässä läpäistävä vakioituissa testiolosuhteissa suoritettujen M1-luokan päästövaatimukset. Taulukossa 3 on nähtävillä M1 ja M2 päästoluokitusten raja-arvot materiaalien ollessa neljän viikon ikäisiä. Viimeiseen luokkaan M3 sijoittuvat materiaalit, jotka eivät toteuta luokan M2 ehtoja. Sisäilmastoluokitus 2008:n mukaan tiili, luonnonkivi, keraaminen laatta, lasi, metalli sekä käsittelemätön puu ovat pinnoittamattomina rinnastettavissa M1-luokan tuotteisiin. Puun VOC-päästöt voivat kuitenkin tuoreena ylittää M1-luokan raja-arvot. /35/

TAULUKKO 3. Materiaalipäästöluokituksen raja-arvot luokittain. /35/

Tutkittavat ominaisuudet	M1 [mg/m²h]	M2 [mg/m²h]
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden (TVOC) kokonaisemissio	<0,2	<0,4
Formaldehydin (HCOH) emissio	<0,05	<0,125
Ammoniakin (NH ₃) emissio	<0,03	<0,06
IARC:n luokittelun mukaisten luokkaan 1 kuuluvien karsinogeenisten aineiden emissio ^{1*}	<0,005	<0,005
Haju	Ei haise	Ei haise merkittävästi

2.4 Tutkimustuloksia

Ositum Oy on ottanut kantaa tilastovertailuun perustuvassa raportointimallissaan sisäilman ja rakenneauriotutkimuksen epämääräiseen määrittelyyn. Ositumin mukaan Asumisterveysoppaan 600 µg/m³ viitearvo TVOC-lukemalle on liian korkea. Lisäksi kokonaispitoisuuden viitearvon tulee olla vuodenaikasta riippuva, koska kesäaikaan mikrobitoiminta on aktiivisempaa kuin talviaikaan. Taulukossa 4 on nähtävillä kesä- (1.5.-30.11.) ja talviaikaan (1.12.-30.4.) jaetuista näytteistä saadut tulokset. Mediaani kertoo tavanomaiset pitoisuudet, P90 poikkeukselliseksi katsotut pitoisuudet ja kpl lukumäärän tehdyille havainnoille. Poikkeuksellinen TVOC-lukema kesäaikaan on 506 µg/m³ ja talviaikaan 460 µg/m³. Ositum kuitenkin painottaa, että mittaustuloksia tulisi käyttää rakennusalan ammattilaisten tekemässä analyysiraportissa suuntaa-antavana pohjana, eikä suinkaan suorana ongelmien ilmentäjänä. /47/

TAULUKKO 4. Ositumin tutkimuksissa saatujen VOC-yhdisteiden pitoisuuksia talvi ja kesäaikaan. Pitoisuudet ilmoitettu toluenikvivalenttina yksikössä $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

/47/

Yhdiste	Kesäaika			Talviaika		
	Mediaani	P90	kpl	Mediaani	P90	kpl
2-etyyliheksanoli	2	9	1472	1	8	2109
Alfa-pineeni	3	37	2520	3	24	3640
Etanoli	4	38	2438	5	37	3823
Etikkahappo	8	42	694	5	20	2965
Styreeni	1	4	153	1	4	1118
TXIB	4	27	153	4	16	297
TVOC	108	506	2900	98	460	4200

Työterveyslaitoksen mukaan VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuus (TVOC) on alhaisella tasolla, kun se on alle tai yhtäsuuri kuin $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Tässä tapauksessa tilannetta pidetään ongelmattomana ja sisäilmast selvitykset voidaan keskittää muihin tekijöihin. TVOC-lukema ei kuitenkaan kerro suoraan sisäilman laadun tilaa, ja tärkeää onkin keskittyä myös yksittäisten yhdisteiden pitoisuuksien ja niiden päästölähteiden selvittämiseen. Tilanteessa, jossa yhdisteiden kokonaispitoisuus on pieni, mutta yksittäisen yhdisteen pitoisuus lähentelee $20\text{-}30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ on syytä alkaa toimenpiteisiin päästölähteiden selvittämiseksi. /11/

Kostiainen ym. tekemän tutkimuksen mukaan mediaani asuntojen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksille on $123 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (vaihteluväli $40\text{-}235 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Yksittäisten yhdisteiden pitoisuudet vaihtelivat suuresti eri asuntojen ja huoneiden välillä. Yksittäisten yhdisteiden vaihteluun vaikuttivat eri päästölähteet. Tutkimuksen mukaan VOC-yhdisteiden kokonaispitoisuuksia voidaan pitää poikkeuksellisen korkeina, jos pitoisuudet ovat 10-50 kertaa mediaania korkeampia. Tuloksia analysoidessa tulee ne tulkita yhdistekohtaisesti ja kokonaispitoisesti. /33, 133/

3 HAIHTUVAT ORGAANISET YHDISTEET (VOC)

Sisäilmassa esiintyy erilaisia kemiallisia epäpuhtauksia. Ne voivat kohonneina pitoisuuksina aiheuttaa terveyshaittoja. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet (volatile organic compounds, VOC) ovat eräitä sisäilman terveyshaittoja aiheuttavista yhdisteistä. VOC-yhdisteiden höyrynpaine on niin korkea, että ne esiintyvät huonelämpötilassa kaasumaisina yhdisteinä. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudesta käytetään termiä TVOC (total volatile organic compounds). /44/

VOC-yhdisteiden ryhmä koostuu muunmuassa seuraavista yhdisteryhmistä: aromaattiset, alifaattiset ja sykliiset, halogenoidut, terpeenit, alkoholit, esterit, hapot, polyaromaattiset hiilivedyt, aldehydit, sekä muut yhdisteet jotka eivät näihin ryhmiin sisälly. /33, 132/

3.1 Haihtuvien yhdisteiden määrittely

Kemiallisia sisäilmassa esiintyviä aineita on satoja. Riippuen yhdisteen haihtuvuudesta ne esiintyvät sisäilmastossa kaasumaisessa, höyrymäisessä ja hiukkasmaisessa muodossa sekä sitoutuneina hiukkas- tai pölykertymiin. World Health Organisation (WHO) jaottelee orgaaniset yhdisteet niiden kiehumispisteiden mukaisesti. Taulukossa 5 on esitetty orgaanisten yhdisteiden jaottelu kiehumispisteiden mukaisesti. Taulukosta näkee, että VOC-yhdisteiden rajaus on väliltä 50-100...240-260 C°. /16/

Kiehumispiste vaikuttaa yhdisteen haihtuvuuteen. Mitä alhaisemman kiehumispisteen yhdiste omaa, sitä haihtuvampi yhdiste on. Alhaisen kiehumispisteen omaava yhdiste myös kaasuuntuu lähdemateriaalista nopeammin pois /44, 137/. VVOC-yhdisteet, eli erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet, omaavat hyvin matalan kiehumispisteen.

TAULUKKO 5. Orgaanisten yhdisteiden ryhmät kiehumispisteen mukaan /52/

Ryhmän englannin-kielinen lyhenne	Ryhmä	Kiehumispiste, °C
VVOC	erittäin haihtuvat yhdisteet	>0...50-100
VOC	haihtuvat yhdisteet	50-100...240-260
SVOC	puolihaihtuvat yhdisteet	240-260...380-400
POM	hiukkasiin sitoutuneet yhdisteet	>380

Puolihaihtuvien yhdisteiden (SVOC) oletetaan heikomman haihtuvuuden seurauksena tarttuvan ja sitoutuvan pölyhiukkasten pinnoille. Tästä syystä ne eivät esiinny suurina pitoisuuksina ilmassa. Huonepöly saattaa sisältää huomattavia määriä SVOC-yhdisteitä. Puolihaihtuviin yhdisteisiin kuuluu muunmuassa joukko muovien pehmittimiä (mm. ftalaatit), torjunta-aineita, palonestoaineita sekä palamisessa syntyviä aineita, kuten polyaromaattiset hiilivetyjä (PAH-yhdisteet). /37, 156-163/

TVOC-käsitteellä ilmoitetaan haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus. Euroopan ympäristötutkimuslaitos antaa TVOC-lukemalle tarkennuksia. Yhdisteet, jotka sisältyvät TVOC-lukemaan, tulee olla selvästi määriteltä. TVOC:n täytyy ilmentää näytteen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuksien tilaa niin totuudenmukaisesti kuin mahdollista. Suurin osa yhdisteistä on pystyttävä tunnistamaan ja määrittämään käyttämällä niille ominaisia korjauskertoimia. TVOC-lukema tulisi määrittää niin, että se on mahdollisimman käyttökelpoinen sisäilman laadun tutkimisessa. VOC-pitoisuuksien mittaamistapa tulee selvittää TVOC-lukeman ilmoittamisessa. Esimerkiksi fotoionisaatiodetektorilla mitattaessa tulos esitetään TVOC_{PID}-merkinnällä. /9/

3.2 Epäpuhtauksien lähteet ja esiintyminen

Sisäilmasta mitatut sadat eri yhdisteet ovat peräisin eri epäpuhtauslähteistä. Yhdisteet voivat esiintyä sisäilmastossa jatkuvatilaisena tai ajoittaisesti.

Tärkeimmät lähteet jatkuvatilaiselle päästöjen synnylle ovat rakennusmateriaalit, huonekalut ja sisustustavarat. Ajoittaiseen esiintyvyyteen vaikuttavat ihmisen toiminnasta kuten ruoanlaitosta, pesuaineista, hajusteista, kotieläimistä ja tupakoinnista syntyvät päästöt /16/. Synteettisesti valmistetut rakennusmateriaalit muodostavat suurimman rakennusten sisäilmaan vaikuttavan päästölähteen. Laajan pinta-alan muodostavat lattiapäällysteet ovat erityisesti olleet huomion kohteena mahdollisten päästöjen lähteille. /37, 156-163/

Ulkoilmasta sisätilaan kulkeutuvat päästöt huonontavat myös sisäilman laatua, mutta VOC-päästöihin ulkoilman saasteet eivät merkittävästi vaikuta /16/. Mikrobin aineenvaihduntatuotteina syntyy myös VOC-päästöjä, joita nimitetään MVOC-yhdisteiksi (mikrobi-VOC). Lähteitä MVOC-päästöille voivat olla kostuneet rakennusmateriaalit, mutta myös esimerkiksi elintarvikkeet ja pesuaineet. /40/

Taulukossa 6 on työterveyslaitoksen esittämiä materiaaleja ja niille ominaisia yhdisteitä. Täydellistä materiaalipäästölistaa on mahdotonta tehdä, sillä materiaali voi käyttäytyä eritavalla rakenteessa kuin laboratorio-olosuhteissa. Esimerkiksi kosteudelle altistuminen muuttaa materiaalin emissioita. Lisäksi materiaalien valmistuksen yhteydessä voi tapahtua joitain laadullisia vaihteluita, joista seuraa poikkeamia materiaalien emissioihin.

TAULUKKO 6. Materiaaliemissioissa syntyviä yhdisteitä ja mahdollisia päästölähteitä. /53/

Materiaali	Mahdollinen päästölähde	Yhdisteet
kipsilevy	kipsilevyn kartongin liima	2-fenoksisetanoli, bentsaldehydi, aromaattiset hiilivedyt
vaahdotettu polystyreenieriste		1-butanoli, heksaani, styreeni
parketti	puun uuteaineet, lakan monomeerit, liuotteet, liimat	bentsaldehydi, terpeenit, ksyleenit, D ja E-pineenit, MVOC-yhdisteet, heksanaali, tolueni
mäntylauta	puun uuteaineet	D ja E-pineenit, MVOC-yhdisteet, pentanaali, heksanaali, kamfeeni, 3-kareeni
linoleumimatto	pellavaöljyn sisältämät rasvahapot ja epäpuhtaudet	rasvahappoja, toluenia, 3-metyylipentaania
PVC-materiaalit	maton liima, pehmitteet apuaineet apuaineiden liuotteet	TXIB (2,2,4-trimetyyli-1,3-pentaanidiolimonoisobutyraatti), 2-etyyli-1-heksanoli, aromaattiset ja alifaattiset hiilivedyt, ftalaatit, 1-okteeni, 1-butanoli, 2-fenoksisetanoli, sykloheksanoni
korkkilaatat	puun uuteaineet, hartsihapot ja niiden johdannaiset	1,2-propaanidioli, 4-metyylidioksalaani, 2,2,4,6-pentametyyliheptaani
kumimatot	lisä- ja apuaineet	styreeni, isododekeeni
kokolattiamatot	tekstiilin käsittelyaineet, maton pohjamateriaalin sisältämät liuotteet	4-fenyylisykloheksaani
rakennusliimat		1-butanoli, 2-fenoksisetanoli
vuorivilla	sidos- tai lisäaineet	1-butanoli, aromaattiset hiilivedyt, aldehydit ja ketonit
vahat		kamfeeni, 3-kareeni, dodekaani, heksanaali, limoneeni, Emyrseeni, pentanaali, D-pineeni, E-pineeni, undekaani

Tiettyjen yhdisteiden kohonneita pitoisuuksia pidetään indikaattoreina vaurioituneille rakennusmateriaaleille. Esimerkkinä 2-etyyli-1-heksanoli, jota voi vapautua sisäilmaan esimerkiksi PVC-muovimattojen pehmitinaineiden dietyyliheksaftalaatin (DEPH) ja liimojen akrylaattikopolymeerien hajoamistuotteena. Hajoamisen saa aikaan rakenteiden ja materiaalien kosteusvauriot. 2-Etyyli-1-heksanolia tiedetään kuitenkin vapautuvan pieninä määrinä sisäilmaan myös vaurioitumattomista PVC-matoista /41/. Hetkellinen korkea kosteus ei yleensä kuitenkaan vielä käynnistä hajoamista. /25/

Rakennusmateriaaleille tapahtuvia kemiallisten ja fysikaalisten tekijöiden aiheuttamia muutoksia kutsutaan *sekundaariemissioiksi*, joissa materiaalivaurioiden ja materiaalin hajoamisen seurauksena syntyy hajoamistuotteina päästöjä. Syitä materiaalien vaurioitumiseen ovat esimerkiksi kosteus, lämpötila, otsoni, kulutus, UV-valo, huoltotoimet ja mikrobit. /37, 156-163/

Primaariemissioiksi kutsutaan uusien materiaalien ominaisemissioita. Ominaisemissiot ovat materiaaleilla suurimmillaan muutaman kuukauden ajalla. Materiaalien vanhetessa valmistuksessa käytetyt aineet haihtuvat pois ja primaariemissio tyypillisesti pienenee suhteellisen nopeasti materiaalin ikääntyessä. /17/

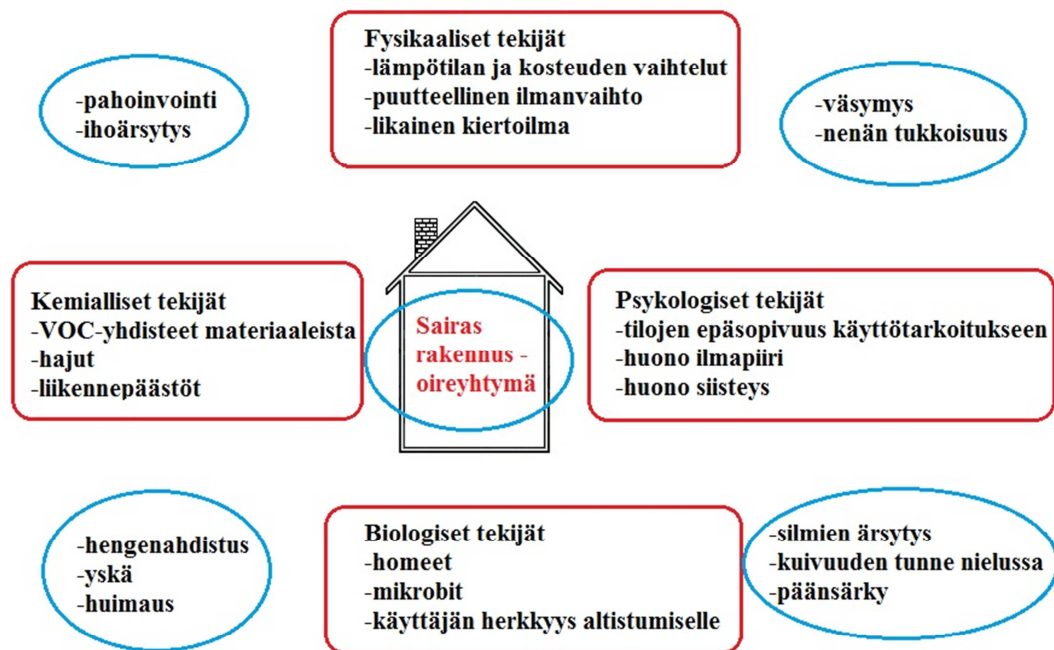
Sisäilman VOC-pitoisuuksia laskevia tekijöitä ovat muunmuassa koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto, joka takaa ilman tehokkaamman vaihtumisen ja mahdollisten VOC-yhdisteiden poistumisen sisäilmasta. Ilmanvaihdon tehostaminen uusien kalusteiden ja pintamateriaalien asennusten jälkeen nopeuttaa uusien materiaalien primaariemissioiden pienenemistä. Materiaalivalinnat ennen uusien kalusteiden ja pintamateriaalien asennuksia vaikuttavat ennakkoon vähentävästi sisäilmaan pääseviin päästöihin. Huoneen lämpötilan ollessa matala yhdisteitä kaasuuntuu hitaammin huoneilmaan. Ilmankosteuden ollessa pienempi kuin 40% minimoidaan kosteuden aiheuttamat sekundaariemissiot materiaaleissa. /40/

3.3 Terveysvaikutukset

Hengitysilmanlaatu on olennainen tekijä ihmisen terveydessä. Vuorokauden aikana ihminen hengittää vähintään 15000 litraa ilmaa, josta noin 90% on sisäilmaa. Altistuminen sisäilman mahdollisille epäpuhtauksille on siis jatkuvaa. /38/

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden vaikutuksia terveyteen on tutkittu altistuskokeilla, joissa on todettu ettei oireita esiinny TVOC-pitoisuuden ollessa alle $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ärsytysoireiden herkkyys voi kuitenkin olla yksilökohtaista ja toinen voi reagoida herkemmin kuin toinen. Pitoisuuksien noustessa $200\text{-}3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alkaa esiintyä silmien ärsytystä, nenän tukkoisuutta, hengitystieärsytystä ja hajuhaittoja. Korkeiden VOC-pitoisuuksien aiheuttamia oireiluja on verrattu sairas rakennus-oireyhtymän oireiluihin ja onkin epäilty VOC-yhdisteiden olevan yksi osasy kyseiseen oireyhtymään (kuvio 1). Vielä suuremmat pitoisuudet voimistavat pahoinvointia ja pitoisuuksien ylittäessä $25000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alkaa ilmentymään myrkytysoireita. Lisäksi useat VOC-yhdisteet ovat, tai epäillään olevan karsino-, tai mutageenisia. Näitä yhdisteitä ovat muunmuassa bentseeni, styreeni, 1,1,1-trikloorietaani, trikloorietyleeni, diklooribentseenit, metyleenikloridi ja kloroformi. Karsinogeeniset yhdisteet vaikuttavat ihmiseen solutasolla ja saattavat aiheuttaa syöpää. /33/

