

Tehostesavujen haitalliset keuhko- ja verisuonivaikutukset ja niiden torjunta

RAPORTTI TYÖSUOJELURAHASTOLLE (NUMERO 112091),
PALOSUOJELURAHASTOLLE JA VALTIONKONTTORILLE



Työterveyslaitos, Työympäristön kehittäminen osaamiskeskus:

Juha Laitinen, Mika Jumpponen ja Pirjo Heikkinen,

Työterveyslaitos, Terveys ja Työkyky osaamiskeskus :
Harri Lindholm, Tuula Lindholm, Heli Sistonen ja Janne Halonen

Työterveyslaitos

Työhygieniä -tiimi

Fyysinen toimintakyky -tiimi

Topeliuksenkatu 41 a A

00250 Helsinki

www.ttl.fi

Valokuvat: Mika Jumpponen ja Juha Laitinen

Kansi: Mainostoimisto Albert Hall Finland Oy Ltd

© 2015 Työterveyslaitos ja kirjoittajat

Julkaisu on toteutettu Työsuojelurahaston, Palosuojelurahaston ja Valtiokonttorin tuella. Lisäksi rahoitukseen ovat osallistuneet Työterveyslaitos, Suomen Kansallisooppera, Yleisradio, Tampereen Työväen Teatteri, Pelastusopisto, Svenska Teatern, Suomen Kansallisteatteri, Tampereen Teatteri ja Kaupunginteatterit Jyväskylästä, Kuopiosta, Seinäjoelta, Oulusta, Turusta ja Lahdesta.

Tämän teoksen osittainenkin kopiointi on tekijänoikeuslain (404/61, siihen myöhemmin tehtyine muutoksineen) mukaisesti kielletty ilman asianmukaista lupaa.

ISBN 978-952-261-536-7 (nid.)

ISBN 978-952-261-537-4 (PDF)

JUVENES PRINT –SUOMEN YLIOPISTOPAINO OY 2015

ESIPUHE

Tämä tutkimus sai alkunsa Työsuojelurahaston rahoittaman ”Paukkupatruunoiden melutasot, STM:n musiikki ja viihdealan käytännösäännöt” –hankkeen jälkimainingeista, jossa selvitettiin melutasoja ja niiden hallintaa erilaisissa esitystilanteissa. Hankkeen johdossa ollut Tampereen Työväen Teatterin erikoistehostemestari Esa Heikkinen näki tärkeänä myös selvittää näyttämöillä käytettävien tehostesavujen mahdolliset haittavaikutukset tekniseen henkilökuntaan ja esiintyjiin. Näin ollen Esa ansaitsee erikoismaininnan hankkeen tutkimusidean luomisesta ja erittäin aktiivisesta osallistumisesta tutkimushankkeen toteuttamiseen. Tutkimusryhmä haluaa kiittää myös hankkeen johtoryhmän jäseniä: Kaarina Kuismaa ja Jussi Pitkästä Suomen Kansallisoopperasta, Ismo Huttua ja Esa Kokkia Pelastusopistolta, Rauli Kovalaista Tampereen Työväen Teatterista sekä Kari Lehtistä, Anki Grönbergia ja Aslak Savolaista Yleisradiolta. Ilman heidän arvokkaita kommenttejaan ei hankkeesta olisi tullut näin kattava kuin se nyt on. Kiitos kuuluu myös Työsuojelurahaston puolesta hanketta valvoneelle Anne-Marie Kurkalle. Haluamme myös kiittää teattereiden yhteyshenkilöitä, jotka välittävät tietoa tutkimusryhmän ja teattereiden välillä hankkeen onnistumiseksi.

Tutkimuksen mittausosuus toteutettiin Suomen Kansallisoopperassa, Tampereen Työväen Teatterissa, Työterveyslaitoksella, Pelastusopiston harjoitusalueella ja Yleisradion Tohlopin studiolla vuosina 2013-2015. Mukana hankkeessa olivat myös Svenska Teatern, Suomen Kansallisteatteri, Tampereen Teatteri ja Kaupunginteatterit Jyväskylästä, Kuopiosta, Seinäjoelta, Oulusta, Turusta ja Lahdesta, joissa tehtiin oirekysely tehostesavujen aiheuttamista oireista. Tutkimusta rahoittivat Työsuojelurahasto, Valtiokonttori ja Palosuojelurahasto sekä kaikki mukana olevat tahot.

Lämpimät kiitokset haluamme osoittaa kaikille tutkimukseen osallistuneille koehenkilöille, ilman teitä tätä tutkimusta ei olisi ollut mahdollista tehdä. Haluamme kiittää myös Helga Naumasta keuhko- ja verisuonivasteiden mittauksista ja teemajohtaja Rauno Pääkköstä positiivisesta suhtautumisesta hankettamme kohtaan. Lisäksi kiitämme Kemian laboratorion ja Kuopion pölylaboratorion henkilökuntaa lukuisten kemiallisen analytiikan ja orgaanisen pölyn analyysien onnistumisesta.

Kuopiossa 15.4.2015

Tutkimusryhmä

TIIVISTELMÄ

Hankkeessa selvitettiin Suomessa yleisesti käytettyjen tehostesavujen koostumusta nesteenä ja aerosoliksi tuotettuna. Hankkeen kenttävaiheessa työntekijöiden altistumista tehostesavuille selvitettiin Tampereen Työväen Teatterissa, Suomen Kansallisoopperassa, Yleisradion Tohlopin Studioilla ja Pelastusopiston harjoitusalueella. Samalla selvitimme työntekijöiden akuutteja ja viivästyneitä keuhko- ja verisuonivasteita altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna. Altistumistilanteita, joita emme pystyneet mittaamaan esitysten ja harjoitusten aikana, simuloitiin studiossa ja savusukellussimulaattoreissa. Kenttäkokeiden tueksi mittasimme myös vapaaehtoisten koehenkilöiden keuhko- ja verisuonivasteita, altistettuamme heitä glykoli- ja mineraaliöljypohjaisten tehostesavujen tunnetuilla pitoisuuksilla. Työntekijöiden ja altistumiskammiossa altistuneiden koehenkilöiden oireilua tehostesavuille kartoitettiin oirekyselyjen avulla.

Glykolipohjaisten tehostesavunesteiden pääliuottimia olivat propyleeni- ja trietyleeniglykoli. Mineraaliöljypohjaisen tehostesavunesteen todettiin sisältävän korkealla kiehuvia hiiliveityjä. Teattereissa esitysten aikana keskimääräiset hengittyvän pölyn pitoisuudet vaihtelivat 2-118 % orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (HTP_{8h}). Keskimääräiset trietyleeniglykolipitoisuudet olivat 0,2-9,4 % ja propyleeniglykolipitoisuudet alle 0,01-86 % verrattuna etyleeniglykolin HTP_{8h} -arvoon. Mitatut öljysumupitoisuudet olivat keskimäärin 2-156 % öljysumun HTP_{8h} -arvosta. Hiilidioksidipitoisuudet olivat esityksen aikana työntekijöiden hengitysvyöhykkeen korkeudella suurimmillaan 1,4 -kertaisia ja näytämön pinnassa 5-kertaisia hiilidioksidin HTP_{8h} -arvoon nähden. Työntekijöiden keuhko- ja verisuonivasteissa ei havaittu poikkeavia muutoksia.

Savusukellusopettajien altistuminen hengittyvälle pölylle heidän ollessaan ilman suojaimia vaihteli 14-44 % orgaanisen pölyn HTP_{8h} -arvosta. SAPALAB-simulaattorista mitatut keskimääräiset trietyleeniglykolipitoisuudet olivat 6,7-15 ja propyleeniglykolipitoisuudet 0,92-11 -kertaisia etyleeniglykolin HTP_{8h} -arvoon nähden. Savusukelluksen aikana opettajilta mitatut formaldehydipitoisuudet SAPALAB-simulaattorissa olivat 3,2-5,7 - ja Palotalo-simulaattorissa 68-78 -kertaisia formaldehydin HTP_{8h} -arvoon nähden. Bentseenipitoisuudet savusukelluksen aikana olivat SAPALAB-simulaattorissa 0,52-0,71 - ja Palotalo-simulaattorissa 22-23 -kertaisia bentseenin sitovaan HTP_{8h} -arvoon nähden. Palotalo-simulaattorin porraskäytävästä mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet ja kirjo osoittivat, että palamisessa syntyvä PAH-yhdisteseos on selvästi haitallisempi kuin SAPALAB-simulaattorissa. Työntekijöiden keuhko- ja verisuonivasteissa ei havaittu poikkeavia muutoksia.

Ensimmäisissä altistumiskammiokeissa altistettiin koehenkilöitä glykolipohjaiselle Slow Fog –tehostesavunesteelle. Keskimääräiset hengittyvän pölyn ja trietyleeniglykolin pitoisuudet ensimmäisessä testeissä olivat 62 % ja 1,1 % sekä toisessa 92 % ja 3,2 % niiden HTP_{8h}-arvoista. Mineraaliöljypohjaisella tehostesavunesteellä keskimääräiset hengittyvän pölyn ja öljysumun pitoisuudet ensimmäisessä testeissä olivat 58 % ja 38 % sekä toisessa 108 % ja 110 % niiden HTP_{8h}-arvosta. Koehenkilöillä ei havaittu glykolipohjaisella tehostesavunesteellä kummallakaan altistuspitoisuudella muutoksia keuhko- ja verisuonivasteissa. Sen sijaan mineraaliöljypohjaisella tehostesavulla koehenkilöiden uloshengitysilman typpioksidipitoisuuksissa oli havaittavissa nousua, joka heijasteli keuhkojen ärsytystä altistumisen jälkeen.

Tehostesavuille altistuneilla koetuista oireista tavallisimpia olivat kenttätutkimuksissa, laboratoriomittauksissa ja työntekijäkyselyssä lievät ja satunnaiset ylähengitysteiden ja silmien ärsytysoireet. Kuitenkin 10-15 % työntekijäkyselyyn vastanneista raportoi myös keuhko- peräisiä oireita ja päänsärkyä. Tehostesavujen turvallinen käyttö edellyttää turvallisuusohjeistusten noudattamista, tehostesavukoneiden ja niihin tarkoitettujen nesteiden tuntemista ja tehostesavukoneiden huollosta huolehtimista. Tehostesavukoneiden savun tuotossuunnilla ja savun tuoton jaksottamisella voidaan myös vähentää esiintyjien hetkellistä altistumista. Mikäli suljetussa tilassa käytetään pyrotekniikkaa on näyttämöllä oltava tehokas ilmanvaihto, joka kykenee poistamaan epäpuhtaudet nopeasti heti niiden syntyminen jälkeen. Matalan savun käyttö teattereissa voi tuottaa näyttämön ilmaan merkittävän hiilidioksidipitoisuuden.

Savusukellussimulaattoreissa käytetään selvästi korkeampia tehostesavupitoisuuksia kuin teattereissa. Tämä tarkoittaa entistä tarkempia turvallisuusohjeistuksia simulaattoreissa tapahtuvien tehostesavujen käyttöön. SAPALB-simulaattorissa ajon aikana hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet ylittivät terveydelle heti haitalliset pitoisuudet, joten ainoa oikea hengityksensuojain simulaattoriin on paineilmalaitteet. SAPALAB-simulaattorissa voidaan tehostesavun aiheuttamia epäpuhtauspitoisuuksia vähentää tehostesavunesteen valinnalla ja simulaattorin ajo-olosuhteiden optimoinnilla. Vaikkakin SAPALAB-simulaattorissa monen altisteen pitoisuudet ylittivät haitalliseksi tunnetut pitoisuudet, potentiaalinen altistuminen Palotalo-simulaattorissa oli moninkertainen verrattuna SAPALAB-simulaattorissa tapahtuvaan altistumiseen. Modernit savusukellussimulaattorit ovat selvästi turvallisempia ja terveellisempiä vaihtoehtoja savusukelluskouluttajille sekä oppilaille kuin perinteiset savusukellussimulaattorit.

Tehostesavuille altistavissa töissä hyvä työpaikkaselvitys on tärkeä työkalu riskien hallinnassa. Uusien tehostesavunesteiden ja pyrotekniikan käyttöönotto on tehtävä kontrolloidusti. Asianmukaisesti menettelytapoja ja turvallisiksi todettuja tehostesavuja käytettäessä ei työntekijälle ja yleisölle aiheudu merkittävää terveysriskiä. Tapaturmaisen altistumisen yhteydessä altistuneen systemaattinen oirekartointus ja peruskeuhkofunktion seuranta ovat tarpeen. Voimakkaammin oireilevat kannattaa lähettää erikoissairaanhoidon arvioon. Suojainten toimivuuden testauksessa etenkin savusukellussimulaattorialtistumisessa kannattaa hyödyntää biomonitrointia riskinarvioinnissa. Suositeltavia menetelmiä ovat virtsan 1-naftoli ja 1-hydroksipyreeni.

ABSTRACT

The project, "Harmful pulmonary and vascular effects of theatrical smokes and their control measures", analysed the main solvents and aldehydes in the theatrical smoke liquids most often used in Finland. Also workers' exposures to theatrical smoke aerosols was measured in TTT-Theatre, in Finnish National Opera, in TV Finland and at the training grounds of the Emergency Service College. Voluntary participants were exposed to two different concentrations of glycol and mineral oil based theatrical smoke aerosols in an exposure chamber in order to learn about the effects of known theatrical smoke concentrations on workers' pulmonary and vascular systems, without any confounding factors. The participants' acute pulmonary and vascular functions were measured immediately after exposure period and next day after end of the exposure. Workers' and voluntary participants' symptoms after exposure to theatrical smokes were recorded by questionnaire.

The main solvents in glycol based theatrical smoke liquids were triethylene and propylene glycols. The mineral oil based theatrical smoke liquid contained low volatile aliphatic hydrocarbons. In theatres, the average inhalable dust concentration varied from 2 % to 118 % of the eight hours occupational exposure limit value (OEL_{8h}) for organic dust. Triethylene glycol concentrations varied from 0.2 % to 9.4 % and propylene glycol from 0.01 to 86 % of OEL_{8h}-value for ethylene glycol, respectively. Oil mist concentrations varied from 2 % to 156 % of the OEL_{8h}-value for oil mist. Short term carbon dioxide concentrations in the workers' breathing zone and on the ground were 1,4- and 5-fold higher than OEL_{8h}-value for carbon dioxide, respectively. Workers did not showed any significant changes in the pulmonary or vascular function in field tests after exposure period.

Smoke diving instructors' exposure to inhalable dust, when their SCBA (Self-contained breathing apparatus) was not in use, varied from 14 % to 44 % of OEL_{8h} for organic dust. In the modern propane and gas powered SAPALAB-smoke diving simulator, the average triethylene glycol concentrations varied from 6.7- to 15- and the propylene glycol concentration from 0.92- to 11-fold higher than the OEL_{8h}-value for ethylene glycol, respectively. During smoke diving in the classic PALOTALO-simulator, where heat and smoke are generated by burning plywood board, the formaldehyde concentration in smoke divers' breathing zone outside the respirator varied from 68- to 78- and in the SAPALAB-simulator from 3.2- to 5.7-fold higher than the OEL_{8h}-value for formaldehyde, respectively. The benzene concentration during smoke diving in smoke divers' breathing zone outside the respirator in the PALOTALO-simulator varied from 22- to 23- and in the SAPALAB-simulator from 0.52- to

0.71-fold higher than the OEL_{8h} -value for benzene, respectively. The measured spectrum of polycyclic aromatic hydrocarbons from the PALOTALO-simulator was much more toxic than the corresponding spectrum from the SAPALAB-simulator. Workers did not show any significant changes in the pulmonary or vascular function in field tests after exposure period.

In the first exposure chamber tests voluntary participants got exposed to glycol based theatrical smoke aerosols. In the first part of the test the average inhalable dust and triethylene glycol concentrations were 62 % and 1.1 % , and in the second part 92 % and 3.2 % of their OEL_{8h} -values, respectively. In the second exposure chamber tests voluntary participants got exposed to mineral oil based theatrical smoke aerosols. In the first part of the test, the average inhalable dust and oil mist concentrations were 58 % and 38 % , and in the second part 108 % and 110 % of their OEL_{8h} -values, respectively. Participants did not have any changes in pulmonary or vascular functions following exposure to glycol based theatrical smokes. After the exposure period to mineral oil based theatrical smoke aerosols, nitric oxide concentrations in exhaled air of the persons increased reflecting irritation of the airways.

The most commonly reported symptoms after exposure to theatrical smokes among workers and test participants were upper respiratory tract and eye irritation. However, from 10 % to 15 % of all worker respondents reported suffering from some sort of lung problems and headache.