Suomessa ei kuitenkaan vielä ole annettu tiukkaa raja-arvoa sisäilman kokonaispitoisuuksille. Osalle yksittäisiä yhdisteitä raja-arvot löytyvät, mutta niistäkin on vielä epäselvyyksiä. Yksittäinen yhdiste ei välttämättä itsessään vielä aiheuta oireiluja vaan etenkin useamman yhdisteen yhteisvaikutuksen on todettu aiheuttavan ongelmia. /50/



KUVIO 1. Sairas rakennus- oireyhtymään vaikuttavia tunnettuja tekijöitä. /33/

3.4 Mittausmenetelmät ja -olosuhteet

Sisäilman kemiallisten epäpuhtauksien mittauksia suoritetaan niiden aiheuttamien terveys- ja hajuhaittojen, sairauksien, tai oireilujen syiden selvittämiseksi. Mittaamisen pohjatyöksi tulisi selvittää sisäilmassa mahdollisesti esiintyvät yhdisteet, esimerkiksi materiaaliselvitysten ja hajuhavaintojen avulla, sekä tutkia tilojen ulkoiset ja sisäiset olosuhteet. Olosuhteiden selvittämiseen kuuluvat muunmuassa ilmanvaihdon tehokkuuden selvitys sekä tiloissa käytettyjen siivous- ja puhdistus kemikaalien määrittäminen. Näytteenoton aikana olosuhteiden tiloissa tulisi olla tavanomaiset. Tilojen lämmitys ja ilmanvaihto tulisi olla normaalissa toiminnassa sekä ikkunatuuletusta tulisi välttää vähintään 4-6 tuntia ennen mittaustapahtumaa, tai mittatilanteen aikana. Mikäli epäpuhtauksien epäillä kulkeutuvan ulkoa sisälle, tulee ulkoilmasta ottaa myös ilmanäyte. Mittaustilanteen aikaiset olosuhteet kuten ilmanvaihdon tehokkuus, sää, huoneilman lämpötila ja kosteus, mittalaitteiden kalibrointitiedot, kuvaus

huoneistossa käytetyistä materiaaleista, pesu- ja puhdistusaineista, hajuhavainnot sekä mittauksiin mahdollisesti vaikuttavat virhetekijät ja epäpuhtauslähteet kirjataan erilliseen mittauspöytäkirjaan. Mittapisteiden sijainti on tärkeä merkitä esimerkiksi tilojen pohjapiirroksen. /44/

VOC-yhdisteiden havainnointi ja analysointi suoritetaan joko suoraan luettavilla laitteilla tai erotusmenetelmiin pohjautuvilla menetelmillä. Suoraan luettavina kenttämittareina VOC-yhdisteiden pitoisuuksien määrittämiseksi käytetään erilaisia laitteita. Liekki-ionisaatiodektori (FID) on yleisin kenttämittari VOC-yhdisteiden pitoisuuksien mittaamisessa. FID-mittari on hyvin vakaa laite, joka tunnistaa suuren määrän eri VOC-yhdisteitä. Liekki-ionisaatiodektori on näyteyhdisteen tuhoava, sillä se polttaa ne mittauksen aikana. Fotoakustinen sensori (PAS) on vähemmän käytetty kenttämittari. Fotoionisaatiodektori (PID) on yksi kenttämittareista ja sen toiminta sekä käyttö tullaan opinnäytetyössä esittelemään tarkemmin. Suoraan luettavien mittareiden etuna on niiden helppokäyttöisyys ja pitoisuuksien nopeiden vaihteluiden havainnointi. Ne kuitenkin ragoivat VOC-yhdisteiden ohella muihinkin yhdisteisiin, erityisesti VVOC-yhdisteihin. /9/

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden määrittämiseksi erotusmenetelmällä, sisäilmasta kerätään ilmanäyte joko lyhyt- tai pitkäaikaismenetelmällä. Lyhytaikaismenetelmässä näyte kerätään yleensä Tenaxhartsilla täytettyyn putkeen pumpun avulla. Keräysaika vaihtelee pitoisuuksista riippuen 5 minuutista useampaan tuntiin. Pitkäaikaismenetelmässä käytetään passiivikeräimiä, jotka ovat aktiivihiilinaappeja ja ne sijoitetaan tutkimuskohteeseen esimerkiksi viikon ajaksi. /33/

Lisäksi päästölähteiden paikantamisessa käytetään FLEC-mittausmenetelmää, kupu- ja viiltomittausta sekä materiaalinäytekokeita. Näistä FLEC-menetelmä on ainoa standardisoitu (ISO 16000-10) /49/. Näytteiden analysointi tehdään termodesorptio-kaasukromatografi-massaspektrometrillä. /33/

4 FOTOIONISAATIODETEKTORI

Tässä luvussa käsitellään fotoionisaatiodetektorin toiminnan kannalta tärkeitä teknisiä ominaisuuksia, toimintaperiaatetta sekä tulosten tulkintaan liittyviä ohjeistuksia. Lisäksi läpi käydään käyttösovelluksia, joissa laitetta hyödynnetään kotimaassa ja ulkomailla. Opinnäytetyössä käytettiin RaeSystemsin ppbRAE fotoionisaatiodetektoria.

4.1 Laitteen perustoiminta

Fotoionisaatiodetektori mittaa VOC-yhdisteitä ja muita haitallisia kaasuja aina pienistä pitoisuuksista (ppb) suuriin pitoisuuksiin (ppm). PID-mittari on hyvin herkkä ja tarkka ongelmien etsintäväline, joka ilmoittaa näytteestä kaasujen kokonaispitoisuuden. Laite ei erottele mittaustuloksessa yksittäisiä yhdisteitä, tai niiden pitoisuuksia, vaan kertoo että näytteessä on joitain yhdisteitä tietyllä kokonaispitoisuudella. /1; 2/

Laitteen käyttämä mittayksikkö ppb (parts-per-billion) vastaa yhtä yksikköä miljardissa, kun taas ppm (parts-per-million) on yksi yksikkö miljoonassa. Lukema ppm vastaa yksikköä mg/L, eli milligramma yhdistettä tilavuusyksikköä vettä kohden /48/. Tulokset on mahdollista ilmoittaa myös muodossa mg/m³, jolloin lukema kertoo kuinka monta milligrammaa yhdistettä on tilavuusyksikössä ilmaa. Yksikkömuunnos ppm:n ja mg/m³:n välillä tapahtuu kaavalla 1, jossa moolitilavuus, 25°C:n lämpötilassa on 24,4 L/mol.

$$\text{Pitoisuus}(\text{mg}/\text{m}^3) = \frac{[\text{pitoisuus}(\text{ppmv}) * \text{moolimassa}(\text{g}/\text{mol})]}{\text{moolitilavuus}(\text{L}/\text{mol})} \quad (1)$$

/6/

Fotoionisaatiodetektorin toiminnan kannalta tärkein osa on UV-valolähteenä toimiva, fotoneja tuottava ultraviolettilamppu (UV). Fotonien energiamäärä ilmoitetaan elektronivolteina (eV). Mitattava näytekaasu keräytyy laitteeseen sisäänrakennetun pumpun avulla. Ennen mittatapahtumaa laite kalibroidaan

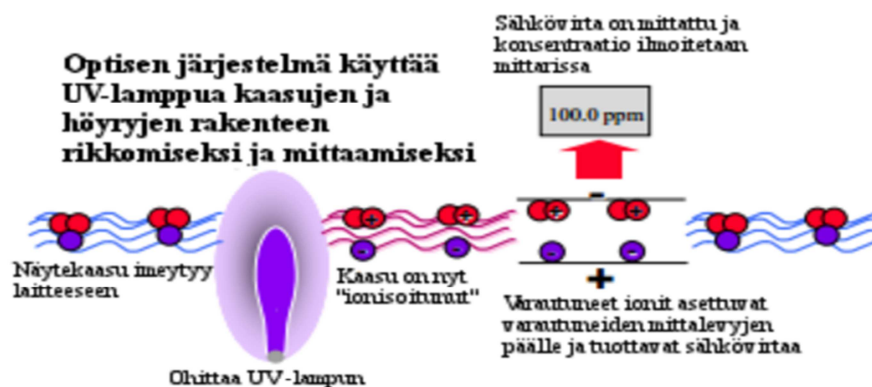
nollatasoon ja tunnetun kaasun tasoon. Nollataso määritetään laitteelle aktiivihiihluodattimen läpi raikkaassa ulkoilmassa. Tunnetun tason määrittämiseksi käytetään kalibrointikaasuna yleensä isobutyleeniä, jonka mittalukema on 10000ppb:tä. /1/. Kuvassa 1 on esitettyä kalibroinnin välineet.



KUVA 1. Kuvassa vasemmalla nollatason määrittämisen tarvittavat välineet ja oikealla tunnetun tason määrittämiseen tarvittavat välineet. Kuva: Henri Wennström.

Ionisaatio tapahtuu, kun kaasumolekyylit absorboivat korkeaaenergistä UV-valoa, joka virittää molekyylit ja aiheuttaa hetkellisesti negatiivisesti varautuneen elektronien menetyksen. Seurauksena menetyksestä syntyy positiivisesti varautunut ioni, eli kationi. Yhdiste tulee sähköisesti varautuneeksi ja ionit tuottavat sähkövirtaa, joka

toimii laitteen mittalähteenä. Mitä suurempi yhdisteen pitoisuus on, sitä enemmän syntyy ioneja ja sähkövirtaa. Ionisaation jälkeen ionit yhdistyvät takaisin muodostaakseen alkuperäisen molekyylin. Fotoionisaatiodektori ei siis tuhoa tai pysyvästi muuta yhdisteitä, mikä edesauttaa esimerkiksi mahdollisia ilmanäytekeraäyksiä PID-mittausten jälkeen. Kuvassa 2 on esitetty näytekaasun matka laitteessa. /6/

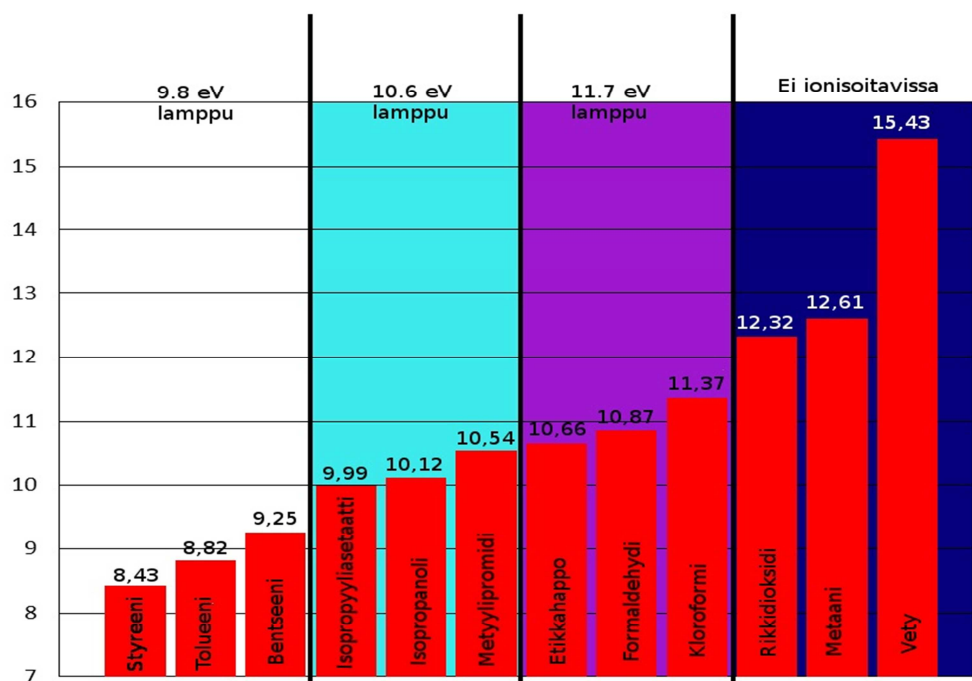


KUVA 2 Näytekaasun matka laitteessa. /1/ (muokattu)

Kaikki olemassa olevat yhdisteet pystytään ionisoimaan, mutta niiden ionisoitumisenergiamäärien välillä on eroja. Yhdisteen ionisointiin tarvittavaa energiamäärää kutsutaan ionisaatioenergiaksi (IE) ja sen mittausyksikkönä käytetään elektronivolttia (eV), samalla tavoin kuin UV-lampun energiamäärän ilmoittamisessakin. Yhdisteiden ionisaatioenergiaskaala on yleensä väliltä 7-16eV. UV-valolähteen energiamäärä täytyy olla suurempi, kuin mitattavan yhdisteen ionisaatioenergia, jotta yhdiste pystytään laitteella mittaamaan. /28/

PID-mittariin on saatavilla kolme eri lamppuvahvuutta 9.8eV, 10.6eV ja 11.7eV. Yhdisteet joiden ionisaatio-energia on lähellä lukemaa 7eV on helppo mitata, kun taas yhdisteiden joiden ionisaatio-energia on yli 11.7eV mittaaminen on käytännössä mahdotonta. /1/

Kuviossa 2, on esitetty esimerkkikaasujen avulla eri lamppuvahvuuksien havainnointialueet. Kuvion pystysuorat viivat kuvaavat kyseisen lampun havainnointirajaa. Yhdisteet, jotka ylittävät rajan jäävät kyseisellä lampulla ionisoimatta ja täten huomioimatta mittaustuloksessa. Oikeanpuoleisin sarake, taustaväritään tummansininen, jää kokonaan laitteen havainnointikyvyn ulkopuolelle. Näiden yhdisteiden ionisaatioenergia ylittää laitteen vahvimman lampun energiamäärän.



KUVIO 2. Fotoionisaatiodetektorin havainnointialueet eri lamppuvahvuuden mukaan. /1/ (muokattu)

10.6eV lamppu on yleisesti käytetty peruslamppu laitteeseen. 11.7eV lampun havainnointialue on lampuista laajin, mutta sen ionisoimisvoimakkuus on heikompi kuin peruslampulla. Tästä syystä ionisoitumismäärä jää pienemmäksi. Lisäksi 11.7eV lamppu on kallus ja kestävyydeltään huomattavasti lyhytikäisempi.

/1/

4.2 Mittatulosten korjauskerronta

Laitteen mittaherkkydessä yhdisteiden välillä on eroja ja sen reagointi tiettyihin aineisiin voi olla moninkertainen verrattuna toisiin. Tästä johtuen PID-mittarin ilmoittama kokonaispitoisuuslukema on vain suuntaa-antava todellisesta pitoisuudesta. Isobutyleenillä kalibroidun laitteen tulosvääristymää vastaan on yksittäisille yhdisteille annettu korjauskerroin (CF), jonka avulla pystytään korjaamaan mittaherkkyden seurauksena vääristynyttä tulosta todenmukaisemmaksi. Tulosten korjaamiseksi tulee kuitenkin tietää mitä yhdisteitä mittanäytteessä esiintyy. Mitä pienempi on korjauskertoimen lukema, sitä herkemmin laite reagoi kyseiseen yhdisteeseen. Esimerkiksi toluenin korjauskerroin on 0.5, joten PID reagoi siihen hyvin herkästi. Mittarin ilmoittama 20ppb:n lukema toluenille vastaa todellisuudessa (20ppb*0.5) 10ppb:n pitoisuutta. Vastaavasti ammoniakkin korjauskerroin on 9.7, jolloin PID reagoi tolueniin (9.7/0.5) 19.4 kertaa herkemmin kuin ammoniakkiiin. Korjauskertoimien yhdistäminen onnistuu, kun tiedetään mitä kaasuja näytteessä esiintyy ja niiden pitoisuuksien suhteet. /1/

$$CF_{\text{mix}}=1/(X_1/CF_1+X_2/CF_2\dots X_i/CF_i) \quad (2)$$

Kaavalla 2 pystytään laskemaan tunnetun yhdistejoukon korjauskerroin tuloksen korjaamiseksi. Kaavassa X on yhdisteen suhde koko näytteestä ja CF, kyseisen näytteen korjauskerroin.

4.3 Laitteen havainnointi

Rae Systems:n ppbRae-mittarin mittaustarkkuus on 10.6eV:n lampulla ja isobutyleenillä kalibroituina ± 20 ppb, tai 10% mittalukemasta. /32/

Erityisen herkästi fotoionisaatiodektori reagoi 10.6eV:n lampulla esimerkiksi tärpättiin, tolueniin, styreeniin, pineeneihin, kopiokoneen väriaineisiin, nikkelikarbonsyliiniin, vinyylbromidiin, naftaleeniin, limoneeniin, jodiin, m-kreosoliin ja ksyleeneihin. Näiden yhdisteaineiden korjauskertoimet isobutyleenin vasteelle ovat vähemmän, tai yhtäsuuria kuin 0.5. /25/

PID-laitteen havainnoinnista tiedetään, että se ei pysty mittaamaan seuraavia:

- säteilyä
- ilmaa, eli typpioksidia (N_2), happimolekyylejä (O_2), hiilidioksidia (CO_2) ja divetymonoksidia (H_2O) eli vettä.
- yleisiä myrkkyjä, kuten hiilimonoksidia (CO), syanidia (HCN) tai rikkidioksidia (SO_2)
- luonnon kaasuja kuten metaania (CH_4) ja etaania (C_2H_6)
- happokaasuja kuten suolahappoa (HCl), vetyfluoridia (HF), tai typpihappoa (HNO_3)
- CFC-yhdisteitä, eli kloorista (Cl), fluorista (F) ja hiilestä (C) koostuvia freonit nimelläkin tunnettuja yhdisteitä. Esimerkkinä teflon, kylmäkoneissa käytetyt kaasut, sumutinpullojen ponnekaasut, ja vaahtomuovit.
- otsonia (O_3)
- vetyperoksidia (H_2O_2)
- polykloorattuja bifenyylejä ($C_{12}H_{10-x}Cl_x$)
- rasvoja /1/.

Lisäksi peruslamppua (10.6eV) käytettäessä havainnointialueen ulkopuolelle jää esimerkiksi etikkahappo, asetyleeni, kloori, kloroformi, formaldehydi, muurahaishappo, metanoli, nikotiini ja propaani /46/. Tilanteessa, jossa tiedostetaan näiden aineiden mahdollinen esiintyvyys tulee käyttää 11.7eV:n lamppua.