In theatres the safe use of theatrical smokes means complying with safety instructions in the use of theatrical smoke generators, basic understanding about the theatrical smoke liquids used and of the maintenance of smoke generators. The best way to decrease workers' symptoms on the stage is to cut the peak exposures. That can happen by choosing the right location for theatrical smoke generators, choosing right production moment and directions for the theatrical smoke in relation to the workers on the stage. When pyrotechnics are used within closed spaces indoors, there must be good general ventilation in place to quickly remove the highly irritant nitrogen oxides and inhalable dust emissions produced. The production of slow fog with carbon dioxide can result in high concentrations of carbon dioxide on the stage.

Modern smoke diving simulators use much higher theatrical smoke concentrations during training than theatres do. In this study, the short term exposures to carbon monoxide and

dioxide exceeded the level of IDHL (Immediately Dangerous for Health or Life), which means that SCBA is the only possible device for breathing protection during training. It is possible to reduce smoke divers' exposure by choosing the safest theatrical smoke liquid and by optimizing propane burning conditions. However, modern propane and theatrical smoke powered simulators are much safer for trainers and students than classical simulators.

To ensure the safe and healthy conditions in theatres and in smoke diving simulators, the co-operation of employers and occupational physicians and nurses and occupational hygienists is valuable in workplace risk assessments. The introduction of new theatrical smoke liquids and pyrotechnics should be highly controlled. By following standard safety protocols and by using effect smokes that have been proven safe, there should be no considerable health risk to workers or to the audience in theatres. However, following a worker being accidentally exposed to a high concentration of theatrical smokes, there should be systematic symptom mapping and also measurements of basic pulmonary functions. In most severe exposure cases the most recommendable option is to turn to special health care units. Whereas biomonitoring methods are valuable tools for testing the protection efficiency of personal protective equipment, especially with exposure during smoke diving simulations. We recommend using urinary 1-naphthol and 1-hydroxypyrene.

SISÄLLYS

1	Tutkimuksen tausta	3
2	Tutkimuksen tavoitteet	6
3	Aineisto ja menetelmät	7
3.1	Aineisto	7
3.1.1	Tehostesavunesteiden koostumus	7
3.1.2	Tehostesavujen koostumus	7
3.1.3	Kenttämittaukset	8
3.1.4	Simulaatiomittaukset	9
3.1.5	Altistumiskammioittaukset	9
3.1.6	Oirekyselytutkimus	11
3.2	Menetelmät	11
3.2.1	Tehostesavunesteiden koostumus	12
3.2.2	Tehostesavun koostumus	12
3.2.3	Työhygieeniset mittaukset kentällä	13
3.2.4	Simulaatiomittaukset kentällä	15
3.2.5	Keuhko- ja verisuonivasteiden mittaaminen	17
3.2.6	Oirekyselytutkimus	18
4	Tulokset	19
4.1	Tehostesavunesteiden koostumus nesteenä ja ilmaan tuotettuna	19
4.2	Työhygieeniset mittaukset näyttämöillä ja studioissa	24
4.3	Työhygieeniset mittaukset savusukellussimulaattoreissa	32
4.4	Simulaatiomittaukset studiossa	40

4.5	Simulaatiomittaukset savusukellussimulaattoreissa.....	44
4.6	Työhygieeniset mittaukset altistuskammiossa.....	50
4.7	Keuhko- ja verisuonivastemittaukset kentällä	52
4.8	Keuhko- ja verisuonivastemittaukset altistuskammiossa	56
4.9	Koehenkilöiden koetut oireet altistuskammiokokeissa.....	57
4.10	Työntekijöiden koetut oireet.....	58
5	Tulosten tarkastelu	60
5.1	Tehostesavunesteiden koostumus nesteenä	60
5.2	Tehostesavunesteiden lämpöhajoamistuotteet	61
5.3	Tehostesavupitoisuudet näyttämöillä ja studiossa	63
5.4	Tehostesavupitoisuudet savusukellussimulaattoreissa	66
5.5	Simulaatiomittausten tulokset	69
5.5.1	Pahimmat altistumistilanteet studiossa	69
5.5.2	Savusukellussimulaattorin ajo-olosuhteiden vaikutus altisteiden pitoisuuksiin...	70
5.5.3	Brandax KS- ja Brandax VS-savujen päästöt	71
5.6	Keuhko- ja verisuonivasteet kenttämittauksissa	72
5.7	Keuhko- ja verisuonivasteet altistuskammioimittauksissa	72
5.8	Tehostesavujen aiheuttamat oireet ja niiden tunnistaminen	73
5.9	Keinot altistumisen vähentämisessä näyttämöllä	74
5.10	Keinot altistumisen vähentämisessä savusukellussimulaattoreissa.....	77
6	Yhteenveto	81
7	Liitteet	85
8	Lähteet	91

1 TUTKIMUKSEN TAUSTA

Tehostesavuja käytetään erilaisissa viihdetarkoituksissa, kuten teattereissa, oopperoissa, TV-esiintymisissä ja konserteissa (Varughese ym., 2005). Lisäksi niitä käytetään erilaisissa simulaatiotilanteissa, kuten pelastautumis- ja savusukellusharjoituksissa (Weislander ym., 2001, Fent ym., 2013). Tehostesavujen käyttö on monipuolistunut ja niitä on alettu käyttää myös yksityisissä tilaisuuksissa, jopa lastenjuhlissa (Varughese ym., 2005). Tehostesavuja käytetään lisäksi myös joukkojen naamioimiseksi armeijassa (Palmer ym., 1990) ja näihin tilanteisiin on liittynyt jopa kuolemantapauksia (Lindholm ym., 1988). Yhdysvalloissa savusukellussimulaattorissa ilman suojaimia harjoituksia valmistelleet kolme opettajaa saivat vakavia hengityselinoireita altistuttuaan mineraaliöljypohjaiselle tehostesavulle. Kaksi opettajista toipui nopeasti, mutta kolmannen opettajan tila paheni ja hän joutui viikoksi sairaalahoitoon. Oireiden lopullinen poistuminen kesti kaksi kuukautta ja diagnoosina oli rasvaliukoisten aerosolien hengittämisestä aiheutunut keuhkokuume (Fent ym., 2013).

Tavallisimmin tehostesavuoireilussa on kysymys selvästi lievemmistä oireista kuten äänen menetyksestä, äänen madaltumisesta, silmäoireista tai liman noususta ja yskästä (Burr ym., 1994; Moline ym., 2000; Wieslander ym., 2001; Turunen ym., 2003; Linnainmaa ym., 2003; Varughese ym., 2005; Fent ym., 2013). Nämäkin oireet ovat erittäin harmillista äänenkäytön ammattilaisille, joiden työ vaatii selkeää puhe- ja/tai laulunääntä. Yhdysvalloissa tehdyssä kansallista terveyttä ja ravitsemusta käsitelleessä tutkimuksessa (NHANES) todettiin, että viihdeteollisuudessa oli korkein riski saada työperäisen astman kaltaisia oireita ja viidenneksi korkein riski saada hengityksen vinkumaoireita verrattuna muiden alojen teollisuustyöntekijöihin (Arif ym., 2002). Pahimpien altistumistilanteiden jälkeen eräät laulajat ovat vaatineet korvauksia saamistaan hengitystieoireista tietyissä tehostesavuja käyttäneissä tuotannoissa (Kosman, 2001; Russell, 2001; Squatriglia, 2001; Willman, 2003). Vähemmälle huomiolle tehostesavukeskustelussa on saanut yleisön altistumisriski, mutta se on selvästi pienempi kuin näyttelijöiden jos tehostesavukoneet sijoitetaan oikein näyttämölle. Teoriassa vuosittaisten katsojalukumäärien perusteella Suomessa voi yleisötilaisuuksissa altistua 2,5 miljoonaa katsojaa pienille määrille tehostesavuja. Joissakin maissa on olemassa erityissäännöksiä, joiden mukaan yleisölle on ilmoitettava mahdollisesta tehostesavun käytöstä ja sen mahdollisesti aiheuttamista oireista esityksen aikana.