Euroopan ympäristötutkimuslaitoksen raportin 19 mukaan PID-laitteen TVOC-tulosten ja kaasukromatografian tulosten väliltä ei löydetty selviä yhtäläisyyksiä. Raportissa kuitenkin mainitaan, että tietoa eri menetelmien tulosten vertailusta on vähän. /9/

4.4 Käyttösovellukset

Ympäristöalalla PID-mittaria on käytetty jo vuosia pilaantuneiden maaperien ja vesistöjen tutkimiseen. Mittaria käytetään kenttämittauslaitteena havaitsemaan mahdollisia ongelmakohtia, mutta varsinaiset tulokset saadaan vasta laboratoriossa. Kenttämittarina fotoionisaatiidetektoria suositellaan pilaantuneisuustutkimuksissa erityisesti tilanteessa, jossa tiedetään saasteiden olevan öljyhiilivety peräisiä. Esimerkiksi vanhojen huolto- ja jakeluasemien, sekä teollisuus- ja sotilasalueiden ympäristöjen putsauksessa. Maanäyte voidaan ottaa kaasutiiviseen pussiin ja mitata pitoisuus näytteestä. Tällöin näytettä voidaan myös hieman liikutella näytepussissa. Lisäksi mittauksia voidaan tehdä suoraan maaperästä, tai esimerkiksi kuivatuskaivojen yläpuolelta ja kuivatuskaivojen ilmaa poistavan laitteiston poistoputkesta. Ongelmana PID-mittarin käytössä kuitenkin on, että se mittaa tulokset ilmasta, eikä suoraan materiaalista. Yksikköjen välillä tulee ongelmia kun raja-arvot ilmoitetaan mg/kg muodossa ja PID-mittarin tulokset yksikössä ppm, jolloin suora vertailu on vaikeaa. /27; 14; 7/

Fotoionisaatiidetektoreita käytetään sisäilman laadun määrittämisessä ja toimistoissa selvittämään yleistä sisäilman tilaa. Jatkuvatoimisessa mittaustilassa laite kertoo nopeasti jos toimiston ilmanlaadussa tapahtuu muutoksia. Poikkeuksellisen arvona voidaan pitää yli 500 ppb:n pitoisuuksia. Normaali sisäilman pitoisuus on 100-500 ppb:tä ja ulkoilman alle 100 ppb:tä /4/. Laitetta tiedetään käytettäneen myös sisäilmatutkimuksessa tilanteessa, jossa kiinteistön lämmitysöljysäiliö on vuotanut talon alle. /14/

Teollisuudessa PID-mittaria käytetään hajapäästöjen tutkimisessa ja mahdollisten öljy- ja kaasuvuotojen havainnoinnissa ja paikallistamisessa. Hajapäästöt teollisuudessa altistavat työntekijät sairauksille ja voivat lisätä palo- ja räjähdysvaaraa /1; 13/. Palo- ja räjähdysvaaraa mitattaessa käytetään LEL-lukemia (lower explosive limit) turvallisten pitoisuuksien määrittämiseksi /5/. Suljetuissa kohteissa (esimerkiksi säiliöt) laitetta tiedetään käytettäneen varmistamaan haitta-aineiden pitoisuustaso ja tätä kautta hapen riittävyys. /14/

Tuhopolttotutkimuksissa PID-mittaria käytetään hyödyksi tapahtumatilanteen selvittämiseksi. Tilanteessa jossa tulipalo on tahallisesti sytytetty esimerkiksi bensiinin tai kerosiinin avulla, jää sytytinaineista jäämiä rakenteisiin. Laitteella pystytään havaitsemaan ainejäämät heti tulipalon jälkeen. Erityisesti betonilattiat imevät ja säilyttävät jäänteitä sytytinnesteistä. Pitoisuuksien tasovaihteluilla saadaan selvitettyä tuhopolton lähtöpiste. /3/

PID-mittaria on käytetty vanhojen teollisuusrakennusten sekä muiden mineraaliöljyillä mahdollisesti saastuneiden rakennusten kuntotutkimuksessa. Porareikien kautta rakenteista mitattuna (kuva 3) määritetään niiden tilaa ja mahdollisia jatkotoimenpiteitä. Alle 150 ppm:n mittaustuloksen saaneet rakenteet ovat kunnossa eivätkä tarvitse jatkotoimenpiteitä. Yli 300 ppm:n ylittävät tulokset vaativat tarkempia laboratorio analyysyjä ja jatkotoimenpiteitä. Näiden kahden raja-arvon väliset tulokset vaativat täydennysmittauksia ja mahdollisia toimenpiteitä. /29/



KUVA 3. Betonirakenteisen lattiarakenteen mittaus porareian kautta PID-laitteella öljy-yhdisteiden määrittämiseksi. Kuva: Jukka Huttunen.

4.5 Mittaustuloksiin vaikuttavat tekijät

Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaaminen fotoionisaatiodektoirilla vaatii tarkkuutta ja on häiriöaltista. PID-laite on toimiva työkalu kaasujen kokonaispitoisuuksien määrittämisessä, mutta laitteen käyttäjän tulee tuntea sen toiminta oikein. Lisäksi laitteen mittaherkkydestä johtuvat vääristymät tuloksissa vaativat asiaan perehtyneen analysointia. Oikealla tavalla mitattuna ja häiriötekijät tiedostettuna, tai pois suljettuna, antaa laite käyttökelpoisia tuloksia. /1/

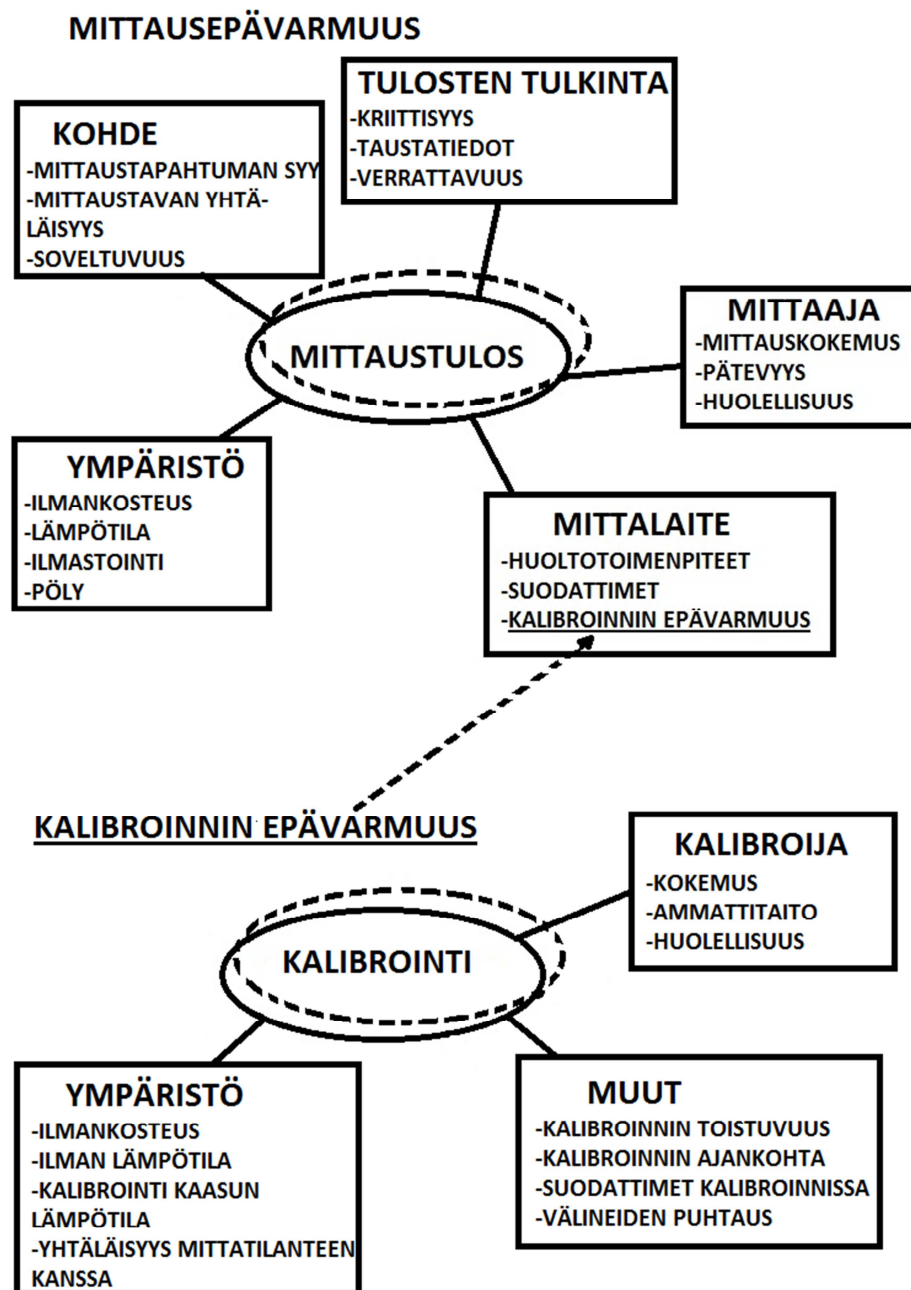
Vesihöyry aiheuttaa tuloksiin vääristymää mittauksissa, sillä se tiivistyy UV-lampun pinnalle ja heikentää havainnointikykyä. Laite ei koskaan saisi olla kylmempi kuin ympäröivä ilmatila sen ollessa käynnissä, sillä tämä edesauttaa ilmakehän kosteuden kondensoitumista lampun pinnalle. Kosteissa tai pölyisissä tilanteissa suositeltavaa olisi käyttää PID-mittarille tarkoitettuja suodattimia. Suurten hiilidioksidipitoisuuksien ja vähähappisen ympäristön tiedetään myös vääristävän tulosta /30/. Lisäksi voimakkaan ilmanvaihdon tai -kierron on huomattu vaikuttavan tuloksiin alentavasti.

Kalibrointi on mittauksen ensimmäinen vaihe ja myös mittavirheiden synnyn vaiheista ensimmäinen. Laitteen kalibrointi on tehtävä huolella ja toteuttaa aina ennen uuden mittaustapahtuman alkua. Käyttäjän mittauskokemuksen karttuessa mittaaja oppii huomaamaan laitteen toiminnassa tapahtuvia virheitä ja tulosvääristymiä. Erityisesti tilanteissa joissa laite näyttää aivan liian matalaa, tai korkeaa tulosta, on kalibrointi suoritettava uudestaan.

Materiaalinäytteiden ottoon tarkoitettujen näyteastioiden tulee olla materiaalilta sellaisia etteivät ne itsessään emissoi tai absorboi päästöjä näytteistä ja luovuta niitä seuraaviin näytteisiin. Tällaisia materiaaleja ovat laboratorioissa VOC-tutkimuksissa käytetyt ruostumaton teräs ja lasi /15/. Materiaalinäytteet voidaan kääriä myös folioon ja sulkea kaasutiiviseen muovipussiin analysointeja varten.

Kumi-, tai tygon-letkujen käyttöä mittaamisessa tulee välttää. Nämä letkut absorboivat nopeasti kemiallisia yhdisteitä ja aiheuttavat virheitä tulokseen. Mittaletkujen tulee aina olla teflonilla pinnoitettuja putkia, jotka eivät absorboi

näytekaasuja itseensä. Myös teräksiset ja lasiset putket ovat tarkoitukseen soveltuvia /1/. Kuvassa 4 on mittausepävarmuuteen ja kalibroinnin epävarmuuteen vaikuttavia tekijöitä.



KUVA 4. Mittausepävarmuuksiin vaikuttavia tekijöitä. /54/ (muokattu)

5 TUTKITUT MENETELMÄT

Tässä luvussa käsitellään opinnäytetyössä tutkittuja mittausmenetelmiä. Luvussa käydään myös läpi PID-mittarilla suoritettuja materiaalinäytekokeita, joiden tarkoituksena oli selvittää mihin materiaaliemissioihin laite reagoi ja kuinka herkästi.

5.1 Sisäilman pitoisuuksien mittaus ongelmalähteiden määrittämiseksi

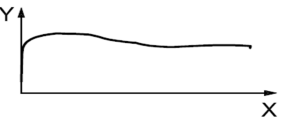
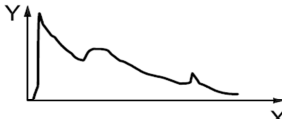
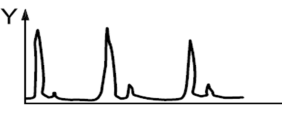
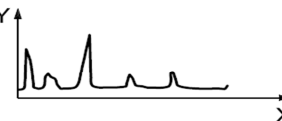
Sisäilman mittauksessa mitatetaan ilmatilassa vallitsevaa kemiallisten yhdisteiden kokonaispitoisuutta. Mittauksella ei kuitenkaan pystytä määrittämään suoraan sisäilmanlaatua, vaan se antaa viitettä tilanteesta. Lisäksi laitteen pitoisuuksien vaihtelun nopea havainnointikyky mahdollistaa epäpuhtauslähteiden etsimisen. Johtuen Euroopan ympäristötutkimuslaitoksen TVOC-lukeman määrittämisestä, PID-mittarin TVOC-lukema täytyy ilmoittaa tuloksissa omalla tunnuksella, esimerkiksi TVOC_{PID}. Työssä käytetään nimitystä PID-lukema.

Huonetilojen pitoisuuksia vertailemalla nähdään, mikäli niiden välisissä tila-tiloissa on eroja. Selvien pitoisuuserojen avulla pystytään rajaamaan epäpuhtauksien lähteet huoneittain.

Useat eri päästölähteet emissoivat sisäilmaan erilaisia yhdisteitä ja niillä on myös erilaiset emissioprofiilit. Päästölähteiden emissioprofiileja on kuvattuna taulukossa 7. Emissioprofiileista johtuen, VOC-pitoisuudet voivat vaihdella tilojen välillä /16/. Oikeanlaisten tulosten saavuttamiseksi tulee tuntea kyseisen tilan käyttötarkoitus, rakennusmateriaalit ja mahdolliset muut pitoisuutta nostavat tekijät. Esimerkiksi tilassa, jonka epäpuhtauslähteiden emissioprofiili on ajoittainen, tulee mittaus osata tehdä oikeaan aikaan.

Varsinaisia raja-arvoja PID-mittarin lukemille ei ole, mutta 100-500ppb:tä voidaan pitää normaalina pitoisuutena sisäilmalle. Tämän ylittävät lukemat kertovat, että jotain selviä epäpuhtauslähteitä löytyy. /4/

TAULUKKO 7. VOC-päästölähteiden emissioprofiileja. /16/(muokattu)

Emissioprofiili ja sisäilman pitoisuus	Esimerkki pitoisuuksien lähteestä	Päästölähteen VOC-yhdisteitä emissoivat aineet
<p>JATKUVA –aktiivista pitkän ajan jälkeen –yhtenäistä, muutokset pitoisuuksissa vähäisiä</p>  <p>X Aika Y Pitoisuus</p>	<p>RAKENNUSMATERIAALIT</p> <p>–PVC</p> <p>–linoleum</p> <p>–korkkimatto</p> <p>–parketit ja puiset huonekalut</p>	<p>pehmittimet, liuotin jäämät, antioksidantit, stabilointiaineet, viskositeetin modifiointiaineet</p> <p>pellavaöljy ja hapetus tuotteiden prosessijääminä</p> <p>sideaineet, lämpöhajoamistuotteet</p> <p>uuteaineet, liuotin lakat, pintakäsittelyaineet ja -vahat</p>
<p>JATKUVA –epäsäännöllistä, muuttuvaa</p>  <p>X Aika Y Pitoisuus</p>	<p>MAALIT, LIIMAT</p>	<p>Orgaaniset liuottimet, saostus liuottimet, kalvon muodostamistuotteet, kalvon hajoamistuotteet</p>
<p>AJOITTAINEN –aktiivista lyhytaikaisesti –yhtenäistä –määräaikaista</p>  <p>X Aika Y Pitoisuus</p>	<p>RUOANLAITTO</p> <p>TUPAKOINTI</p>	<p>Palamistuotteet, rasvat ja öljyt, mausteet</p> <p>Satoja yhdisteitä epätäydellisen palamisen seurauksena</p>
<p>AJOITTAINEN –epäsäännöllistä –ajasta riippuvaa</p>  <p>X Aika Y Pitoisuus</p>	<p>SIIVOUSTARVIKKEET</p> <p>HARRASTUS VÄLINEET</p>	<p>Puuöljyt, eteeriset öljyt, tuoksut, apuliuottimet</p> <p>liuottimet, pehmentimet</p>
<p>ULKOILMALÄHTEET –ulkoilmasta tulevat pitoisuudet riippuvat ilmanvaihdosta, lähteiden etäisyyksistä, rakennuksen profiilista ja sääolosuhteista</p>	<p>LIIKENNE, TEOLLISUUS, SAASTUNEET LÄHTEET</p>	<p>Monenlaisia lähteistä riippuvia VOC-yhdisteitä</p>

Opinnäytetyön aikana mitattiin sisäilman VOC-pitoisuuksia useammasta eri kohteesta. Osassa kohteista oli käyttäjien kertomuksiin perustuvia sisäilmaongelmia ja osa kohteista oli oireilemattomia. Lisäksi osassa kohteista oli kosteus- ja homevaurioita. Yhdessäkään kohteessa sisäilman pitoisuudet eivät kuitenkaan nouseet yli 500ppb:n rajan. Tiloissa, joissa ilmanvaihto oli voimakasta lukemat jäivät hyvin alhaisiksi.

Työssä kokeiltiin epäpuhtauslähteenä toimivaa ilmanraikastinta, joka nosti oleskelutilan pitoisuuksia. Mitä lähemmäksi ilmanraikastinta laite vietiin, sitä suuremmiksi pitoisuudet nousivat (Kuva 5). Raja-arvo 500ppb:tä ei kuitenkaan ylittynyt ennenkuin ilmanraikastimen läheisyydessä. Opinnäytetyön seuraavissa kappaleissa tutkitaan tarkemmin, mihin materiaaleihin eri olosuhteissa laite reagoi.



KUVA 5. Poikkeava sisäilman lukema ja epäpuhtauslähteenä toimiva ilmanraikastin. Kuva: Henri Wennström.

5.2 Muovimattojen kunnan selvitys

Sisäilmaongelmien yleiseksi laadun heikentäjäksi on osoittautunut alkaalisen kosteuden aiheuttama muovimattojen hajoaminen. Ongelmaa löytyy uusista ja vanhoista rakennuksista. Mikäli päällysteen hajoamisreaktio käynnistyy, se jatkuu, huolimatta siitä vaikka lattia myöhemmin kuivuisikin /19/. Hetkellinen korkea kosteus ei kuitenkaan vielä käynnistä hajoamisreaktiota /25/. Kosteusmittauksilla yksinään ei siis pystytä paljastamaan ongelmaa. /19/

Opinnäytetyössä tutkittiin PID-viiltomittausmenetelmää muovimattojen kunnan selvittämisessä. Mittaukset tehtiin samoista lattiamatoista, joista Ositum Oy oli teettänyt materiaalinäytekokeita. Tuloksia verrattiin Ositumin tuloksiin, joista etsittiin yhtäläisyyksiä TVOC-pitoisuuksien, yhdisteryhmien esiintyvyyksien ja yksittäisten yhdisteiden esiintyvyyksien pohjalta. Lisäksi tarkasteltiin vielä erikseen PID-mittauksen, 2-etyyli-1-heksanolin ja 1-butanolin suhdetta tuloksissa. Tuloksia vertailtiin myös kosteusmittauksiin ja Case-tutkimus luvussa on lisää vertailuja kosteusmittauksista.

5.2.1 Mittausmenetelmän kuvaus

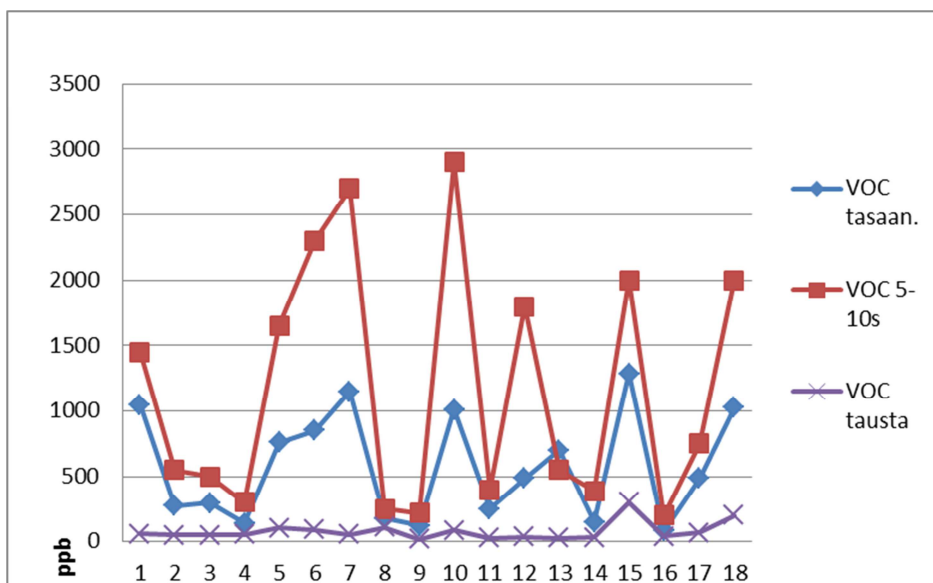
Muovimattojen kuntoselvitys PID-laitteella suoritettiin viiltomittauksena päällysteen alta viillon kautta. Viilto tehtiin lattiamattoon noin 10 cm leveänä. Mittapisteestä suoritettiin aina ensin kosteusmittaus, sillä PID-laitteen pumppu kierrättää ilmaa maton alla poistaen kosteutta. Kosteusmittauksen jälkeen PID-laitteen mittaletku asetettiin mittapisteeseen päällysteen alle työnnettyjen mittaputkien avulla (Kuva 6). Mittausputkina tulee käyttää materiaaleja, jotka eivät aiheuta virhettä mittatulokseen.

Viilto tiivistettiin tiivistysmassalla huolellisesti mittaputkien välistä niin, että ilmavirta pääsi kulkemaan ainoastaan mittaputkien kautta. PID-laitteen mittaletkua ei asetettu mittausputkeen ennen kuin valmistelut ja tiivistys oli tehty valmiiksi. Mittatilanteessa laite oli jatkuvatilaisessa mittaustilassa, eli se mittasi pitoisuuksia tauotta.



KUVA 6. Fotoionisaatiodekektorin mittaputket asetettuna lattiamaton alle ja tiivistetty huolellisesti. Kuva: Jukka Huttunen.

Tuloksia PID-mittauksesta kirjattiin ylös huoneen sisäilman VOC-pitoisuus (VOC tausta), mittapisteen suurin lukema noin 5-10 sekunnin kuluessa mittauksen aloituksesta (VOC 5-10s) ja tasaantunut lukema, jossa mittalukema viipyy (VOC tasaan.). Kuviossa 3 on esitetty mittautulokset.



KUVIO 3. Tulokset viiltomittauksista. Mittapisteen vaaka-akselilla.

Tuloksia vertailemalla nähtiin, että käyrät noudattivat toisiaan. 5-10s:n VOC-pitoisuuksiin verrattaessa tasaantuneet lukemat laskivat kuitenkin huomattavasti. Poikkeamaa kuitenkin löytyi osissa mittapisteistä. 5-10s aikana mitattuun suurimpaan arvoon voi syntyä kuitenkin paljon virhemahdollisuuksia esimerkiksi tiivistyksessä ja laitteen reagoitinopeudessa. Mittatulosten varmuuden kannalta tasaantunutta arvoa ”Voc tas.” tullaan käyttämään mittatuloksena.

5.2.2 Kosteusmittaus vertailu

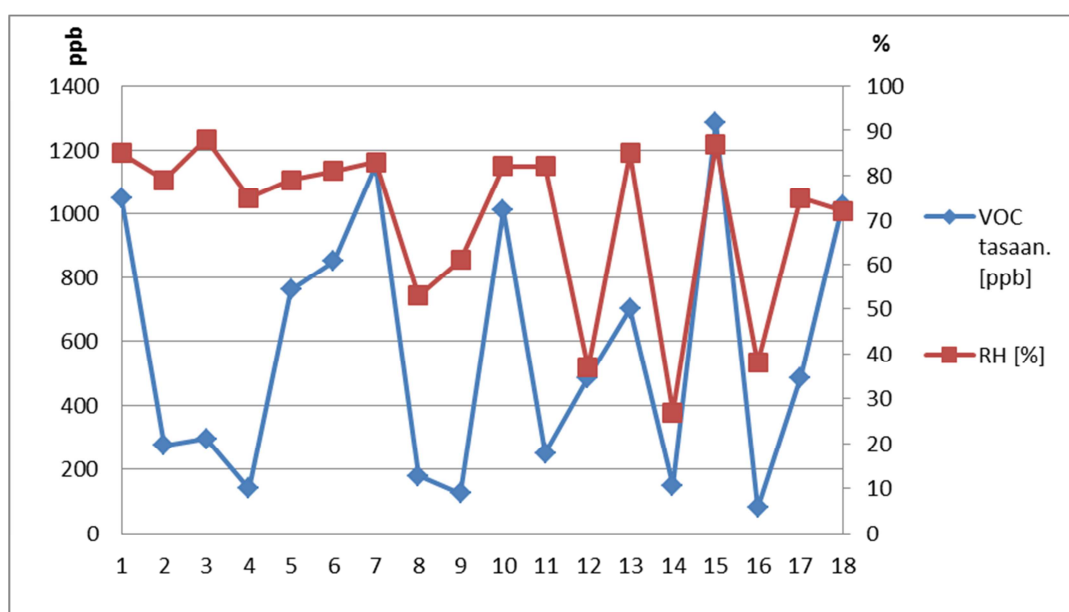
Kosteusmittauksissa käytettiin Vaisalan HMP42- ja HMP44-kosteusmittausantureita ja HMI41-näyttölaitteita (Kuva 7). Mittalaitteiden tarkkuus on noin $\pm 2\%$.



KUVA 7. Mittalaitteet. Vasemmalla Vaisalan kosteusmittari ja oikealla PID-mittari. Kuva: Jukka Huttunen.

Kosteus- ja PID-mittausten tulokset ovat esitettyinä kuviossa 4. Tulosten väliltä löytyi yhtäläisyyttä. Tilanteissa, joissa suhteellinen kosteus (RH) on matala, jäi myös PID-tulos matalaksi.

Tilanteita, joissa suhteellinen kosteus RH on yli 85%, pidetään vaurioituneena ja monesti pienen pinta-alan omaavat lattiapinnat ovat jo korjattu tämän kosteuskokeman perusteella. /24/



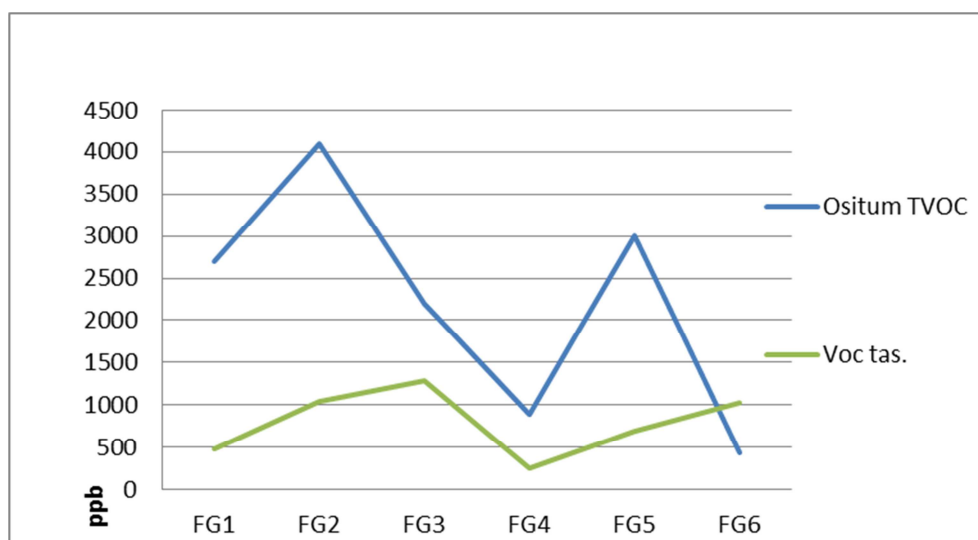
KUVIO 4. PID- ja kosteusmittaustulosten vertailu. Mittapisteet vaaka-akselilla.

Kuviosta 4 on nähtävillä, että vaikka RH oli yli 85, voi PID-lukema jäädä alhaiseksi ja olla pienempi kuin kuivemmalla kohdalla (vrt. kuvion 4 mittapisteitä 3 ja 17). Pääsääntöisesti kuitenkin korkean PID-lukeman kohdalla myös kosteus oli korkea. Opinnäytetyön Case-tutkimus osiossa perehdytään vielä tarkemmin kosteusmittaus vertailuihin.

5.2.3 Materiaalinäyte vertailu

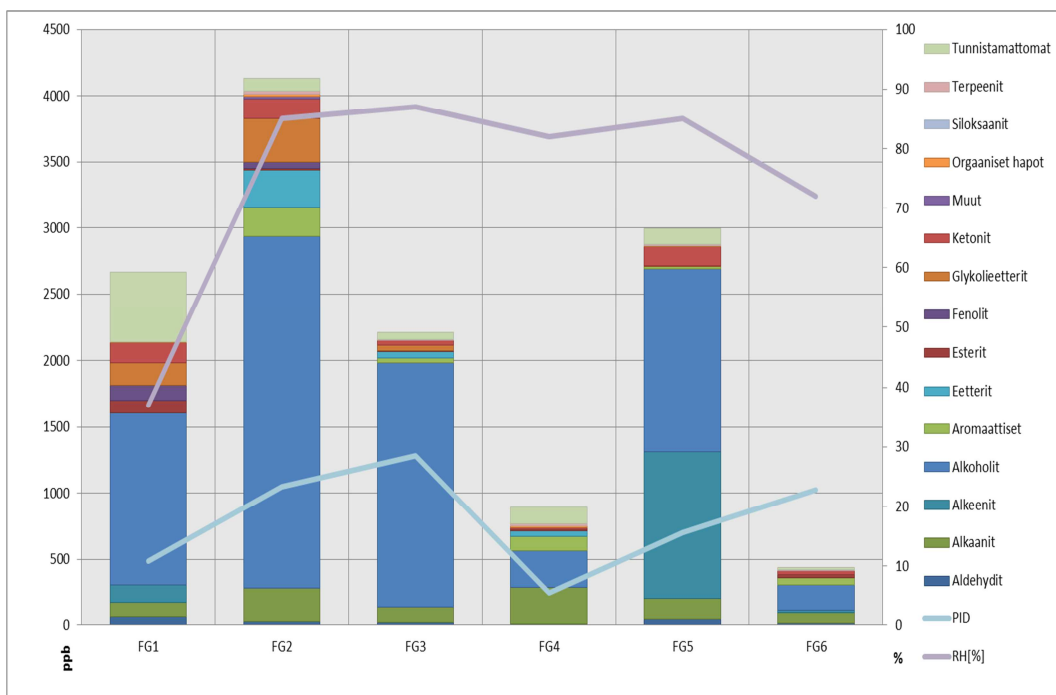
PID-lukemia verrattiin Ositum Oy:n teettämiin materiaalinäytekokeisiin. Tulosten vertailu oli vaikeaa, sillä Ositumin ilmoittamat TVOC-lukemat eivät suoranaisesti vastaa PID-mittarin kokonaispitoisuutta. Mittalaitteen herkkyserot yhdisteiden välillä vaikuttavat PID-tulokseen ja vertailukykyisten tulosten saamiseksi Ositumin ilmoittamat kokonaispitoisuudet tulisi korjata korjauskertoimien avulla yhdiste ja yhdisteiden pitoisuudet kerrallaan. Korjauskertoimien käyttö tilanteessa oli kuitenkin lähes mahdotonta, sillä yhdisteitä näytteistä löytyi monta kymmentä ja kaikkia niistä ei löydy RaeSystems:n yhdisteiden korjauskerroinlistasta.

PID-mittaria ei näiden tulosten pohjalta voi käyttää vertailussa materiaalinäytekokeiden kokonaispitoisuuksien kanssa. Kuviossa 5 on vertailu Ositum Oy:n materiaalinäytekokeiden TVOC-lukemista ja PID-lukemista. Tulosten väliltä ei löydy selvää yhtäläisyyttä.



KUVIO 5. Materiaalikokeiden TVOC-lukemien vertailu PID-lukemiin. Mittapisteeet vaaka-akselilla.

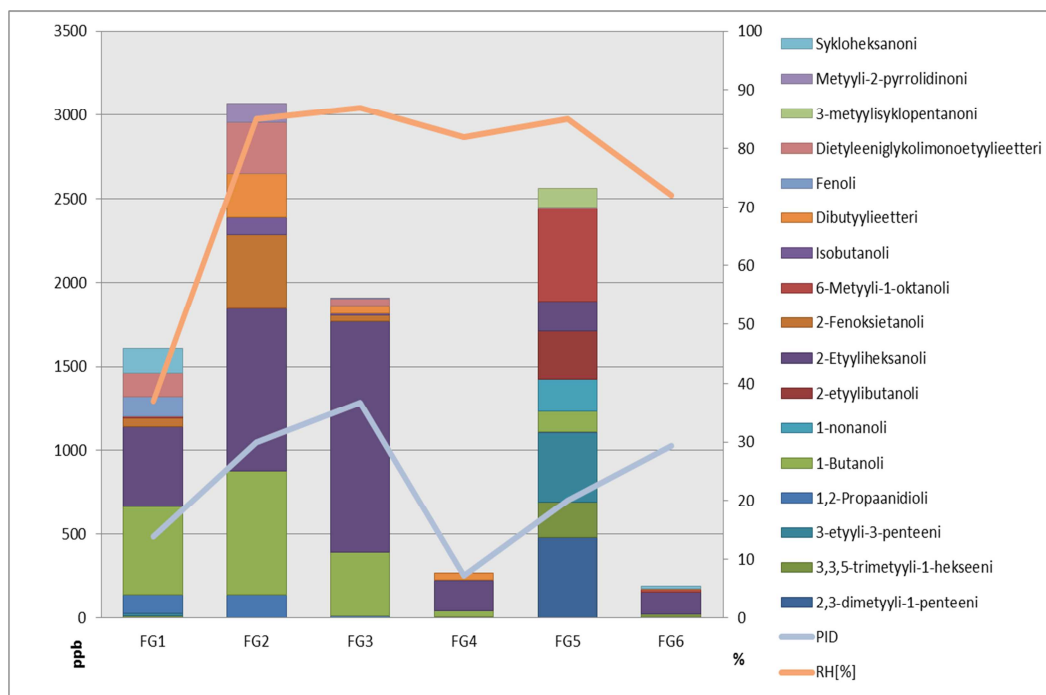
Materiaalinäytekokeiden tuloksia alettiin selvittämään yhdisteryhmittäin, jos löytyisi jokin ryhmä, jonka kanssa PID-lukema olisi yhtäläinen. Kuviossa 6 on verrattu yhdisteryhmiä PID- ja kosteusmittaus tuloksiin.



KUVIO 6. Yhdisteryhmien vertailu PID- ja kosteusmittauksiin. Mittapisteeet vaaka-akselilla.

Alkoholiryhmän osuus oli suhteellisesti suurin lähes joka näytteessä. PID-tulokset eivät kuitenkaan noudattaneet alkoholiryhmän suhdetta. Selvää yhtäläisyyttä kosteusilanteen ja Ositumin tulosten pohjalta ei myöskään ollut havaittavissa.

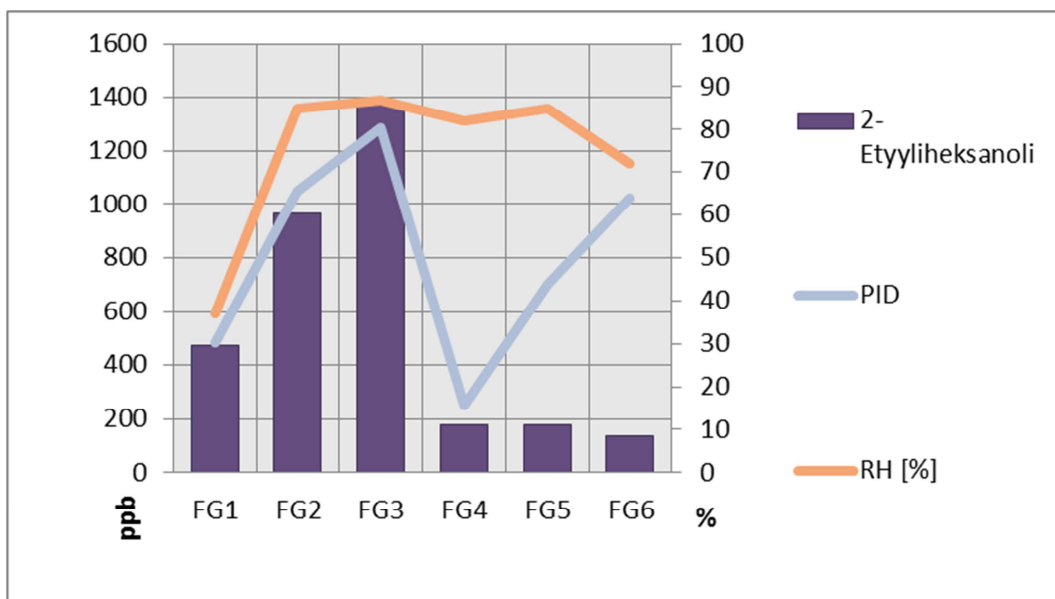
Materiaalinäyte-, PID- ja kosteusmittaustuloksille tehtiin vielä yksittäisten yhdisteiden vertailu (kuvio 7). Pieniä pitoisuuksia omaavia yhdisteitä näytteissä oli niin paljon, että vertailuun valittiin vain yhdisteet, joiden pitoisuus Ositumin näytteessä ylitti 100ng/g h:n rajan.