Tehostesavuja on monelaisia. Perinteisin tapa parantaa valaistuksen näkyvyyttä on tuottaa näyttämölle tehostesavua hazer- ja kräkker-koneiden avulla. Hazer-koneissa mineraal-

liöljyä lämmitetään lämmityselementillä ja syntynyt höyry puhalletaan näyttämölle käyttäen puhallinta tai hiilidioksidia ponneaineena. Kräkker -koneissa mineraali- tai parafiiniöljy puristetaan ilmanpaineella pisaroiksi (ESTA, 1998; Heikkinen, 2007). Glykolipohjaisia tehostesavuja tuotetaan nesteistä, jotka tavanomaisesti sisältävät propyleeniglykolia ja/tai trietyleeniglykolia sekä vettä (Teschke ym., 2005). Nestettä johdetaan savukoneessa olevan pumpun avulla lämmityselementtiin, joka höyrystää nesteen ja syntynyt lämmin höyry puhalletaan puhalltimella tai ponneaineella suuttimen kautta haluttuun tilaan. Usein esityksissä tarvitaan myös matalia kylmiä savuja, joiden tuottamiseen käytetään myös glykolipohjaisia nesteitä, jotka ensin höyrystetään lämmityselementissä ja jäähdytetään runsaalla määrällä hiilidioksidia ja lopuksi puhalletaan näyttämölle (ESTA, 1998; Teschke ym., 2005). Ongelmana hiilidioksidijäähdytyksellä toimivissa koneissa on suuret hiilidioksidipäästöt näyttämölle. Savun jäähdytys voidaan tehdä myös jääkaappitekniikkaa muistuttavalla laitteistolla, jolloin laitteisto ei aiheuta hiilidioksidipäästöjä. Matalaa savua voidaan tehdä myös hiilihappojäästä, mutta siinä on myös ongelmana suuret hiilidioksidipäästöt näyttämölle ja kuivajään kuljetuksesta syntyvät vaaratilanteet (Heikkinen, 2007). Omana erikoisuutenaan ovat pyrotekniset tuotteet, joilla kuvataan räjähdyksiä, välähdyksiä, laukauksia, kipinöintiä ja bensapommeja. Pyrotekniset tuotteet koostuvat hapettimesta, polttoaineesta ja lisäaineista. Tyypillisimpiä hapettimia ovat kaliumperkloraaatti, kaliumkloraaatti, strontiumnitraatti, bariumnitraatti ja kaliumnitraatti. Polttoaineena käytetään erilaisia metalleja, kuten alumiinia, magnesiumia, rautaa ja titaania. Epämetalleista ovat käytössä rikki, fosfori ja boori. Näiden lisäksi käytetään myös orgaanisia aineita (Teschke ym., 2005; Heikkinen, 2007).

Höyrystyneet tehostesavunesteet ja niiden lämmitysvaiheessa mahdollisesti syntyvät lämpöhajoamistuotteet tuovat näyttämön ilmaan epäpuhtauksia, kuten polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä (PAH), haihtuvia orgaanisia yhdisteitä (VOC) ja ärsyttäviä aldehydejä. Lämpöhajoamistuotteita voi syntyä myös tehostesavun kohdatessa näyttämön kuumat valaisimet. Kaikkien haitallisimmat epäpuhtauspitoisuudet syntyvät pyroteknisten tuotteiden palaessa. Palamistuotteet ovat riippuvaisia pyroteknisten tuotteiden koostumuksesta ja ne voivat tuottaa näyttämölle typen, rikin ja hiilen oksideja sekä kloorattuja hiilivetyjä, erilaisia aldehydejä, PAH-yhdisteitä ja metallien oksideja (Moline ym., 2000).

Yhdysvalloissa on glykoli- ja mineraaliöljypohjaisille tehostesavuille annettu raja-arvoja savun hetkelliselle ja keskiarvopitoisuudelle esityksen aikana (Moline ym., 2000). Ohjeistuksessa on otettu myös kantaa kuinka savukoneet on sijoitettava näyttämölle suhteessa esiintyviin taiteilijoihin. Olemassa olevien raja-arvojen kriittisenä vaikutuksena raja-arvo-

jen asettelussa ovat olleet ärsytysvaikutukset keuhkoihin (Moline ym., 2000). Yhdysvalloissa on glykolipohjaisille tehostesavuille annettu kahdeksan tunnin TWA-arvo (Time Weight Average for eight-hour period) 10 mg/m^3 ja hetkelliselle altistumiselle STEL-arvo (Short Term Exposure Level) 40 mg/m^3 (Moline ym., 2000). Vastaava kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus (HTP-arvo) Suomessa 1,2-etaanidiolille (etyleeniglykoli) on 50 mg/m^3 ja viidentoista minuutin arvo 100 mg/m^3 (liite 6, taulukko 18). Kyseiset arvot ovat tarkoitettuja kaikille 1,2-etaanidiolin altistumistilanteille teollisuudessa (STM, 2014). Mineraaliöljypohjaiselle tehostesavulle on Yhdysvalloissa annettu kahdeksan tunnin TWA-arvo 5 mg/m^3 ja lyhytaikaiselle altistumiselle STEL-arvo 25 mg/m^3 (Moline ym., 2000). Suomessa öljysumulle on olemassa HTP_{8h}-arvo 5 mg/m^3 kaikille toimialoille (STM 2014, liite 6 taulukko 18).

Nykyiset tehostesavujen raja-arvot perustuvat glykoleiden ja mineraaliöljyn ärsytysvaikutuksiin hengityselimistössä. Tuoreissa tutkimuksissa on kuitenkin raportoitu perusterveilläkin ja jopa suojausta käyttävillä työntekijöillä savuallistuksiin liittyviä myös osin annosriippuvaisia verisuonten akuutteja jäykistymisvasteita (Fahs ym., 2011) jo aiemmin tiedettyjen keuhkoputkien ärtyvyysreaktioiden lisäksi (Greve ym., 2011). Esiintyvien taiteilijoiden tai savusukeltajien verisuonten jäykistyminen rajoittaa verenkierron kykyä vastata tehostesavuallistumisen aikana työn samanaikaisesti vaatimaan fyysiseen stressiin. Tämä yhdistettynä kylmäsavujen tai savusukellussimulaattorin tuottamien korkeiden hiilidioksidipitoisuuksien kanssa, voi aiheuttaa vahvistavan verisuonivaikutuksen näiden kolmen tekijän, fyysisen stressin sekä samanaikaisen pienhiukkas- ja hiilidioksidialtistumisen seurauksena.

Tutkimuksessa selvitettiin mitä Suomessa yleisimmin käytössä olevat tehostesavut sisältävät ja mitä lämpöhajoamistuotteita syntyi tuottaessa tehostesavuja valmistajan ohjeistamalla tavalla. Samalla tuotettiin lisätietoa ovatko tehostesavujen verisuonivasteet niin merkittäviä, että ne on otettava huomioon määritettäessä tehostesavujen tulevia raja-arvoja. Samalla arvioitiin ovatko nykyisten tehostesavujen raja-arvot riittävän matalia, jotta taiteilijat voisivat työskennellä pelkäämättä verisuonistonsa puskurikapasiteetin tai äänensä menettämistä. Yleistä oireilua tehostesavuille kartoitettiin koehenkilöiden altistuessa tunnetuille pitoisuuksille altistumiskammiossa ja sen lisäksi oireilun yleisyyttä normaaleissa työtehtävissä kartoitettiin mukana oleviin työpaikkoihin kohdistetulla webropol -oireykselyllä. Tulosten perusteella annettiin suosituksia tehostesavunesteistä, savuntuottamismenetelmistä, tehostesavukoneiden sijoituksesta, käytettävistä pitoisuustasoista, menetelmistä tehostesavupitoisuuden seuraamiseksi ja menetelmistä työntekijöiden oireilun sekä terveyden seuraamiseksi. Lisäksi otettiin kantaa savusukellussimulaattoreiden turvallisuusohjeistukseen ja mahdollisuuksiin kehittää laitteistoja vähemmän altistavammaksi.

2 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET

1. Selvittää yleisimpien tehostesavujen kemiallinen koostumus nestemäisenä ja aerosoliksi tuotettuna.
2. Mitata todellisissa altistumistilanteissa yleisimpien tehostesavujen kemikaali- ja hiukkaspitoisuudet ja niiden aiheuttamat verisuoni- ja keuhkovaikutukset työntekijöillä ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna.
3. Mitata altistumiskammiossa yleisimpien tehostesavujen aiheuttamat verisuoni- ja keuhkovaikutukset koehenkilöillä, joita altistettiin kahdella kenttäkokeiden perusteella normaalia kentällä tapahtuvaa altistumista vastaavilla glykoli- ja mineraaliöljypohjaisella tehostesavupitoisuudella. Keuhko- ja verisuonivasteet mitattiin ennen altistumista, heti altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna. Koehenkilöiltä kysyttiin myös oireita ennen altistumista, 20, 40 ja 60 minuuttia altistumisen alkamisesta.
4. Kartoittaa työntekijöiden yleistä oireilua tehostesavulle eri ammattiryhmissä oirekyselyn avulla.
5. Arvioida olemassa olevien tehostesavujen raja-arvojen toimivuutta havaittujen haittavaikutusten perusteella ja arvioida raja-arvojen päivittämistarvetta ja määrittellä tarvittavat tekniset toimenpiteet ja henkilökohtainen suojaus, jolla oireilua voidaan vähentää

3 AINEISTO JA MENETELMÄT

3.1 Aineisto

3.1.1 Tehostesavunesteiden koostumus

Kahdeksan yleisimmin teattereissa ja yhden Pelastusopistolla käytössä olevan tehostesavunesteen koostumus selvitettiin. Analysoitavat tehostesavunesteet olivat Quick Fog (Look Solution), Regular Fog (Look Solution), Slow-Fog (Look Solution), Blitz Reflex (Safex), MDG Neutral Fluid (MDG), MDG Low Fog (MDG), Jem ZR-Fluid (Martin Professional), Fast Smoke (Smoke Factory) ja Unique 2.1 Fluid (Look Solution).