KUVIO 7. Yhdistevertailu PID- ja kosteusmittaustuloksiin. Valittuna yhdisteet, jotka ylittävät 100ng/g h:n rajan. Mittapistet vaaka-akselilla.

Kuviosta 7 näkyy, että suurimpina pitoisuuksina lähes joka näytteessä esiintyi 2-etyyli-1-heksanoli ja 1-butanoli. Näytteissä esiintyvät pitoisuuksiltaan suurimmat yhdisteet ovat pääsääntöisesti samoja lukuunottamatta näytettä FG5.

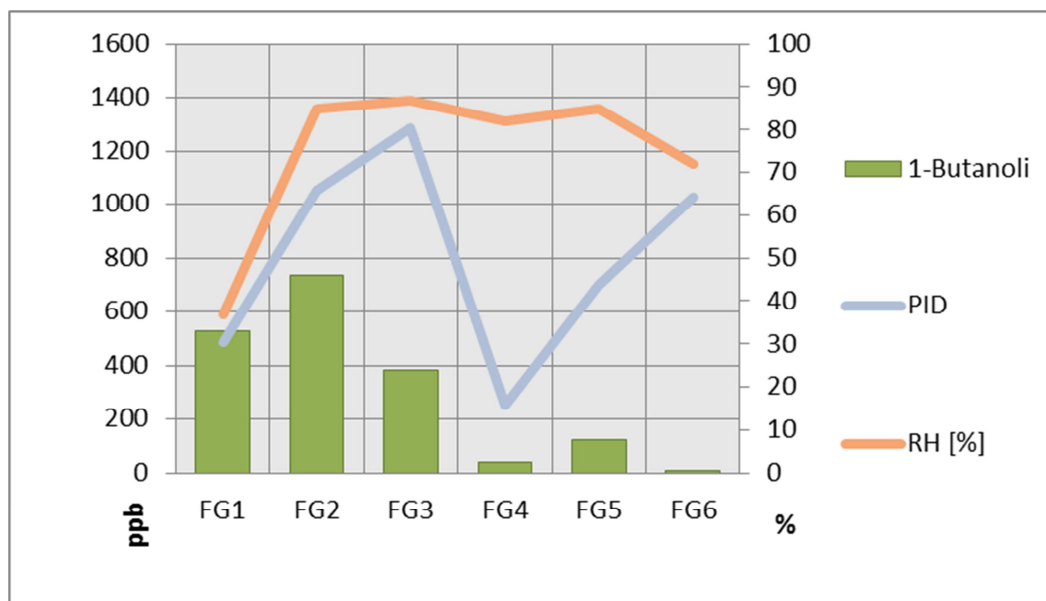
2-etyyli-1-heksanolin ollessa tämän hetkisen oletuksen mukaan muovimattovaurioiden indikaattori, tutkittiin kyseisen yhdisteen korrelaatio tuloksiin vielä erikseen kuviossa 8.



KUVIO 8. 2-etyyli-1-heksanolin esiintyvyyden vertailu PID- ja kosteusmittauslukemiin. Mittapisteet vaaka-akselilla.

Kuviosta 8 näkyy kuinka näytteet FG1-FG4 korreloivat PID-lukeman ja 2-etyyli-1-heksanolin suhteen erinomaisesti. Myös kosteusilanne myötäilee hieman tulosta. Näytteissä FG5-FG6 oli kyseessä eri mattotyyppi kuin näytteissä FG1-FG4. Näytteessä F5 PID-lukema oli korkea vaikka 2-etyyli-1-heksanolin määrä oli alhainen. Kuviosta 7 kuitenkin näkyy, että kyseisessä näytteessä oli suurina pitoisuuksina muitakin yhdisteitä kuin 2-etyyli-1-heksanolia. Poikkeuksen tuloksiin luo näyte FG6, jonka PID-lukema on korkea, mutta Ositumin TVOC-lukema, yhdisteiden määrä, sekä 2-etyyli-1-heksanolin pitoisuus pieni.

Myös 1-butanolin pitoisuuksista tiedetään, että ne ovat kohonneina vaurioituneissa matoissa. Vertailun vuoksi kuviossa 9 vertailtiin PID-lukemaa ja kosteusmittaustuloksia vielä erikseen 1-butanolin pitoisuuksiin näytteittäin.



KUVIO 9. 1-butanolin esiintyvyyden vertailu PID- ja kosteusmittaustuloksiin. Mittapisteet vaaka-akselilla.

Kuviossa 9 on havaittavissa samankaltaista yhtäläisyyttä tulosten välillä kuin kuviossa 7, 2-etyyli-1-heksanolin suhteen. Yhtä selvästi tulokset eivät kuitenkaan noudattaneet toisiaan. Poikkeuksellisenä näytteenä on tässäkin tapauksessa mittapiste FG6 ja FG5, mutta lisäksi myös FG3.

5.3 Materiaaliemissioiden havainnointi

Rakennusmateriaaleista emissoituu primääri- ja sekundääriemissioiden kautta erilaisia haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Opinnäytetyössä tutkittiin PID-laitteen havainnointikykyä eri materiaalien emissioille. Osa näytteistä oli altistettu laboratorio-olosuhteissa kosteudelle. Kosteusvaurioituneissa materiaaleissa havainnointi yhdisteinä ovat pääsääntöisesti mVOC-päästöt. Materiaalien mittaukset suoritettiin laboratoriossa tehokkaasti toimivissa ilmanvaihto-olosuhteissa ja toisen kerran kotiolosuhteissa. Kotiolosuhteissa kiinteitä näytteitä säilytettiin folioon käärittyinä päästöjen vahvistamiseksi. Laboratorion tehokkaan ilmanvaihdon seurauksena mittaustulokset jäivät niin mataliksi, että työssä esitetään kotiolosuhteissa mitatut arvot.

5.3.1 Puumateriaali

Puun käyttö rakennusmateriaalina on yleistä. Materiaalina se on altis kosteudelle ja kosteuden aiheuttamille vaurioille. Kosteusvaurioindikaattorina pidetään mikrobeja, joiden aineenvaihduntatuotteena sisäilmaan aiheutuu päästöjä /18/. Työssä tutkittiin kuivaa sekä laboratorio-olosuhteissa kosteudelle altistettua puuta ja hiiltynyttä puuta. Tavoitteena oli selvittää, millä tavalla PID-laite reagoi kuivaan puuhun, ja miten tulokset eroavat kosteusvaurioittuneen näytteen kanssa. Tuore, erityisesti pihkaiset havupuut, emissoivat terpeeniyhdisteryhmän VOC-päästöjä. /51/ Puunäytteisiin tehtiin noin 0.5cm syvyinen mittausreikä, josta tulokset mitattiin.

Kuiva puu tuotti mittalukemaan noin 100-200 ppb:n muutoksen. Kosteudelle altistetun puun mittatulos kuukauden jälkeen oli sama kuin kuivalla näytteellä. Kolmen kuukauden kuluttua kosteudelle altistamisesta, näytteessä alkoi näkymään jo silmin havaittavia tummentumia ja lievää mikrobikasvustoa (kuva 8). Tässä vaiheessa mitattuna näyte tuotti mittalukemaan jopa 1500 ppb:n muutoksen. Palaneeseen, eli hiiltyneeseen puuhun laite ei reagoinut, sillä kaikki haihtuvat yhdisteet ovat kovassa kuumuudessa kaasuuntuneet pois materiaalista.



KUVA 8. Alla kuiva puunäyte ja yläpuolella kolme kuukautta kosteudelle altistettu näyte. Kuva: Henri Wennström.

Kyllästetty puu kuivana tuotti mittalukemaan 400-500 ppb:n muutoksen, kun taas kosteusvaurioitunut kyllästetty puu ylitti jopa yli 100 ppm:n lukeman. Märkä kyllästetty puunäyte antoi huomattan suuren lukeman. Aistinvaraisena huomiona kyllästetty puu haisee märkänä hyvin voimakkaalta verrattuna kuivaan näytteeseen. Verrattuna käsittelemättömään puuhun lukemat olivat hyvin korkeita. Kuvassa 9 on esitetty mittaus märästä näytteestä porareian kautta. Mittatuloksena kuvassa 131 ppm.



KUVA 9. Märkä kyllästetty puunäyte ja huomattavan korkea tulos. Kuva: Henri Wennström.

5.3.2 Eristemateriaalit

Mineraalivilloista voi irrota sisäilmaan mahdollisten ilmavuotoaukkojen kautta ilmanlaatua heikentäviä kuituja /43/. Lisäksi kostuneista mineraalivilloista mahdollisesti emissoituvia VOC-yhdisteitä ovat pentanaali, heksanaali, heptanaali oktanaali ja nonanaali /42/. Kuivaan ja kosteusvaurioittuneeseen mineraalivillaan PID-mittari reagoi muutaman kymmenen ppb:n muutoksella. Eroja näytteillä ei pitoisuuksissa ilmennyt. Materiaalilla oli lievä ominaishaju kuivana ja märkänä se vahvistui. Tulokset näytteistä mitattiin laittamalla mittaletkun kärki mineraalivillan sisälle. Olosuhteet kostuneilla mineraalivilloilla ovat kuitenkin rakenteissa erilaiset verrattuna laboratorio-olosuhteisiin.

Polystyreenisten eristeiden (EPS) valmistukseen käytetään styreeniä /31/, johon laitteen tiedetään reagoivan herkästi yhdisteen ollessa kaasumaisessa muodossa. Mittalukeman muutos oli noin 500-600ppb:tä. Tulos saatiin laittamalla PID-mittarin kärki eristeen sisälle.

Suulakepuristetun polystyreenin (XPS) valmistukseen käytetään styreeniä kuten EPS-eristeissäkin. Mittauksissa ei kuitenkaan saatu tulokseksi lukemia näytekappaleesta.

Vedeneristemassa, materiaalipäästöluokalta M1, nestemäisessä muodossa sai aikaan mittalukemaksi tuhansien ppb:n muutoksen. Betonikuutionäytteen pinnalla kuivuneena muutokset olivat hyvin pieniä, muutamia ppb:n vaihteluita. Näytekuutio oli pohjustettu primerillä, joka myös oli materiaalipäästöluokaltaan M1. Primer tuotti myös nestemäisessä muodossa tuhansien ppb:n mittalukeman muutoksen.

Kreosootti, eli kivihiilitervan tisle, on lattioissa ja seinissä vesieristeenä käytetty satoja eri yhdisteitä sisältävä ruskeanmusta öljymäinen aine. Pääasiassa se koostuu polysyklisistä aromaattisista hiilivedyistä (PAH), fenoleista, sekä heterosyklisistä rikki- ja typpi-yhdisteistä. Kreosootista haihtuu sisäilmaan tavallisessa huonelämpötilassa hyvin nopeasti haitallinen pitoisuus yhdisteitä. Ärsytys- ja iho-oireiden lisäksi kreosootin sisältämät PAH-yhdisteet altistavat

syöväälle /20/. Materiaalinäyte mittausta varten kerättiin työmaalta. Työmaalla suoritettiin PID-mittauksia paikanpäällä kreosootille, mutta viereisen huonetilan voimakas alipaineistus työterveysyistä esti tarkkojen tulosten saannin. Materiaalinäytteestä saatiin lukeman muutokseksi 500-600ppb:tä. Kreosootti emissoi vieläkin selviä lukemia, vaikka se on ollut kohteessa pinnoitteena yli viisikymmentä vuotta. Kuvassa 10 on kreosootilla pinnoitettu seinä, materiaalinäytepurkki ja PID-mittari.



KUVA 10. Seinä, jossa kosteussivelynä käytetty kivihiilitervaa ja lämmöneristeenä mineraalivilla. Kuva: Henri Wennström.

5.3.3 Rakennuslevyt

Lastulevyistä emissoituvia yhdisteitä ovat pentanaali, heksanaali, heptanaali, oktanaali, nonanaali ja bentsaldehydi /42/. Lastulevy haisee hajuhavaintona pistävänä hajuna ja erityisesti märkänä haju voimistuu. Kuivana lastulevy tuotti mittalukeman muutokseksi 40-50 ppb:tä, kun taas kosteassa näytteessä lukema kohosi 200-250 ppb:tä.

Kosteissa kipsilevyjen pahveissa tiedetään kasvavan erilaisia mikrobikasvustoja, jotka voivat synnyttää MVOC-yhdisteitä /26/. Kuivaan kipsilevyyn PID-mittari ei reagoanut, mutta ei myöskään märkään kipsilevyyn. Aistinvaraisissa havainnoissa kosteudelle altistetussa kipsilevyssä näkyy kipsiosassa tummentuneita alueita (kuva 11), mutta hajun perusteella näytteissä ei ole eroa. Mittaukset suoritettiin pahvikuoresta sekä kipsiosasta.



KUVA 11. Kosteudelle altistettu kipsilevy. Kuva: Henri Wennström.

Bituliittilevynäyte kerättiin työmaalta, jossa se oli toiminut tuulensuojalevynä. Mittauksessa näyte tuotti kuivana lukeman muutokseksi 80-100 ppb:tä ja kosteusvaurioituneena 100-120 ppb:tä. Hajuhavaintona bituliittilevy hausi selvästi pistävänä ummehtuneena hajuna. Kosteusvaurioituneena sen haju voimistui.

5.3.4 Maalit, liimat ja muut rakennuskemikaalit

Maalien, liimojen ja liuottimien säilyttäminen sisätiloissa näkyy VOC-näytteissä alkaanien, alkeenien, aromaattisten, eetterien ja esterien kohonneina pitoisuuksina. Näistä kemikaaleista peräisin olevat yhdisteet voivat kohottaa sisäilman TVOC-lukemaa ja huonontavat ilmanlaatua /8/. Työssä tutkittiin PID-laitteen reagointia kemikaalien säilyttämisestä johtuviin pitoisuuksiin, sekä jo maalattujen, liimattujen ja kemikaaleilla käsiteltyjen pintojen pitoisuuksiin.

Maalit nestemäisessä muodossa nostivat PID-lukemaa hyvin herkästi. Tulokset maaleille nestemäisessä muodossa olivat useampi kymmenen ppm. Laboratoriossa tutkittiin akryyli-, pellavaöljy- ja öljymaalia. Tutkimuksessa maaleja laitettiin myös puukappaleiden päälle ja annettiin kuivua noin kuukausi hyvin ilmastoiduissa olosuhteissa. Kuivuneet maalinäytteet eivät aiheuttaneet suuria muutoksia PID-lukemassa. Tulokset kuivuneille maalinäytteille vaihtelivat 10-30 ppb.

Palonsuojakylläste nestemäisessä muodossa aiheutti PID-mittarin lukemaan 1500-2000 ppb:n muutoksen. Näytepuukappaleessa kuukauden kuivuneena ei mittari palonsuojakyllästettyyn puuhun juurikaan reagoanut.

Liuottimena käytetty lakkabensiini tuotti nestemäisessä muodossa mittalukeman muutosta useamman kymmenen ppm. Rakennusliima ja silikonisaumausaine muuttivat lukemaa tuhansia ppb:tä.

Käytännössä PID-mittari reagoi kaikkiin rakennusalalla käytössä oleviin kemikaaleihin. Sisäilman pitoisuudet vaihtelivat kemikaalien määrästä, tyypistä ja olosuhteista riippuen. Tutkimusten aikana tehtyjen havaintojen perusteella laitteen PID-lukemassa tulee selvä nousu kemikaalien säilytyspisteiden läheisyydessä.

5.3.5 Huonekalut ja sisustusmateriaalit

Sisustusmateriaaleissa ja huonekalusteissa käytetyt materiaalit vapauttavat sisäilmaan haihtuvia orgaanisia yhdisteitä. Monesta materiaalista, etenkin uusista, joissa primääriemissio on vahvempaa, pystyy selvästi nenällä haistamaan materiaalin ominaishajun.

Huonekalujen ja sisustusmateriaalien mittaaminen työssä oli vaikeaa, sillä niissä käytetään useita erilaisia materiaaleja. Työssä kuitenkin mitattiin huoneiden pitoisuuksia, joissa sijaitti uusia huonekaluja. Pitoisuudet olivat kohonneita, mutta eivät ylittäneet yli 500ppb:n rajaa. Mitä lähempää uutta huonekalua mitattiin, nousi lukema hieman. Hajuhavaintona tiloissa haisi selvästi uuden huonekalun haju.

5.3.6 Käyttäjien toiminta

Käyttäjien omasta toiminnasta aiheutuvia sisäilman laatua heikentäviä lähteitä on useita. Yleisimmät ovat siivousaineet, hajusteet, ilmanraikastimet, tulostinten ja kopiokoneiden väriaineet, askarteluvälineet, ruoanlaitosta syntyvät epäpuhtaudet ja ilmanvaihdon tehottomuus.

Ilmanvaihdon tehokkuus on kääntäen verrannollinen VOC-yhdisteiden pitoisuuksiin. Ilmanvaihdon merkitys ilmeni laboratoriomittauksissa ja kenttätutkimuksissa kohteissa, joissa ilmanvaihto oli tehokasta. Näissä tilanteissa VOC-pitoisuudet jäivät alhaisiksi.

Ruoan valmistuksessa syntyvät yhdisteet ovat emissioprofiililtaan ajoittaisia. Laite reagoi yhdisteisiin suoraan ruoanlaiton yhteydessä 200-300ppb:n lukeman muutoksella. Ruoan valmistusvaiheen jälkeen keittiötilan pitoisuus palasi nopeasti normaaliin, ennen ruoanlaittoa mitattuun tulokseen.

Avonaiset, tyhjät alkoholituotteet nostivat lukemaa hyvin herkästi. Tuotteen etäisyys mittalaitteesta oli poikkeuksellisen pitkä lukeman muutoksen saavuttamiseksi. Yksikin tyhjä alkoholituote tuotti usean sadan, jopa tuhansien ppb:n muutoksen lukemaan.

Tupakan savu voi kulkeutua sisätiloihin ilmanvaihdon, tai rakennevuotojen kautta. Tupakansavussa tiedetään olevan yli 4000 yksittäistä yhdistettä /44/. Mittauksissa reagointi tupakansavuun oli erittäin herkkää. Lähietäisyydeltä lähteestä mitattuna lukeman muutos oli useampi tuhat ppb:tä.

Siivousaineet sisältävät erilaisia liuotin- ja hajusteaineita. Nestemäisessä muodossa ne tuottivat mittalukemaan usean tuhannen ppb:n muutoksen. Siivouksen yhteydessä käytetyt aineet ovat emissioprofiililtaan ajoittaisia. Siivousaineista emissoituvien yhdisteiden poistumisnopeus riippuu ilmanvaihdon tehokkuudesta. Mittauksissa pinnat, jotka oli käsitelty siivousaineilla tuottivat lukemaan muutosta vielä pitkään siivoustopahtuman jälkeen.