3.1.2 Tehostesavujen koostumus

Kaikkein eniten käytetyimmistä MDG Neutral Fluid (MDG), MDG Low Fog (MDG) ja Jem ZR-Fluid (Martin Professional) tehostesavunesteistä tuotettiin altistuskammioon myös tehostesavua sen analysointia varten.

Mineraaliöljypohjainen tehostesavu tuotettiin MDG Neutral Fluid -tehostesavunesteestä MDG Atmosphere –savukoneella ja ponnekaasuna käytettiin hiilidioksidia (kuva 1). Glykolipohjainen matalasavu tuotettiin hiilidioksidijäähdytykseen perustuvalla MDG Ice Fog Compack –savukoneella (MDG) glykolipohjaisesta MDG Low-Fog –tehostesavunesteestä ja ponneaineena oli hiilidioksidi (kuva 2). Perinteinen nopea savu tehtiin glykolipohjaisesta Jem ZR-Fluid –tehostesavunesteestä ZR-33 Hi-Mass –savukoneella (Martin Professional), jossa tehostesavua liikutti laitteessa olevan puhallin (kuva 3).



Kuva 1. MGD Atmosphere



Kuva 2. MDG Ice Fog Compack



Kuva 3. ZR-33 Hi-Mass



Kuva 4. Kanavapuhallin

Savukoneessa syntynyt tehostesavu johdettiin ilmanvaihtokanavaan (kuva 3), jossa oli kanavapuhallin kuljettamassa savua altistuskammioon (kuvat 4 ja 5). Altistuskammionsta mitattiin syntyvät epäpuhtaudet suoraan osoittavilla hiukkaslaskureilla (kuva 4) ja keräävillä menetelmillä (kuva 6).



Kuva 5. Altistuskammio ulkoa päin



Kuva 6. Altistuskammio sisältä päin

3.1.3 Kenttämittaukset

Kenttämittauksia tehtiin keväällä 2013 Suomen Kansallisoopperassa Robin Hood –oopperan harjoituksissa sekä Yleisradiolla Tartu Mikkiin ohjelman harjoituksissa ja nauhoituksissa.

Syksyllä 2013 mittasimme Pelastusopistolla SAPALAB- ja Palotalo–savusukellussimulaattoreissa Korvaharjun harjoitusalueella ja TTT-teatterissa Addams Family–esityksen harjoituksissa.

Syksyllä 2014 teimme lisämittauksia Suomen Kansallisoopperassa Lumikuningatar -baleissa ja Pelastusopistolla SAPALAB- ja Palotalo–savusukellussimulaattoreissa Korvaharjun harjoitusalueella.

3.1.4 Simulaatiomittaukset

Yleisradion Tohlopin studiolla teimme tehostesavujen simulaatiomittauksen tavoitteena selvittää pahin mahdollinen tilanne tehostesavujen käytössä viidessä erilaisessa altistumistilanteessa.

Pelastusopiston harjoitusalueella Korvaharjussa testasimme kahdella simulaatiomittauksella SAPALAB-simulaattorin päästöjä eri ajo-olosuhteissa sekä erilaisilla kaasusuuttimilla. Palotalo-simulaattorissa testasimme Brandax KS- ja VS–savujen päästöjä pienellä (60 g) ja suurella (430 g) savulla.

3.1.5 Altistumiskammio mittaukset

Altistumiskammio mittaukset aloitettiin glykolipohjaisella Slow-Fog (Look Solution) –tehostesavulla, ja testattavana oli 6 vapaaehtoista koehenkilöä. Tehostesavun tuottamiseen käytettiin ZR 33 Hi-Mass –savukonetta (Martin Professional) (kuva 3). Savu tuotettiin ensin sekoitussäiliöön, josta se manuaalisesti syötettiin ilmanvaihtokanavaan, josta kanavapuhallin toimitti savun altistumiskammioon (kuva 7). Altistumiskammiossa oli lisäksi puhallin joka sekoitti ilmaa kammiossa tasaisen pitoisuuden aikaansaamiseksi (kuva 8). Kammioista mitattiin vähintään kahdella hiukkaslaskurilla hiukkaspitoisuuksia, jotta pystyimme kontrolloimaan pitoisuuden pysymistä tasaisena testin aikana ja testien välillä. Lisäksi kammioista mitattiin keskimääräiset glykolipitoisuudet, jokaisen koehenkilön mittausjakson ajalta sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet sekä aldehydit mittaussarjan ensimmäisen ja viimeisen koehenkilön altistusajoilta (kuva 9). Tämän lisäksi altistumiskammion hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuuden vaihtelua seurattiin koko altistuksen ajan. Koehenkilö istui kammiossa 60 minuuttia ja hänellä oli mahdollisuus kuunnella radiota, tehdä tietokoneella töitä tai vain lukea (kuva 8). Kahdenkymmen minuutin välein hän antoi arvion savun ärsyttävyydestä ja vastasi oirekyselyyn sen hetkisten tuntemustensa mukaisesti. Ennen koetta,

heti kokeen jälkeen ja seuraavana aamuna koehenkilöltä mitattiin tehostesavu-altistumisen aiheuttamat keuhko- ja verisuonivasteet. Lääkäri valvoi testiä mahdollisten komplikaatioiden varalta. Koe toistettiin kaksinkertaisella pitoisuudella samoilla koehenkilöillä.

Vastaavanlainen altistuskoe tehtiin mineraaliöljypohjaisella MDG Neutral Fluid tehostesavunesteellä kuudelle vapaaehtoiselle koehenkilölle käyttäen MDG Atmosphere –tehostesavukonetta (MDG) (kuva 10).



Kuva 7. ZR 33 Hi-Mass-savukone ja sekoitussäiliö



Kuva 8. Altistuskammio



Kuva 9. Mittaukset kammioista



Kuva 10. MDG Atmosphere

3.1.6 Oirekyselytutkimus

Yleinen oirekyselytutkimus lähetettiin sähköisenä Webropol-kyselynä yhteensä 650 työntekijälle Suomen Kansallisoopperaan, Yleisradiolle, Tampereen Työväen Teatterille, Pelastusopistolle, Svenska Teaternille, Suomen Kansallisteatterille, Tampereen Teatterille ja Kaupunginteattereille Jyväskylään, Kuopioon, Seinäjoelle, Ouluun, Turkuun ja Lahteen. Vastausaikaa oli kolme viikkoa.

3.2 Menetelmät

Työterveyslaitoksen Asiakasratkaisut on akkreditoitu testauslaboratorio T013 (FINAS-akreditointipalvelut, EN ISO/IEC 17025). Hengittyvän pölyn ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittausten menetelmät sekä hengittyvän pölyn, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja aldehydien analysointimenetelmät ovat akreditoituja.

Hengittyvä pöly kerättiin IOM-keräimellä selluloosaesteriasetaatti-kalvosuodattimelle ja näytteet analysoitiin gravimetrisesti työhjeen TY-TY-003 mukaisesti. Hengittyvän pölypitoisuuden vaihtelua seurattiin SPILT-2 (SKC Inc) ja hengittyvän pölyn keuhko- ja alveolijakeen vaihtelua mitattiin GRIMM Model 1.108 aerosolimonitoreilla (Grimm Technologies Inc). Molempien tulokset korjattiin gravimetrisesti. Nanohiukkasten pitoisuuksia mitattiin NanoScan SMPS Nanoparticle Sizer 3910 (TSI Inc) laitteistolla. Ilman haihtuvat orgaaniset yhdisteet kerättiin Tenax TA-adsorptioputkeen työhjeen TY-TY-004 ja analysoitiin työhjeen AR1204-TY-031 mukaisesti. Ilman polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen (PAH) hiukkasmaisen osuus kerättiin Milliporen 37 mm kasetilla lasikuitusuodattimelle open face-tekniikalla. PAH-yhdisteiden höyrymäinen osuus kerättiin XAD-2 –adsorptioputkiin ja molemmat näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen massaselektiivistä detektoria työhjeen TY-KEMIA-ANO-001 mukaisesti. Näytteistä analysoitiin 16 EPA:n (Environmental Protection Agency) suosittelemaa PAH-yhdistettä. Hiukkasmaiset glykolyhdisteet kerättiin IOM-keräimellä lasikuitusuodattimelle ja höyrymäiset silikageelia sisältävään adsorptioputkeen. Silikageelikeräimen edessä oli esisuodatin, joka poisti hiukkasmaiset glykolit adsorptioputkesta. Näytteet uutettiin molemmista keräysmatriiseista 3 ml:aan metanolia välittömästi keräyksen jälkeen. Molemmat näytteet analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen liekki-ionisaatiodektoria. Öljysumu kerättiin Milliporen 37 mm kasetilla teflon suodattimelle käyttäen open face –tekniikkaa. Näytteet uutettiin suodattimelta tetra-kloorietyleenillä ja analysoitiin IR-laitteella työhjeen TY01-TY-024 mukaisesti. Aldehydit kerättiin 2,4-dinitrofenyylihydratsiinilla päällystettyyn Sep-pak-silikakeräimeen. Aldehydit ja ketonit muodostivat hydratsiinin kanssa johdannaisia. Johdannaiset uutettiin keräimestä

asetonitrillillä. Yhdisteiden pitoisuudet analysoitiin nestekromatografisesti diodirividetektorilla aallonpituudella 360 nm työhöseen TY-KEMIA-ANO-019 mukaisesti.

Hiilidioksidi, hiilimonoksidi, rikkidioksidi, kloori, ammoniakki, typpidioksidi, typpimonoksidi, rikkivety ja rikkidioksidi mitattiin suoraan osoittavilla kaasumittareilla X-am 7000, X-am 5600, Pac III ja PAC 7000 (Dräger).

Savusukellussimulaattoreissa tehtyihin mittauksiin sisältyi suurempi mittausepävarmuus, johtuen simulaattorin normaalia huoneilmaa selvästi kuumemmista ja kosteammista mittausolosuhteista.

3.2.1 Tehostesavunesteiden koostumus

Tehostesavunesteistä analysoitiin aldehydit uuttamalla vedellä nestenäytteistä siihen liukenevät aldehydyhdisteet. Veteen uuttuneiden aldehydyhdisteiden annettiin reagoida di-nitrofenyylihydratsiin (DNPH) kanssa lämpökaapissa (70 °C) yhden tunnin, jolloin vapaita aldehydeistä muodostui DNPH-johdannaiset uuttoliuokseen. Aldehydjohdannaiset analysoitiin nestekromatografisesti UV-detektorilla. Haihtuvat orgaaniset yhdisteet määritettiin tuotteesta uuttamalla tehostesavunäyte metanolilla. Uuttoliuos laimennettiin mittauksissa käytettävälle pitoisuustasolle samaisella liuottimella. Uutettu ja laimennettu näyte analysoitiin kaasukromatografisesti käyttäen liekki-ionisaatiidetektoria.

3.2.2 Tehostesavun koostumus

Kammioon tuotettiin ensin tehostesavua ZR-33 Hi-Mass savukoneella. Tehostesavunesteinä oli glykolipohjainen ZR Fluid –tehostesavuneste, joka edusti ns. nopeita savuja, joilla kuvataan nopeita savun muodostumisilmiöitä. Muodostuvaa hengittyvän pölyn pitoisuutta mitattiin suoraanosoittavalla hiukkaslaskurilla ja syntyvien nanohiukkasten profiilia SMPS nanohiukkaslaskurilla noin 1,5 metrin korkeudelta kammioista. Samanaikaisesti mitattiin keräävillä menetelmillä myös PAH- ja VOC-yhdisteiden keskimääräisiä pitoisuuksia sekä aldehydien keskimääräisiä pitoisuuksia. Kammioista mitattiin tehostesavugeneroinnin aikana myös hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuudet. Mittausaika oli noin 2 tuntia.

Toisessa vaiheessa kammioon tuotettiin tehostesavua MDG Atmosphere –savukoneella, jonka ponneaineena oli 100 % hiilidioksidi. Tehostesavunesteinä oli mineraaliöljypohjainen

MGD Neutral Fluid –tehostesavuneste, joka edusti valoeffektien voimistamiseen tarvittavaa hazer-tehostesavua. Mittaukset toistettiin muutoin samalla tavalla, mutta glykolyhdisteiden sijasta mitattiin öljysumua.

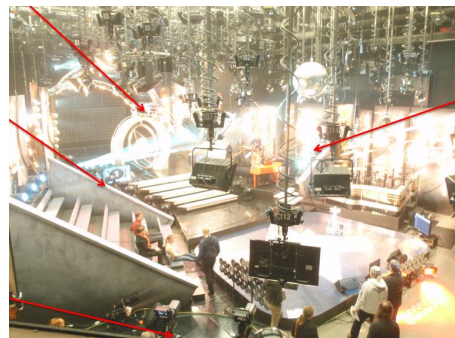
Kolmannessa vaiheessa kammioon tuotettiin tehostesavua MDG Ice Fog Compact –savukoneella, jonka ponneaineena oli myös 100 % hiilidioksidi. Tehostesavunesteenä oli glykolipohjainen MDG Low-Fog –tehostesavuneste, joka edusti hidasta ja matalaa savua. Mittaukset toistettiin samalla tavalla kuin vaiheessa 1.

3.2.3 Työhygieeniset mittaukset kentällä

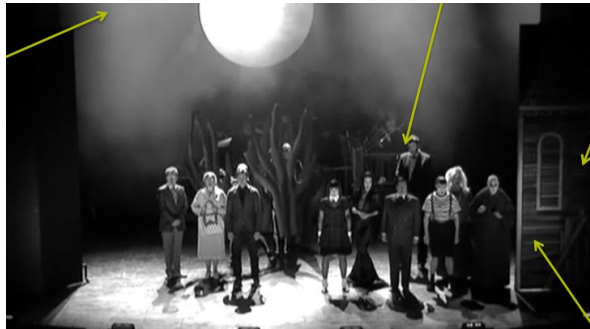
Suomen Kansallisoopperan (kuva 11), Yleisradion (kuva 12) ja TTT-teatterin (kuva 13) esityksissä näytteitä otettiin näyttämön edestä vasemmalta ja oikealta puolelta noin 1,5 metrin korkeudelta, siten että kiinteät mittalaitteet eivät häirinneet harjoitusta tai ohjelman nauhoitusta. Lisäksi näytteitä kerättiin orkesterin vierestä, näyttämön takapuolelta, näyttämön yläpuolelta ja orkesterimontusta. Henkilökohtaisia näytteitä otettiin teknisten henkilöiden hengitysvyöhykkeeltä. Mitattavia aineita olivat öljysumu, glykolyhdisteet, aldehydit, haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja polysykliset aromaattiset hiilivedyt. Näiden lisäksi mitattiin suoraan osoittavilla mittareilla hiilimonoksidi- ja hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelua ja hiukkaslaskureilla hengittävän pölyn sekä sen jakeiden pitoisuusvaihtelua. Lisäksi osasta esityksistä mitattiin myös nanohiukkasten pitoisuuksia kiinteistä mittauspisteistä. Savukoneet oli mittauskohdeissa asetettu näyttämön taakse molemmille puolille ja kahdessa tapauksessa yksi kone oli sijoitettu myös näyttämön yläpuolelle. Kaikissa kohdeissa oli käytössä mineraaliöljypohjainen hazer-usva ja kolmessa sen lisäksi myös glykolipohjaiset tehostesavut. Matalaa savua käytettiin kahdessa näytöksessä ja pyrotekniikkaa kolmessa näytöksessä.