Hajusteet ja ilmanraikastimet tuottivat, useamman tuhannen ppb:n mittalukeman muutoksen. Tilat, joissa hajusteita säilytetään tai käytetään, näkyivät laitteen lukemassa. Emissioprofiililtaan hajuvedet ovat ajoittaisia ja ilmanraikastimet riippuen tyypistään jatkuvaa, tai ajoittaista. Hajuhavaintoina hajusteet ja ilmanraikastimet ovat helppoja tunnistaa selvän tuoksun perusteella.

5.3.7 Yhteenveto materiaalinäyttekokeista

Materiaalikoheet suoritettiin kokeiluluonteisesti selvittäen laitteen reagointia materiaaleihin. Mittaustulokset voivat vaihdella olosuhteittain ja eri valmistajien tuotteiden välillä. Kokeissa huomattiin, että eriasteiset kosteusvauriot vaikuttivat tuloksiin. Selvien ja tarkkojen mittalukemien esittäminen materiaalikohtaisesti on tästä syystä vaikeaa.

Yhteenveto työssä mitatuista tuloksista on esitettyinä taulukossa 8. Materiaaleille on kerätty keskiarvoiset tulokset mittauksista. Lisäksi taulukossa on esitetty laitteen reagointiherkkyys materiaalikohtaisesti asteikolla 0-5.

TAULUKKO 8. PID-laitteen reagointi materiaaleihin.

MATERIAALI	MITTALUKEMA (ppb ja ppm)	REAGINTIHERKKYYS (Asteikko: 0-5)
Puumateriaalit		
Sahatavara, kuiva	100-200 ppb	1
Sahatavara, märkä	1000-1500 ppb	3
Kyllästetty puu, kuiva	400-500 ppb	2
Kyllästetty puu, märkä	10-100 ppm	5
Palanut puu	0 ppb	0
Eristemateriaalit		
Mineraalivilla, kuiva	0 ppb	0
Mineraalivilla, märkä	0 ppb	0
EPS	500-600 ppb	2
XPS	0 ppb	0
Vedeneristemassa, kuiva	0 ppb	0
Kreosootti	500-600 ppb	2
Rakennuslevyt		
Lastulevy, kuiva	40-50 ppb	1
Lastulevy, märkä	200-250 ppb	1
Kipsilevy, kuiva	0 ppb	0
Kipsilevy, märkä	0 ppb	0
Bituliittilevy, kuiva	80-100 ppb	1
Bituliittilevy, märkä	100-120 ppb	1
Kemikaalit		
Maalit, kuiva	10-30 ppb	1
Maalit, märkä	5-30 ppm	5
Liimat	2-20 ppm	5
Liuottimet	10-30 ppm	5
Palonsuojaine	1500-2000 ppb	4
Silikoni	1500-2000 ppb	4
Siivousaineet	5-30 ppm	5
Hajusteet	2-10 ppm	5
Ilmanraikastimet	5-20 ppm	5
Käyttäjien toiminta		
Ruoanlaitto	200-300 ppb	1
Tupakansavu	2-20 ppm	5
Alkoholituotteet	500-5000 ppb	5
Huonekalut ja sisustusmateriaalit	100-400 ppb	2

5.4 Lämpötilan vaikutus materiaalipäästöihin

Työssä tutkittiin, millä tavoin lämpötila vaikuttaa materiaalien emissioihin ja tätä kautta laitteen havainnointikykyyn. Esimerkki tilanteena työssä käytettiin rakennuksen yläpohjasta kulkeutuvia, vanhojen puumateriaalien päästöjä, jotka voimistuvat korkeassa lämpötilassa. Tätä tilannetta mallinnettiin puu-, lastulevy- ja bituliittilevynäytteellä. Näytteet laitettiin tavalliseen keittokattilaan (kuva 12), jossa niiden pitoisuus normaalissa huonelämpötilassa mitattiin. Kattilasta mitattuna lukemaksi saatiin noin 40-50ppb:tä. Näytteitä lämmitettiin keittolevyllä niin, että arvioitu lämpötila oli noin 60C°. Mittalukema nousi tulokseen 300-350ppb. Lämpötilalla on selvä emissioita kiihdyttävä vaikutus. Hajuhavaintona lämmitettyjen materiaalien haju voimistui selvästi verrattuna huoneenlämpöisiin näytteisiin.



KUVA 12. Materiaalinäytteiden lämpötilan kohotus. Kuva: Henri Wennström.

5.5 Homekasvustojen havainnointi

Vaasan ammattikorkeakoulun Technobothnian laboratoriossa mitattiin homekasvustojen viljelykseen tarkoitettua kaapin pitoisuuksia sen sisältä. Laitteen mittalukema vaihteli 15-30ppb:n välillä. Tulos oli matala, verrattuna hajuhavaintoihin. Viljelykaapista tuli selvää homeelle tyypillistä ummehtunutta hajua. Tilojen ilmanvaihto oli kuitenkin tehokasta, mikä osittain voi vaikuttaa matalaan tulokseen.

Työkohteessa mitattiin selvästi homeelta haisevan seinärakenteen pitoisuuksia. Mittaus suoritettiin levyseinärakenteen läpi poratun aukon kautta (kuva 13). Eristemateriaalina seinässä oli mineraalivilla. Laitteen mittalukemassa tapahtui selvä muutos, joka oli suurudeltaan noin 2000-2500ppb:tä. Tilanteesta on kuitenkin vaikea saada varmuutta oliko tulokseen syynä homeista syntyneet päästöt, vai oliko tilanteessa jokin toinen mittatulokseen vaikuttava lähde.



KUVA 13. Homeelta haisevan seinän eristeiden mittaus. Mittalukema kuvassa 2303ppb. Kuva: Jukka Huttunen.

5.6 Rakennustöiden aikainen olosuhdetarkkailu

Rakennustöissä käytetyt materiaalit ja kemikaalit voivat altistaa työntekijän työperäisille sairauksille. Esimerkiksi töissä, joissa ollaan tekemisissä kemikaalien kuten maalien ja liuottimien kanssa, altistuu työntekijä kemiallisille epäpuhtauksille.

Työhygienisillä mittauksilla pyritään arvioimaan haittojen torjuntaa. Mitattavat suuret riippuvat työvaiheista, työkoneiden ja -laitteiden päästöistä sekä työmaalla käytetyistä tai syntyvistä kemikaaleista. Kaasujen ja emissioiden osalta PID-mittarilla mitattavia yhdisteitä ovat esimerkiksi PAH-yhdisteet ja liuottimet. /45/

Työhygienisiä mittauksia ei juurikaan suoriteta rakennustyömailla, vaikka siellä on paljon erilaisia altisteita. Työmaiden TR-mittauksien yhteydessä arvioidaan jonkin verran olosuhteisiin liittyvää pölynhallintaa. Työhygieniamittauksilla pyritään toteamaan, onko työmaalla tehdyt suojaustoimenpiteet riittäviä ja tarkentamaan henkilökohtaisten suojainten käyttötarvetta. /45/

PID-mittarilla voidaan tarkistaa esimerkiksi, onko työaikainen alipaineistaminen riittävän voimakasta työsuorituksena aikana. Tätä kokeiltiin eräällä korjausrakennus työmaalla, jossa oli työvaiheessa käytetty kemikaaleja. Huone oli alipaineistettu työhygienian parantamiseksi. Lisäksi viereisessä tilassa oli purettu seinä, jossa oli kosteussivelynä käytetty kivihiilitervaa. Alipaineistetun tilan PID-lukema oli noin 500-600 ppb:tä kun taas viereisen tilan lukema 200-220 ppb:tä. Tässä tapauksessa alipaineistaminen toimi hyvin. Mikäli lukemien välillä ei olisi eroa ja ne olisivat korkeita, tulisi alipaineistusta tehostaa.

Olosuhteiden seuranta on toteutettu myös HTP-arvoilla, mutta esimerkiksi lattiamattojen purkutyömailla rajat ylittyvät hyvin harvassa tapauksessa. Seuranta vaikeuttaa myös osittain se, että kemikaalien lisäksi purkutyömailla voi esiintyä mikrobeja. /24/

6 CASE-TUTKIMUS

Tässä luvussa on käsitelty opinnäytetyöhön kuulunut tutkimuskohde, jonka perustiedot on esitetty. PID-mittaus suoritettiin opinnäytetyössä esitellyllä viiltomittausmenetelmällä.

6.1 Kohteen yleiskuvaus

Case-tutkimuksen tavoitteena oli saada selvitettyä raja-arvoja muovimattojen kunnan selvittämiseksi ja parantaa käytännön kokemusta mittausten suorittamisesta. Kohteena Case-tutkimukseen oli eräs 80-luvulla valmistunut koulurakennus Kokkolan kaupungin alueella, joka on toiminut samassa käyttötarkoituksessa sen valmistumisesta lähtien. Kohteesta tiedettiin aikaisempien tutkimusten perusteella, että lähes kaikki muovimatoilla päällystetyt lattiapinnat olivat normaalia kosteampia. Tiloissa oli myös aistittavissa muovimattojen alustojen kosteusvaurioista johtuen tyypillistä muovimatoista aiheutuvaa kemikaalimaista hajua.

Kohteessa suoritettiin (11kpl) kosteusmittauksia päällysteen alta sekä PID-mittaukset samoista mittapisteistä. Mittauksissa käytettiin kosteusmittarina Vaisalan HMP42- ja HMP44- kosteusmittausantureita ja HMI41- näyttölaitetta, joiden mittatarkkuus on noin $\pm 2\%$. Lisäksi yhdestä mittapisteestä otettiin noin $0,5\text{m}^2$:n näytepala laboratoriossa suoritettavaa FLEC-mittausta varten. Mittapisteet mittauksia varten valittiin aikaisempien pintakosteusmittausten ja aistinvaraisten havaintojen perusteella. Vertailua mittauksiin haettiin valitsemalla osa mittapisteistä kuivemmista ja terveemmän oloisista kohdista.

Mittaukset tapahtuivat koulurakennuksen kellariosassa. Kohteessa oli koneellinen tulo- ja poistoilmanvaihto sekä lämmitysjärjestelmänä kaukolämpöön liitetty vesikiertoinen patterilämmitys. Alapohjarakenteena kellaritiloissa oli maanvarainen teräsbetoni-laatta. Lattiapäällysteenä oli yleisimmin muovimatto tai kvartsi-vinyylilaatta. Mittaukset suoritettiin muovimatto osuuksille.

Mittapisteet sijaitsivat viidessä eri huonetilassa, käyttötarkoituksiltaan väestönsuoja, varasto, työtila ja pukuhuone. Mittaukset suoritettiin 28.3.2013 ja mittauksia edeltävä pintakosteuskartoitus oli suoritettu 7.2.2013.

6.2 Mittaustulokset

PID-mittauksessa mitattiin huoneilman pitoisuus ja päällysteviillon kautta kosteusmittausten jälkeen muovimattojen alapuolisen tilan pitoisuudet. Lisäksi mittauksia täydennettiin aistinvaraisten hajun- ja näköhavaintojen perusteella. Tulokset mittapisteittäin on esitetty taulukossa 9.

TAULUKKO 9. Tulokset mittapisteittäin. Saman väriset mittapisteet sijaitsivat samoissa huonetiloissa.

Mittapiste	Sisäilman TVOC _{PID} [ppb]	Maton TVOC _{PID} [ppb]	RH-m [%]	T-m [C°]	Kost.-m [g/m ³]
K1	10	3500	94	19,2	15,2
K2	50	6700	96,1	19,6	16,2
K3	50	4100	98	20	17
K4	50	1400	87,7	15,1	11,3
K5	170	19700	98,4	13,8	11,7
K6	50	300	76,7	15	9,8
K7	10	300	88	14,2	10,8
K8	20	500	97,6	13,9	10,5
K9	25	7250	97	12,2	10,4
K10	10	3200	96,4	20,1	16,8
K11	30	3400	94,6	19,9	16,3

Havaintoina mittauksista oli, että korkean pitoisuuden omaava mittapiste myös haisi epätavalliselta ja usein mattoliima ei kohteessa enää ollut toimiva vaan matto oli käytännössä lähes irti. Verrattuna aikaisempiin mittauksiin, joissa PID-lukemat tekivät hetkellisiä nousupiikkejä ja laskivat huomattavasti, Case-kohteessa lukemat eivät tehneet hetkellisiä nousupiikkejä vaan käyttäytyivät tasaisesti. 5-10 sekunnin mittatulokset ei laskenut tasaantuneeseen tulokseen verrattuna vaan päinvastoin osassa lukema jatkoi tasaista nousua. Tämä antaa viitettä siitä, että päästöjen määrät olisivat runsaita ja voisivat olla peräisin päällysteen hajoamisreaktiosta.

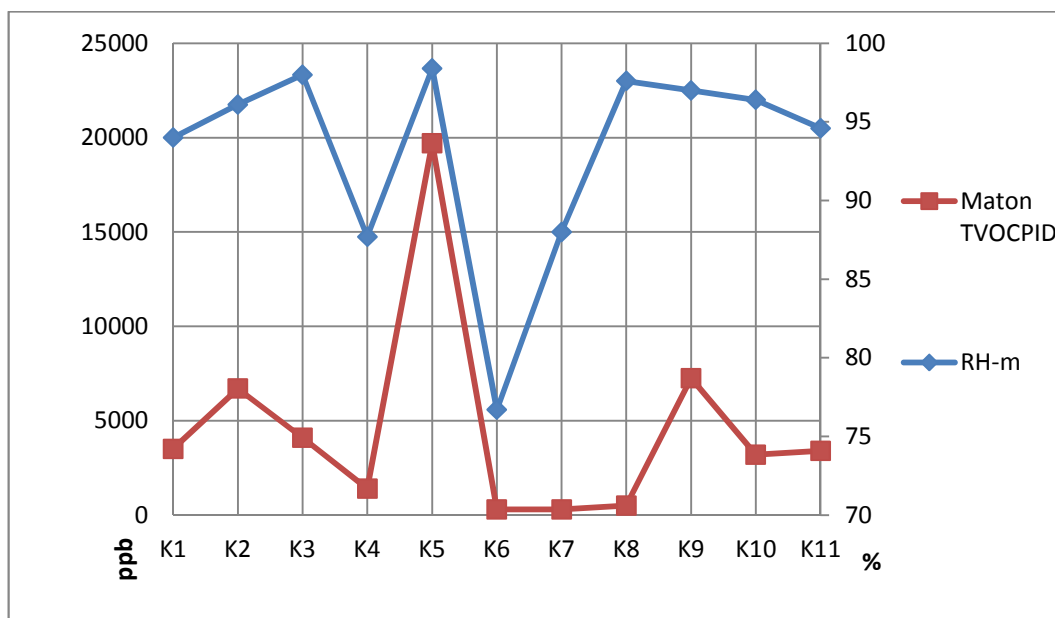
Mittapisteessä K5 oli havaittavissa selviä värimuutoksia muovimatossa ja tasoitteessa (kuva 14). Hajuhavaintona oli erittäin voimakas kemikaalinen haju. Tästä mittapisteestä saatiin myös poikkeuksellisen suuri pitoisuus 19700ppb:tä ja tästä syystä mittapisteestä otettiin materiaalinäytepala laboratoriotutkimuksia varten. Myös huoneilman PID-lukema oli mittapisteen kohdalla korkeampi kuin muissa pisteissä (170ppb). Silti huoneilman pitoisuus jäi alle 500ppb:n, joka on rajana poikkeavalle lukemalle.



KUVA 14. Mittapiste K5. Selviä värimuutoksia matossa ja tasoitteessa.

Kosteusmittaustuloksiin verrattaessa, suurimman pitoisuuden omaava mittapiste K5 sai myös suurimman suhteellisen kosteuden (RH) (ks. kuvio 10). Vesihöyrypitoisuus ei kuitenkaan ollut suurin ja lämpötila oli myös matala (ks. kuviot 11 ja 12)

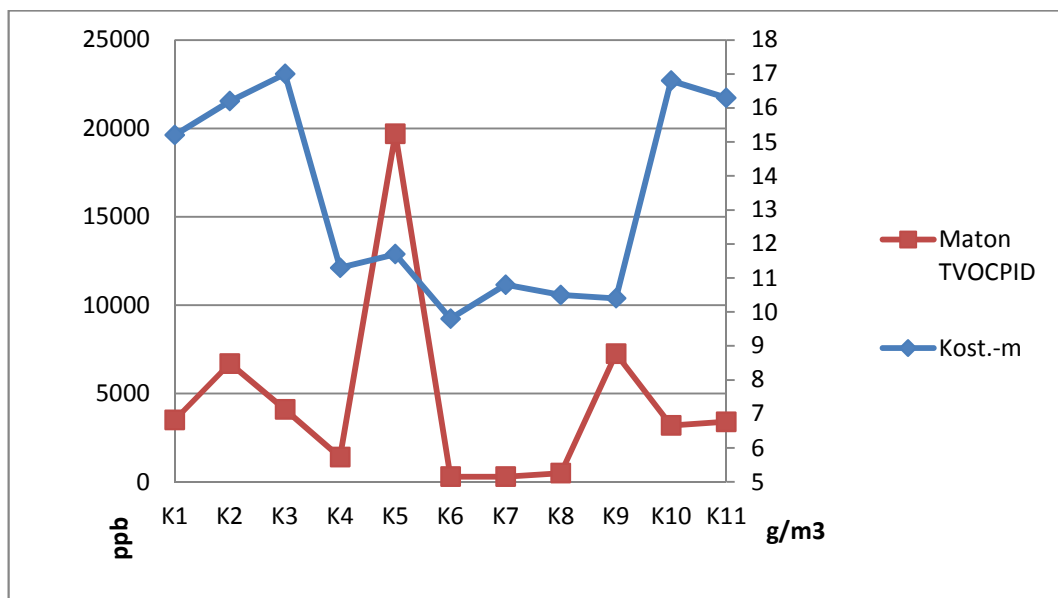
Suhteellinen kosteus RH kertoo prosentuaalisesti (%) paljonko kyseisen ilman sisältämä kosteus on sen kyllästyskosteudesta /34/. Kuviosta 10 näkyy, että kaikissa mittapisteissä lukuunottamatta pistettä K6, RH oli yli 85%. Mittapisteen K6 PID-lukema jäi myös alhaiseksi. Tämä piste olisi kosteuden ja PID-lukeman kannalta terve.



KUVIO 10. Case-kohteen PID-lukeman ja suhteellisen kosteuden vertailu. Mittapisteet vaak akselilla.