Kuva 11. Suomen Kansallisoopperan mittauspisteet



Kuva 12. Yleisradion mittauspisteet



Kuva 13. TTT-teatterin mittauspisteet

Pelastusopistolla ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla otimme näytteitä SAPALAB –simulaattorin yläkerrasta huoneisto 1:stä (huoneiston koko tilavuus 390 m³) simulaattorin sisältä kiinteästä mittauspaikasta (kuva 14). SAPALAB -simulaattorissa käytettiin lämmön- tuottoon maakaasua ja tehostesavunanesteenä oli glykolipohjainen Slow Fog (Look Solution) ja tehostesavukoneena Viper 2,6 (Look Solution). Savusukellusharjoituksen aikana savusukellusopettajat käyttivät paineilmalaitteita ja normaaleja palomiehen suojavälineitä. Mittausrepertuaari oli samanlainen kuin teatterimittauksissakin. Normaalin mittausrepertuaarin lisäksi mittasimme haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja hiilimonoksidin pitoisuuksia neljän savusukellusopettajan hengitysvyöhykkeellä heidän ollessa ilman paineilmalaitteita, kuten esimerkiksi odottaessaan vuoroa seuraavaan sukellukseen ja antaessaan palautetta opiskelijoille. Savusukelluskertoja opettajille tuli päivän aikana 3-4 ja yksi savusukelluskerta oli pituudeltaan noin 20 minuuttia. Viimeisellä käynnillä mittasimme myös opettajien (4 kpl) hengitysvyöhykkeeltä VOC- ja aldehydipitoisuudet heidän savusukelluksen aikana. Pelastusopistolla ensimmäisellä ja toisella mittauskerralla otimme näytteitä myös Palotalo–simulaattorissa (kuva 15), jossa lämpö tuotettiin polttamalla puhdasta puuta ja savun muodostusta tehostettiin Brandax KS -tehostesavun (Rauplan Oy) avulla, joka sisältää ammoniumkloridia, kaliumkloroaattia ja steariinihappoa. Teimme samat mittaukset kiinteistä ja opettajien hengitysvyöhykkeeltä kuin SAPALAB:sakin, mutta emme mitanneet lainkaan glykolyhdisteitä.



Kuva 14. SAPALAB



Kuva 15. Palotalo

Suomen Kansallisoopperassa toisella mittauskerralla halusimme toistaa suuremmalla koehenkilöryhmällä ensimmäisellä mittauskerralla tehdyt keuhko- ja verisuonivastemittaukset Lumikuningatar-baletissa. Mittausten painopiste oli erityisesti keuhko- ja verisuonivasteiden mittaamisessa, mutta mittasimme myös öljysumu-, aldehydi- ja glykolipitoisuuksia näyttämöltä kiinteistä mittauspisteistä ja glykolipitoisuuksia teknisen henkilökunnan hengitysvyöhykkeeltä.

3.2.4 Simulaatiomittaukset kentällä

Yleisradion Tohlopin studiolla tehtiin tehostesavusimulaatio, joka edusti pahinta mahdollisinta tilannetta näyttämöllä. Nämä mittaukset haluttiin tehdä, koska normaalien harjoitusten tai ohjelman nauhoitusten aikana emme pystyneet mittaamaan pitoisuuksia vapaasti niistä näyttämön osista mistä olisimme halunneet, mittalaitteiden aiheuttamien vaaratilanteiden ja sen vuoksi, että mittalaitteet eivät saaneet häiritä näytöstä tai ohjelman nauhoitusta. Testauspaikkana oli studio (kuva 16), jossa oli erittäin hyvä nykyaikainen ilmanvaihto. Mittauksia tehtiin studion keskeltä ja sen oikealta ja vasemmalta puolelta kiinteistä mittauspaikoista. Hengittyvän pölyn pitoisuutta mitattiin hengitysvyöhykkeen korkeudelta. Hiilidioksidipitoisuutta mitattiin lattialta, noin 0,6 m korkeudelta ja hengitysvyöhykkeen korkeudelta. Keräävillä menetelmillä mitattiin hengitysvyöhykkeen korkeudelta haihtuvia orgaanisia yhdisteitä, glykolyhdisteitä ja kaasuja, kuten typen, rikin ja hiilen oksideja suoraanosoittavilla mittalaitteilla. Pyroteknisten tuotteiden aikana mittauksia tehtiin myös studion yläpuolisista osista.



Kuva 16. Yleisradion Tohlopin studion tehostesavusimulaatiot

Mitattavat tehostesavut ja pyrotekniset tuotteet olivat: 1) glykolipohjainen perussavu Jem Zr Fluid ja savukone ZR 33 Jem Hi-Mass (Martin Professional), 2) Quick Fog Fluid ja savu-

kone Viper 2,6 (Look Solution), 3) JEM ZR-heavyfog fluid ja savukone Jem Glaciator (Martin Professional), 4) Low Fog Fluid ja savukone MDG Ice Fog Compact (MDG) ja 5) lopuksi pyroteknisistä tuotteista poltettiin yksi 15 x 15 silvererb kipinäsuihku, yhdeksän 15 x 15 silvererb kipinäsuihkua ja räjäytettiin 4 x 25 g mustaruutipanos.

Pelastusopiston SAPALAB-simulaattorissa huoneistossa 1 yläkerrassa (tilavuus 195 m³) teimme ensimmäisen simulaation selvittääksemme aldehydien lähdettä simulaattorissa. Mittasimme simulaattorista aldehydi- ja PAH-pitoisuuksia. Ensimmäisessä vaiheessa poltettiin katossa olevia kaasuliekkejä. Toisessa vaiheessa tuotimme simulaattoriin pelkkää tehostesavua Slow Fog -tehostesavunesteestä (Look Solution) Viper 2,6 -tehostesavukoneella ja kolmannessa vaiheessa tuotimme savua ja liekkejä samanaikaisesti.

Pelastusopiston SAPALAB-simulaattorissa huoneistossa 3 (tilavuus 320 m³) teimme toisen simulaation selvittääksemme kuinka kaasun polttaminen vesipatjan päällä vaikuttaa simulaattorin aldehydi-, typenoksidi-, hiilidoksidi- ja hiilimonoksidipäästöihin verrattuna katossa poltettavien kaasusuuttimien päästöihin. Mittasimme simulaattorista pitoisuuksia, kun simulaattorissa poltettiin kaasua veden päällä ja toisessa vaiheessa poltimme pelkästään katossa olevia suuttimia.

Brandax KS -tehostesavun (Rauplan Oy) päästöjä testasimme palotalossa huonetilassa, jonka tilavuus noin 50 m³ (kuva 17), josta mittasimme ensin taustapitoisuudet ja sen jälkeen poltimme siellä ison Brandax KS –savupanoksen. Mittasimme huoneen ilmaan syntyneet hiilimonoksidi, kloori- ja ammoniakkipitoisuudet sekä haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Myöhemmin testasimme pienelle Brandax VS –savulla (Rauplan Oy) samanlaisessa huoneessa ja mittasimme syntyneet hiilimonoksidi, kloori- ja ammoniakkipitoisuudet.



Kuva 17. Brandax –tehostesavutestit palotalossa

3.2.5 Keuhko- ja verisuonivasteiden mittaaminen

Keuhkotoimintaa ja verisuonten reagoitua mitattiin sekä kenttämittauksena aidossa työtilanteessa tapahtuvan tehostesavuille altistumisen yhteydessä että laboratoriooloissa toteutetussa kontrolloidussa koesarjassa. Vapaaehtoisille koehenkilöille tehtiin ennen mittauksia vielä lääkärintarkastus mahdollisten tulosten tulkintaa vaikeuttavien terveydellisten seikkojen poissulkemiseksi. Onnistuneet kenttämittaukset tehtiin 34 henkilölle ja laboratorioaltistumismittaukset 12 henkilölle. Sekä kenttä- että laboratoriomittaukset suorittivat fysiologisiin mittauksiin hyvin perehtyneet hoitajat ja paikalla oli koko ajan lääkäri. Välittömiä lääketieteellisiä jatkotoimenpiteitä edellyttäen löydöksiä ei missään osatutkimuksessa tullut esiin. Muutamilla oireettomilla tutkittavilla todettiin jo ennen altistusta rajapintaisesti alentuneita puhallusarvoja ja heidät ohjattiin ottamaan yhteyttä kontrollimittauksia varten yhteyttä työterveyshuoltoonsa. Sairauksien muutoksia ei tullut esiin.

Koska hengitysteiden mahdolliset ärsytysreaktiot voivat olla joko välittämiä tai viivästyneitä, keuhkotoiminta mitattiin ensi vaiheen osatutkimuksissa 22 koehenkilölle juuri ennen altistusta, heti sen jälkeen ja vielä seuraavana aamuna. Lisäksi tehtiin vielä toinen täydentävä kenttätutkimus 12 koehenkilölle, jossa seuraavan päivän mitausta ei tehty työjärjestelyjen vuoksi. Keuhkotoiminnan muutoksia arvioitiin spirometrialla, oskillometrialla ja uloshengityksen typpioksidimäärityksellä. Verisuonten kuntoa seurattiin verisuonen sisäkalvon toimintaa mittaamalla. Lisäksi laboratorioosiossa tutkittaville tehtiin EKG:n pitkäaikaisrekisteröinti ja seurattiin veren hiilidioksiditasoa. Kenttämittauksia tehtiin 22 työntekijälle todellisissa esiintymistilanteissa ja toisena ryhmänä mitattiin pelastajakoulutuksen harjoituksiin osallistujia, jotka käyttävät harjoituksissaan suojavaatetusta ja suojaimia. Laboratoriomittaukset tehtiin 12 vapaaehtoiselle pelastusopistosta rekrytoidulle koehenkilölle.