Mittapisteissä, joissa RH ylitti lukeman 85%, eivät PID-lukemat kuitenkaan välttämättä olleet korkeita (vrt. mittapisteitä K7 ja K8). Kuitenkin pääsääntöisesti määrät mittapisteet antoivat korkeampia lukemia kuin esimerkiksi kuivin kohta (K6), jossa lukema jäi vain 300 ppb:hen. Suurimman PID-lukeman saanut

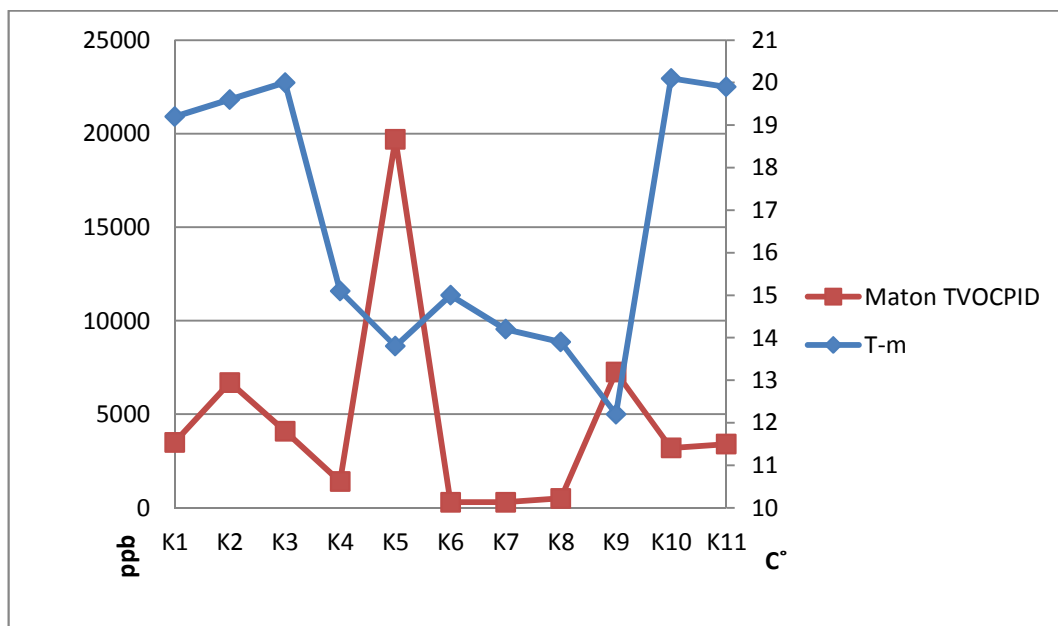
mittapiste K5 omaisi myös suurimman RH:n. Kohteesta ei kuitenkaan löytynyt mittapisteen K7 lisäksi selvästi kuivia vertailukohtia. Kuviossa 11 on verrattu näytteiden vesihöyrypitoisuutta PID-lukemaan.



KUVIO 11. PID-lukeman vertailu vesihöyrypitoisuuksiin. Mittapisteet vaakakselilla.

Vesihöyrypitoisuus kertoo, kuinka paljon vettä grammoina esiintyy m³:sta ilmaa /34/. Lukema kertoo alustan todellisesta kosteustilanteesta. PID-lukemaa ja vesihöyrypitoisuutta vertaillessa sekä aikaisempia tutkimuksia hyödyntäen ei tuloksista löydetty yhtäläisyyttä.

Selvästi matalimmat PID-tulokset kuitenkin saatiin mittapisteistä K6, K7 ja K8, jotka olivat myös vesihöyrypitoisuuksiltaan matalimmat. Hajuhavainnot olivat myös heikompia näissä mittapisteissä ja matto oli kiinni alustassa huomattavasti paremmin kuin muissa mittapisteissä.



KUVIO 12. PID-lukeman vertailu lattian lämpötilaan.

Lämpötila vaikuttaa siihen paljonko vettä höyrynä sopii ilmaan /34/. Matalimmat lämpötilat mitattiin mittapisteistä K5 ja K9. Näissä pisteissä oli myös suurimmat PID-lukemat. Nämä mittapisteet sijaitsivat molemmat ulkoseinän läheisyydessä, mikä vaikutti lämpötilaan. Kalkkihiiekkatiilistä muuratussa seinässä oli havaittavissa selviä kosteuden aiheuttamia vaurioita (Kuva 15).

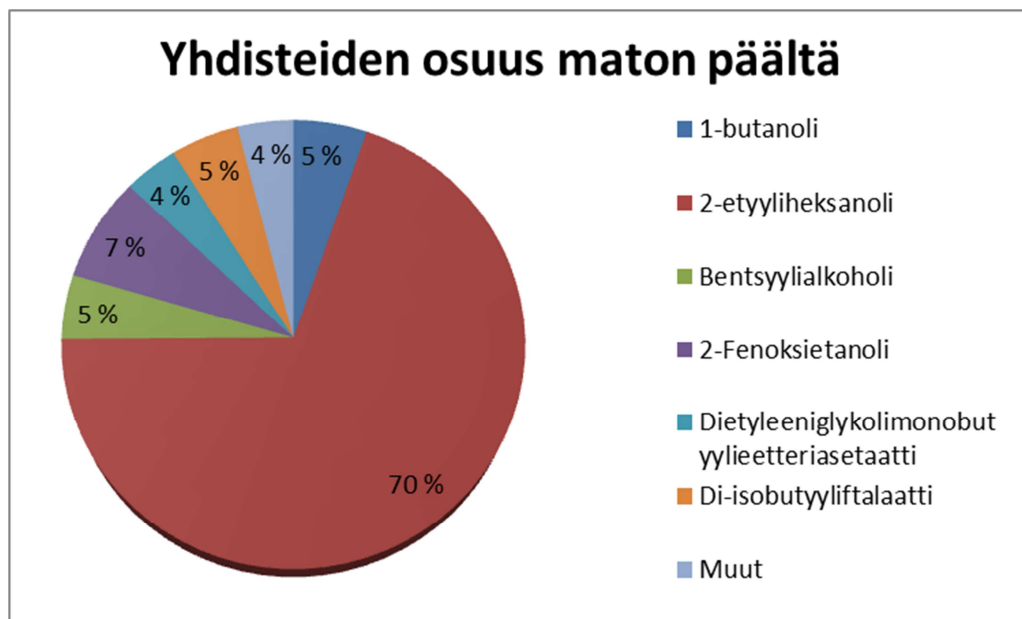


KUVA 15. Kuvassa mittapisteiden K5 ja K9 läheisyydessä oleva ulkoseinä, jossa havaittavissa kosteusvaurioita. Kuva: Jukka Huttunen.

6.3 FLEC-vertailunäyte

Mittapisteestä K5 otettu näytepala vietiin Vaasan ammattikorkeakoulun Technobothian laboratorioon tarkempia VOC-mittauksia varten. Tavoitteena oli selvittää FLEC-menetelmällä, mitä yhdisteitä näytteessä esiintyi. Erityisesti mielenkiinnon alla yhdisteistä oli indikaattoriyhdisteinä pidetyt 2-etyyli-1-heksanoli ja 1-butanoli. Tarkkojen tulosten saamiseksi tulisi FLEC-mittaus suorittaa kohteessa paikan päällä.

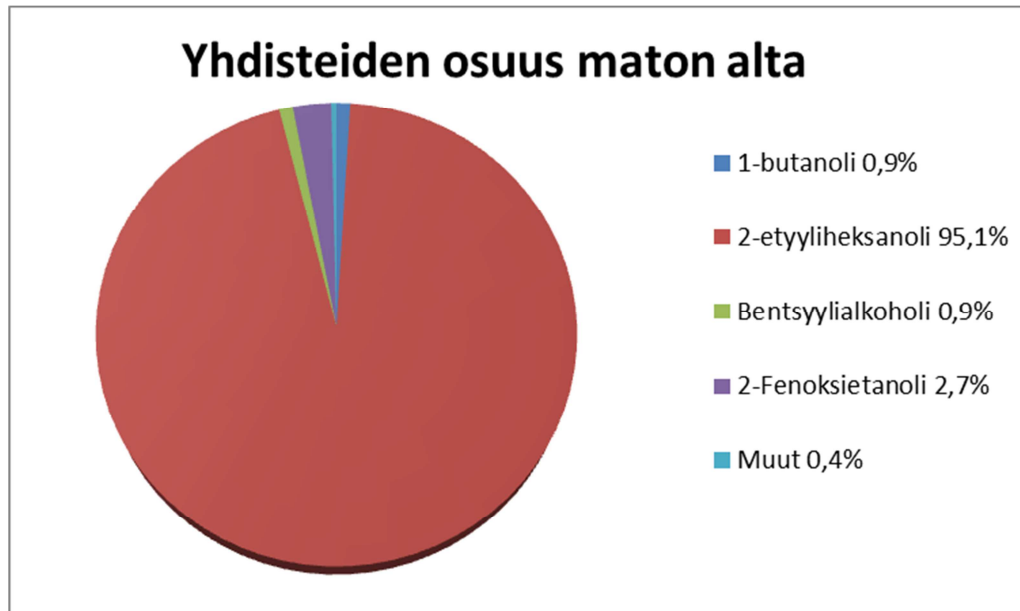
Maton päältä FLEC-menetelmällä mitattuna TVOC lukemaksi saatiin 1070 ng/m²h ja alta 55617 ng/m²h. Yhdisteiden suhteelliset osuudet tuloksista on kuvattu kuvioissa 13 ja 14.



KUVIO 13. FLEC-tulokset maton päältä. TVOC 1070 ng/m²h.

Kuviosta 13 näkyy, kuinka 2-etyyli-1-heksanolin suhde tuloksesta oli 70% ja 1-butanolin 5% maton päältä mitattuna. TVOC-lukeman suuruudesta ja indikaattoriyhdisteiden osuudesta varmistui, että matossa oli selvä vaurio.

Tulokset maton päältä mitattuna eivät kuitenkaan mittaa samaa tilannetta kuin PID-mittaus. Kuvion 14 tulokset kertovat maton alapuolisen tilan pitoisuuksista.



KUVIO 14. FLEC-tulokset maton alta. TVOC 55617 ng/m²h.

Kuviosta 14 näkyy, kuinka 2-etyyli-1-heksanolin suhde tuloksesta oli 95% maton alta mitattuna. TVOC-lukeman suuruus korreloi PID-mittauksesta saatua korkeaa tulosta.

FLEC-tuloksiin verrattaessa PID-mittarin kyky havainnoida vaurioita on mahdollinen. Tässä näytteessä vaurio oli kuitenkin selvästi havaittavissa. Lisää FLEC-vertailuja tulisi tehdä näytteisiin, joissa vaurio ei ole yhtä selkeä. Lisäksi tarkennusmittauksia tulisi tehdä kohteisiin, jotka varmuudella tiedetään olevan kunnossa. Laitteen kykyyn havainnoida ongelmia tulee sisältyä myös kyky poissulkea ongelmat, eli todeta kohde varmuudella terveeksi.

7 POHDINTA JA JOHTOPÄÄTÖKSET

Tutkittaessa fotoionisaatiodekektorin käyttösovelluksia kunto- ja sisäilmatutkimuksessa saatiin selville, että laite on käyttökelpoinen työkalu muovimattojen kunnan tutkimisessa. Tutkimuksissa päädyttiin siihen tulokseen, että PID-mittari soveltuu mattojen kuntotutkimukseen kosteusmittausten yhteydessä. Mittaus on helppo suorittaa ja tulokset saadaan heti. Silti tuloksia ei voida yksinään käyttää tulkintojen tekoon vaan ne ovat osana kosteusmittauksia ja aistinvaraisia havaintoja. Kosteusmittaus ei kuitenkaan yksinään selvitä tilantetta, jossa on esimerkiksi tehty muovimattojen vaihtotyö ja edellisestä matosta on imeytynyt päästöjä betoniin. Tällaisessa tilanteessa PID-mittarilla voitaisiin nopeasti selvittää, onko tilanteessa mahdollisesti ongelmaa vanhoista päästöistä.

Tulosten tulkintaan saatiin määritettyä alustaviksi raja-arvoiksi terveille matoille 500ppb:tä, kohonneina pitoisuuksina voidaan pitää 500-1500ppb:tä ja 1500ppb:n rajan ylittävät tulokset alkavat olemaan vaurioita. Jatkotutkimuksia raja-arvojen täsmentämiseen kuitenkin täytyy vielä tehdä, esimerkiksi ottamalla FLEC-mittauksia ja PID-mittauksia vierekkäin.

Sisäilman pitoisuuksien ja tätä kautta ongelmalähteiden etsinnässä laite ei tutkimusten perusteella ole toimivin. Vaurioituneet materiaalit, tai muut oireiluita aiheuttavat yhdisteet voivat olla pitoisuuksiltaan niin pieniä etteivät ne PID-laitteen tuloksessa tuota merkittävää pitoisuutta. Lisäksi voimakas ilmankierto aiheuttaa mittauksessa häiriötä vaikeuttaen mittaussuoritusta.

Materiaaliemissioiden tutkinta työssä oli kokeiluluonteista. Alustavista kokeiluista hyödynnettäväksi tulokseksi saatiin, että PID-laitteen kyky havainnoida kosteusvaurioita erilaisissa rakenteissa on mahdollinen. Materiaalinäytteistä erityisesti kosteusvaurion havainnointi puumateriaalissa oli hyödynnettävissä. Tuloksissa löytyi selviä eroja terveen ja kosteusvaurioituneen näytekappaleen välillä. Lämpötilan vaikutus materiaaliemissioihin tuli työn aikana todettua niitä kiihdyttäväksi.

Mittaustapahtuma tulisi suorittaa aina niin, että ulkoisten tekijöiden vaikutus mittatulokseen pystytään minimoimaan. Porareiän, tai tiivistetyn viillon kautta saadaan mittaustilanteista samankaltaisia ja vähennetään virheiden mahdollisuutta.

Näytekappaleiden kuljettamiseen ja säilyttämiseen työn perusteella sopivimmat materiaalit ovat lasiset tiiviit astiat, kaasutiivis muovipussi, jossa näyte käärittynä folioon ja teräksiset tiiviit astiat.

Viiltomittausmenetelmän parantamiseksi ja tarkentamiseksi voitaisiin jatkokehittää seuraavaa: PID-mittarin pumpun ulostuloaukko mahdollistaa poistuvan ilman kierrättämisen (esimerkiksi sopivan liitännän avulla) takaisin viiltoon. Tällaisella menettelyllä pumppu kierrättää pelkästään maton alapuolista ilmaa, eikä tuo huoneilmaa maton alle. Viilto ei tuuletu pienentäen ajan kanssa pitoisuuksia, eivätkä huoneilmassa mahdollisesti esiintyvät pitoisuudet vaikuta mittaustulokseen.

LÄHTEET

- /1/ Application Note AP-000. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 15.12.2012.] Saatavilla internetissä:
http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/AP-000_PID_Training_Outline.pdf
- /2/ Application Note AP-203. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 15.12.2012.] Saatavilla internetissä:
http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/FeedsEnclosure-AP-203_PIDs_and_HazMat.pdf
- /3/ Application Note AP-207. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 26.2.2013.] Saatavilla internetissä:
http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/FeedsEnclosure-AP-207_PIDs_and_Arson.pdf
- /4/ Application Note AP-212. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 26.2.2013.] Saatavilla internetissä:
http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/FeedsEnclosure-AP-212_Indoor_Air_Quality.pdf
- /5/ Application Note AP-219. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 26.2.2013.] Saatavilla internetissä:
http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/FeedsEnclosure-AP-219_PIDs_for_LEL.pdf
- /6/ Application Note AP-226. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 26.2.2013.] Saatavilla internetissä:
http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/FeedsEnclosure-AP-226_PID_vs_FID_Comparison.pdf
- /7/ Björklöf, K., Mäkinen, I., Westerholm, H., Nikunen, S., Jørgensen, K., Korhonen, K., Jaakkonen, S., Pyy, O. Näytteenotto polttoaineella pilaantuneesta maaperästä. 2009. Suomen ympäristö. [viitattu 20.2.2013.] Saatavilla internetissä:
<http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=110718&lan=fi>
- /8/ Erittäin haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VVOC) ja haihtuvat orgaaniset yhdisteet (VOC). Ositum Oy:n verkkosivut. [viitattu 20.2.2013.] Saatavilla internetissä:
<http://www.ositum.fi/index.php?p=HaihtuvatorgaanisethiilivedytV>
- /9/ European collaborative action. 1997. Indoor air quality & its impact on man. Total volatile organic compounds (TVOC) in indoor air quality investigations. Report No 19.

- /10/ Haahtela, T., Nordman, H., Talikka, M. 1993. Sisäilma ja terveys. Loimaan kirjapaino Oy. Allergialiitto.
- /11/ Haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Työterveyslaitoksen verkkosivut. [viitattu 20.2.2013.] Saatavilla internetissä: [.http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistot/ekijat/sisailman_epapuhautudet/voc/vocmittaus/sivut/default.aspx](http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/sisaymparistot/ekijat/sisailman_epapuhautudet/voc/vocmittaus/sivut/default.aspx)
- /12/ Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Työsuojeluhallinnon verkkosivut. [viitattu 3.4.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.tyosuojelu.fi/fi/HTP-arvot/>
- /13/ Hajapäästöjen tutkimukset. SGS-Finland:n verkkosivut. [viitattu 23.3.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.sgs.fi/fi-FI/Industrial-Manufacturing/Quality-Health-Safety-and-Environment/Environment/Air-Dust-Noise-Odor-and-Vibration/Fugitive-Emission-Studies.aspx>
- /14/ Heiskari, J. Ramboll Oy:n ympäristösuunnittelijan sähköpostihaastattelu 3.4.2013.
- /15/ International Organization for Standardization (ISO). 2006. 16000-9:2006(E) Indoor air. Part 9: Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing. Emission test chamber method.
- /16/ International Organization for Standardization (ISO). 2007. ISO 16000-5:2007[e]. Indoor Air – Part 5: Sampling strategy for volatile organic compounds (VOCs)
- /17/ Järnström, H. (2005) Muovimattopinnoitteisen lattiarakenteen VOC-emissiot sisäilmaongelmatapauksissa. VTT Publications 571. Espoo: VTT Rakennus- ja yhdskuntatekniikka.
- /18/ Katsaus mikrobeihin. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. [viitattu 12.3.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/kosteusvauriot/mikrobit/katsaus_mikrobeihin/
- /19/ Kemialliset tutkimukset. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. [viitattu 3.2.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/ongelmien_tutkiminen/muut_sisailmatutkimukset/kemialliset_tutkimukset/
- /20/ Kreosootti asuintiloissa. Kreosootti verkkosivut. [viitattu 13.3.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.kreosootti.com/kreosootti>
- /21/ L 10.9.1999/895. Maankäyttö- ja rakennusasetus. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/1999/19990895>

- /22/ L 23.8.2002/738. Työturvallisuuslaki. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. <http://www.finlex.fi/fi/laki/ajantasa/2002/20020738>
- /23/ L 5.2.1999/132. Rakennusmääräyskokoelma, osa D2. Säädös säädöstietopankki Finlexin sivuilla. http://www.finlex.fi/data/normit/37187-D2-2012_Suomi.pdf
- /24/ Lapinlampi, T. TTL:n Työhygieenikon sähköpostihaastattelu 8.4-15.4.2013
- /25/ Merikallio, T., Niemi, S., Koponen, J. Betonilattiarakenteiden kosteudenhallinta ja päällystäminen. Helsinki: Suomen betonitieto Oy. 2007
- /26/ Mikrobin terveyshaitat. Sisäilmayhdistyksen verkkosivut. [viitattu 12.3.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.sisailmayhdistys.fi/portal/terveelliset_tilat/terveysvaikutukset/mikrobien_terveyshaitat/
- /27/ Närhi, I. Etelä-Pohjanmaan ELY-keskuksen hydrogeologin sähköpostihaastattelu 21.3.2013.
- /28/ Photoionization detectors (PIDs). MSA. PDF-tiedosto. [viitattu 25.2.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.approvedgasmasks.com/sirius-PIDwhitepaper.pdf>
- /29/ PID-mittaukset ohje. 22.8.2012. IdeaStructura Oy.
- /30/ Pilaantuneen maaperän kunnostaminen – konsultin näkökulma. 25.11.2008. Heiskari, J. WSP Environmental Oy. [viitattu 20.2.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=95680>
- /31/ Polymeerien valmistus. Euroopan komissio. 2006. [viitattu 5.4.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.ymparisto.fi/download.asp?contentid=93432>
- /32/ ppbRae. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 20.1.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.ierevents.com/Spec%20Pages/ppbrae.pdf>
- /33/ Pönkä, A. 2002. Terveydensuojelu. Jyväskylä. Suomen ympäristöterveys Oy.
- /34/ Rakennusfysiikkaa lämpökuvaajille. Tapio Korkeamäki. Hämeen ammattikorkeakoulu. [viitattu 3.4.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.kuntoarviot.net/files/8047.pdf>
- /35/ Rakennusmateriaalien päästoluokitus. 2009. Ympäristöministeriö. [viitattu 5.1.2013.] Saatavilla internetissä: <http://www.ymparisto.fi/default.asp?contentid=252074>

- /36/ Rakennustietosäätiö RTS. 2008. Sisäilmaluokitus 2008. Rauma. Sisäilmayhdistys RY.
- /37/ Rundt, A., Backlund, P., Paakkola, K. Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. Työterveyslääkäri 2 (2005)
- /38/ Ruotsainen, R., Palonen, J., Jokiranta, K., – Seppänen, O. Sisäilmaston kuntotutkimus. Espoo: Suomen LVI-yhdistysten Liitto ry. 1997
- /39/ Sisäilma ja sisäympäristö. 2011. Työterveyslaitos. PDF-tiedosto. [viitattu 20.1.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/Documents/Viitearvoja.pdf
- /40/ Sisäilma.VOCit. Työterveyslaitos. PDF-tiedosto. [viitattu 26.3.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.sisailmayhdistys.fi/attachments/laitinen_sirpa_tyoterveyslaitos.pdf
- /41/ Sisäilman 2-etyyli-1-heksanoli. Työterveyslaitoksen verkkosivut. [viitattu 12.2.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.ttl.fi/fi/tyoymparisto/sisailma_ja_sisaymparisto/terveydelliset_tekijat/sisailman_2eh/sivut/default.aspx/
- /42/ Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. Terveysportin verkkosivut. [viitattu 15.3.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.terveysportti.fi/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=ttl00208
- /43/ Sisäilmaopas. Allergia- ja astmaliitto. PDF-tiedosto. [viitattu 20.3.2013.] Saatavilla internetissä: http://www.heli.fi/content/Julkaisut_materiaalit/Sisailma_ja_korjausoppaat/Sisailmaopas_web.pdf
- /44/ Sosiaali- ja terveysministeriö. 2009. Asumisterveysopas. Vaasa. Ympäristö ja terveys-lehti.
- /45/ Säteri J., Backman H. Sisäilmastoseminaari 2011. Jyväskylä. 2011. Sisäilmayhdistys ry. Aalto-yliopisto, Energiatekniikan laitos.
- /46/ Technical Note TN-106. 2010. RaeSystems. PDF-tiedosto. [viitattu 15.11.2012.] Saatavilla internetissä: http://www.raesystems.com/sites/default/files/downloads/FeedsEnclosure-TN-106_Correction_Factors.pdf
- /47/ Tilastoaineistoon perustuvan raportoinnin viitearvot. 16.10.2012. Ositum Oy. [viitattu 15.11.2012.]

- /48/ What does ppm or ppb mean?. NESCEngineering Scientist verkkosivu..
[viitattu 1.2.2013.] Saatavilla internetissä:
<http://www.nesc.wvu.edu/ndwc/articles/ot/fa04/q&a.pdf>
- /49/ VOC-lausuntopyyntö. 2011. Valvira. PDF-tiedosto. [viitattu 15.1.2013.]
Saatavilla internetissä:
http://www.valvira.fi/files/tiedostot/v/o/VOC_lausunto_ESAVI.pdf
- /50/ VOC-päästöt. Hengitysliiton verkkosivut. [viitattu 25.3.2013.] Saatavilla
internetissä: <http://www.heli.fi/Hengitysilma/Sisailma/Muita-sisailmaongelmia/VOC-paastot/>
- /51/ Wolkoff, P. 1995. Volatile Organic compounds. Indoor Air.Suppl.3
- /52/ World Health Organization (WHO). Indoor air quality: organic pollutants.
EURO Reports and Studies No. 111. Copenhagen: WHO Reg. Office for
Europe. 1999.
- /53/ Tuomi, T. Asumisterveysohjeen mukaiset kemialliset analyysit. 2012.
Työterveyslaitos. PDF-tiedosto. [viitattu 2.2.2013.] Saatavilla internetissä:
http://www.ttl.fi/fi/koulutus/perjantaimeetingit/Documents/VOC-mittausten%20k%C3%A4ytt%C3%B6%20ja%20tulkinta_TapaniTuomi.pdf
- /54/ Terveydenhuollon laadunhallinta. Valvira 2/1999 Lääkelaitoksen
julkaisusarja. PDF-tiedosto. [viitattu 26.2.2013.] Saatavilla internetissä:
http://www.valvira.fi/files/tiedostot/l/h/LH-1999-2_terveydenhuollon_laitteiden_kalibrointi.pdf

PID-mittaus muovimattojen kuntotutkimuksessa**Ohje 4.4.2013****1. Viiltomittaus**

PID-mittaus suoritetaan kosteusmittausten ja aistivaraisten havaintojen yhteydessä muovimattojen kunnan selvittämiseksi. PID-mittari mittaa muovimatoista haihtuvia orgaanisia yhdisteitä ja ilmoittaa niiden kokonaispitoisuuden. Näiden tietojen avulla pystytään analysoimaan muovimattojen tilaa ja niiden vaikutuksia sisäilman laatuun.

2. Esivalmistelut

Laite tulee kalibroida aina ennen uuden mittatapahtuman alkua. Kalibrointi tulee suorittaa mittatilanteessa, tai tilannetta vastaavissa olosuhteissa. Kalibrointikaasun ja PID-mittarin tulee olla lämpötilaltaan mittatilannetta vastaava. Lisäksi ennen laitteen käynnistämistä, tulee laitteen antaa lämmitä huoneenlämpöiseksi. Näin ehkäistään kosteuden kondensoituminen UV-valolähteen pinnalle.

3. Mittausten taajuus ja kohdistaminen

Mittauksista tehdään suunnitelma etukäteen. Mittapisteet valitaan pintakosteusmittausten ja aistinvaraisten havaintojen perusteella. Jokaisesta kohteesta olisi tarpeellista ottaa vertailua varten erikseen kostea ja kuiva mittapiste.

4. Mittaustapahtuma

Muovimattoon tehdään mattoveitsellä, tai puukolla noin 10cm viilto. Viillon kautta otetaan ensin kosteusmittaus, jolla todetaan lattian kosteustilanne. PID-mittarilla mitataan mittatilan ilman VOC-pitoisuus ja kirjataan ylös.

Tämän jälkeen viiltoon asetetaan PID-mittausta varten mittaputket. Viillon ja putkien välinen tila tiivistetään huolellisesti. Mittaputkien kautta mitataan maton alapuolisen tilan pitoisuus. Mittalukemista kirjataan ylös 5-10s aikana mittarin

ilmoittama lukema, jonka jälkeen lukeman annetaan tasaantua niin, että lukema viiptyy. Tämä lukema kirjataan myös ylös.

5. Tulosten tulkinta

Selkeitä viranomaisten määrittelemiä ohjearvoja muovimattorakenteiden PID-mittaus tuloksille ei tätä kirjoittaessa ole olemassa. Seuraavat alustavat tulkinnat perustuvat opinnäytetyön aikana toteutettuihin mittauksiin.

Mattojen päästöjen määriä voidaan pitää runsaina, jos mittalukema nousee tasaisesti, tai pysyy koko mittatapahtuman ajan tasaisesti korkeana. Tällaisessa tilanteessa päästöt voivat todennäköisesti olla peräisin hajoamisreaktioista. Laskeva tulos taas kertoo määrällisesti vähäisemmistä päästöistä. Nämä kaksi tilannetta on syytä huomioida analysoinnissa. Lisäksi mittatilan ilman VOC-pitoisuudet tulee ottaa huomioon tulkinnassa.

Mikäli mittaustulokset ovat $<500\text{ppb}$, voidaan muovimaton tilaa pitää terveenä, eikä jatkotoimenpiteitä tarvita. Huomioitava on kuitenkin myös kosteus tilanne.

Mikäli tulokset ovat $>500\text{ppb}$ ja $<1500\text{ppb}$, tehdään tarkentavia PID- ja kosteusmittauksia sekä aistinvaraisia havaintoja.

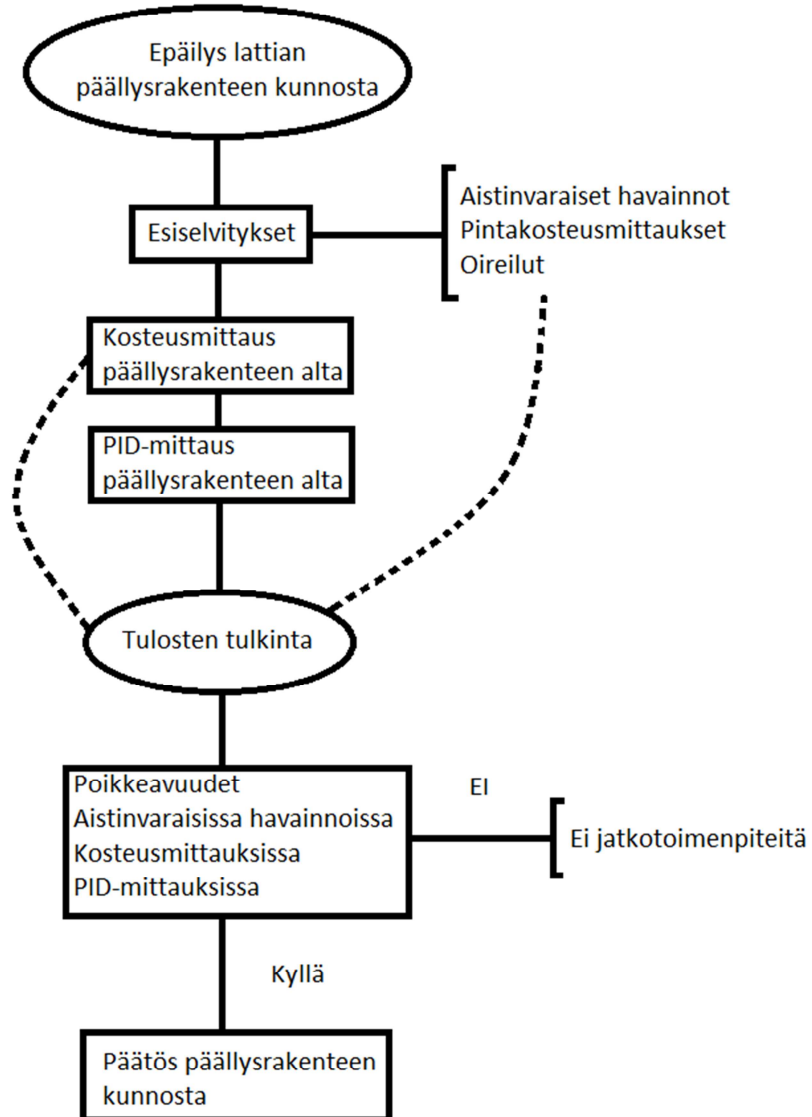
Mikäli tulokset ovat $>1500\text{ppb}$, voidaan rakenteen olettaa olevan vaurioitunut, riippumatta kosteus tilanteesta.

Kohteessa, jossa lattiamatot ovat vaihdettu ja kosteus tilanne matala, voivat korkeat PID-lukemat viitata betoniin jääneistä kemikaaleista. Tämä on syytä

huomioida

selvittäen

taustatiedot.

PID-mittaus osana lattian päällysrakenteen kunnan selvittämistä

Mittaukseen liittyviä ohjeistuksia

Mittatilanteiden yhtenäistämiseksi mittaus suoritetaan seuraavanlaisessa järjestyksessä:

1. Laitteen käynnistäminen sen ollessa lämpötilaltaan => tilanteen lämpötila.
2. Nollatason kalibrointi aktiivihiilisuodattimen läpi raikkaassa ulkoilmassa.
3. Tunnetun kaasun tason kalibrointi mittatilannetta vastaavissa olosuhteissa.
4. Mittaustavasta riippuen valmistelut mittausta varten.
5. Mittaaminen puhtailla välineillä, kun valmistelut suoritettu.
6. Tuloksista kirjataan ylös vähintään ympäröivän ilmatilan pitoisuus ja mittakohteen pitoisuus.
7. Mittavälineiden puhdistaminen mittaustapahtuman jälkeen.

Mittauksissa käytettävät letkut ja putket tulee olla teräksisiä, lasisia tai teflon pinnoitettuja muoviputkia. Jos mittauksissa käytetään Tygon- tai kumiletkuja, on suositeltavaa vaihtaa letkut säännöllisesti uusiin ja puhdistaa käytetyt letkut.

Mittauksen apuna voidaan käyttää tiivistysmassoina valkotarraa tai MAL-kit:iä. Tiivistysmateriaalit tulee puhdistaa mittauksen jälkeen ja uusia säännöllisin väliajoin.

Mittaajan tulee välttää hajusteiden käyttöä ja tupakointia, sillä ne voivat aiheuttaa virhettä tuloksiin.

Korkeita pitoisuuksia mitattaessa PID-mittarilla voi kulua aikaa palautua normaaliin lukemaan mittauksen jälkeen. Puhtaassa ilmassa tuulettaminen nopeuttaa palautumista. Jos mittari ei tasaannu, se voidaan sammuttaa, jonka jälkeen tarvittaessa kalibroida uudestaan. Suodatin ja mittaletkut voivat myös imeä yhdisteitä ja vaikuttaa tulokseen. Nämä tulee vaihtaa, jos laitteen mittalukema ei palaudu.

Mittaaminen pistemittaustilassa mahdollistaa huolellisen tiivistyksen ja muiden toimenpiteiden suorittamisen ennen kuin PID:n pumppu kierrättää ilmaa mittaushetkellä.

Jatkuvatilaisessa mittaamisessa tiivistykset ja muut toimenpiteet tulee tehdä valmiiksi ennenkuin PID-mittari asetetaan mittapisteeseen.

Kosteusmittaukset samasta mittapisteestä tulee tehdä aina ennen PID-mittausta, sillä laitteen pumppu kierrättää ilmaa poistaen kosteutta.

Korjauskertoimien valinta laitteessa on mahdollista, mutta korjauskerronta on mahdollista myös jälkeenpäin jos niiden käytölle on tarvetta.

Kalibrointiin liittyviä ojeistuksia

Mittalaitteen kalibrointi suoritetaan nollassoon (Zero Cal) puhtaalla ilmalla sekä tunnetun kaasun tasoon (Span Cal) yleensä isobutyleenikaasulla.

Mikäli mittaustilanteessa tullaan käyttämään kosteussuodatinta, tulee suodattimen olla paikoillaan jo kalibrointivaiheessa. Suodatin tulee olla puhdas ja tiiviisti kiinnitettynä mittakärkeen.

Kalibrointikaasun lämpötilan tulee vastata mittaustapahtuman lämpötilaa. Kaasupullon annetaan tasaantua lämpötilaltaan mittaustapahtumaa vastaavaksi ennen kalibroinnin aloitusta.

Ennen PID-mittarin käynnistämistä tulee laitteen lämpötilan olla yhtä kuin ympäröivä ilmatila tai lämpimämpi. Kylmän laitteen UV-lampun pinnalle tiivistyy kosteutta, joka vaikuttaa kalibrointiin sekä mittaustuloksiin.

Nollasson määrittäminen tapahtuu aktiivihiilisuodattimen läpi puhtaassa ulkoilmassa. Aktiivihiilisuodatin on suositeltavaa vaihtaa neljän kalibroinnin jälkeen. Kalibrointi paikaksi valitaan alue, jossa ei esiinny huomattavia epäpuhtauksia kuten esimerkiksi pakokaasuja.

Tunnetun kaasun tason määrittämisessä kaasu johdetaan kalibrointikaasupullosta mittalaitteeseen kalibrointiadapterin avulla. Kalibrointiadapterin välissä oleva Tygon-letku tulee pitää puhtaana, eikä sitä saa erikseen käyttää mittauksissa. Letkun tulee olla tiivisti kiinnitetty mittakärkeen sekä kalibrointiadapteriin.

Kalibroinnin aloittaminen:

1. Paina N/- ja MODE-näppäimiä yhtäjaksoisesti noin kolmen sekunnin ajan.
2. Valikon vaihtoehtoja selataan N/- näppäimellä ja valitaan Y/+ näppäimellä. Tarvittaessa MODE-näppäimellä pääsee normaalikäyttöön.
3. Valitse valikosta ”Calibrate/select Gas?”.

Nollatason kalibrointi:

4. Aseta aktiivihiilisuodatin ja mahdollinen kosteussuodatin mittakärkeen.
5. Valitse puhdas alue, jossa kalibrointi suoritetaan.
6. Valitse valikosta ”Zero Cal?”.
7. Nollatason kalibrointi kestää noin 15 sekuntia.

Tunnetun kaasun kalibrointi:

8. Kytke mittalaite kalibrointiadapterin avulla kalibrointikaasulähteeseen.
9. Valitse ”Span Cal?”.
10. Kun laitteen näytössä lukee ”Apply gas now!”, avaa kalibrointikaasun tulo.
11. Kun kalibrointi on suoritettu, laitteessa lukee ”Span Cal Done! Turn Off Gas”.
12. Sulje kaasuvirta ja poista kalibrointiadapteri laitteesta.
13. Painamalla MODE-näppäintä pääset takaisin normaaliin mittaustilaan.