Hengitysteiden virtausvastus nousee, mikäli keuhkoputket supistuvat altistumisen yhteydessä. Impulssioskillometriassa paineaaltogeneraattori antaa hengitysteihin värähtelyä taajuuksilla 5-35 Hz (Masterscreen IOS, Erich Jaeger, Saksa). Keuhkoputkien ääreisosat ovat herkkiä reagoimaan hengitysteitä ärsyttävillä aineilla (Schermer ym. 2010). Jos ärsytys aiheuttaa pienten hengitysteiden supistumista, suurenee pienten hengitysteiden virtausvastusta kuvaava Rsr5-arvo.

Hengitysteiden pintasolukon mahdollista tulehdusreaktiota altistumiseen liittyen mitattiin uloshengityksen typpioksidin määrityksellä noin 15 sekunnin kestoisen ulospuhalluksen aikana (NioxMino, Aerocrine, Ruotsi, Maniscalco ja Lundberg 2010).

Lisäksi tehtiin keuhkotoiminnan perusmittauksena spirometriatutkimus (Medikro, Suomi). Mikäli altistus aiheuttaa hengitysteissä poikkeavaa ärsytystä tehostetun ulospuhalluksen tilavuus (FVC) sekä sekunnissa ulospuhallettu tilavuus (FEV₁) pienenevät ja uloshengityksen huippuvirtaus sekä ääreisosien virtauksia heijastava MEF50 arvo laskevat. Tulosten tulkinnasta on annettu kansalliset suositukset (Sovijärvi ym., 2011).

Pienhiukkaset ja ilman epäpuhtaudet voivat aiheuttaa verisuonen sisäkalvon toimintahäiriön, joka toistuessaan voi nopeuttaa valtimoiden jäykistymistä ja altistaa sydän- ja verisuonisairauksille. Sitä voidaan mitata seuraamalla sormivaltimon laajenemiskykyä lyhyen valtimokierron sulkemisen jälkeen (Olsen ym., 2014). Tuloksena saatu reaktiivinen hyperemiaindeksi (RHI EndoPat, Itamar, Israel) pienenee, jos hengitysilmassa olevat epäpuhtaudet pääsevät verisuonistoon. Verisuonimittaus tehtiin ennen altistumista, heti sen jälkeen ja seuraavana päivänä.

Sydämen sykevälivaihtelu on verenkierron tilaa heijastava mittaus. Sen pieneminen akuutin hengitystiealtistuksen yhteydessä on haitallista verisuoniterveydelle (Evans ym. 2014). Myös muita sydämen sähköisen toiminnan muutoksia on raportoitu ilman epäpuhtauksille altistumisen yhteydessä. EKG:n tarkkaa analyysia varten (Century 2000, BMS, Belgia) varten sydämen toiminta tallennettiin koko altistumisen ja palautumisen ajalta EKG:n pitkäaikaisrekisteröintilaitteella (BMS, Braemer, Belgia).

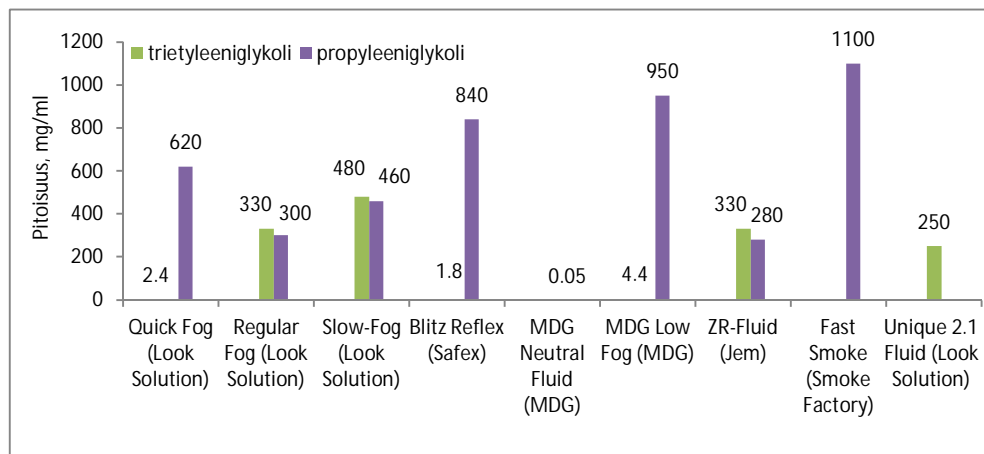
3.2.6 Oirekyselytutkimus

Altistumiskammiossa koehenkilöille käytettiin välittömien oireiden kyselykaavakkeita, jotka on esitetty liitteissä 1-3. Normaalisissa työssä koettujen tehostesavu-altistumisten aiheuttamien oireiden kyselykaavakkeet työntekijöille on esitetty liitteissä 4-5.

4 TULOKSET

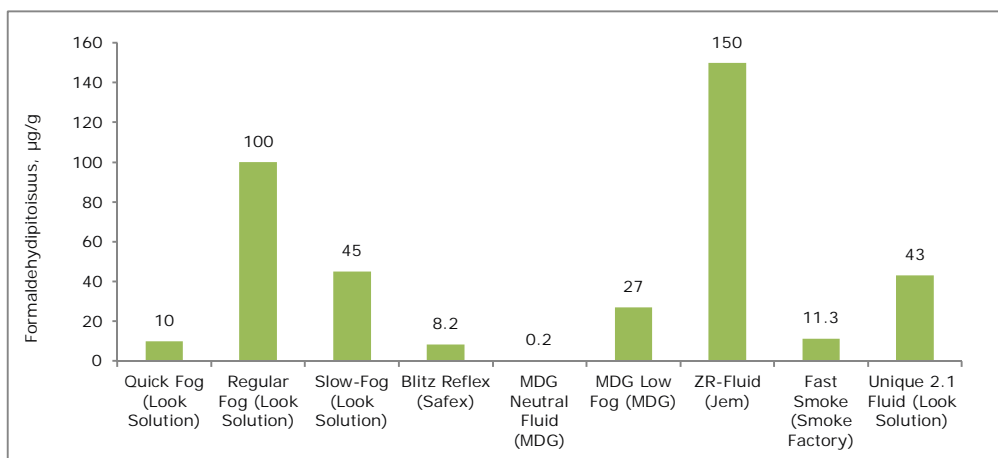
4.1 Tehostesavunesteiden koostumus nesteinä ja ilmaan tuotettuna

Tehostesavunesteiden pääliuottimet analysoitiin ja saadut tulokset on esitetty kuvassa 18.

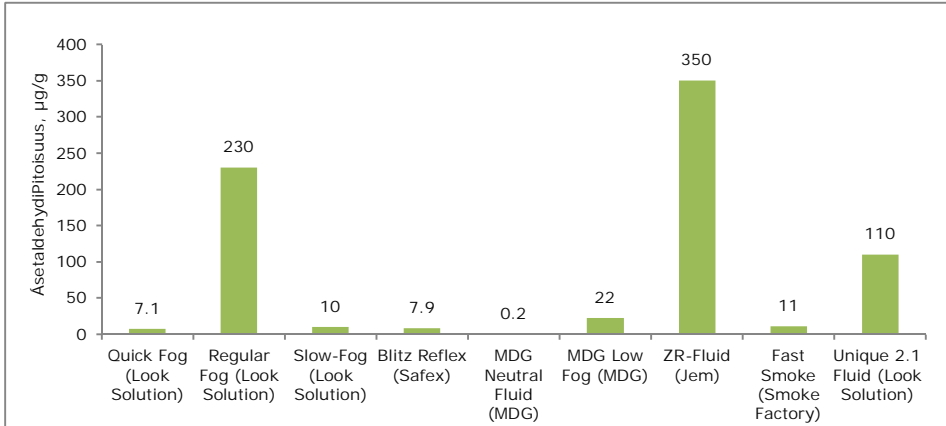


Kuva 18. Tehostesavunesteiden koostumus, liuotinaineet

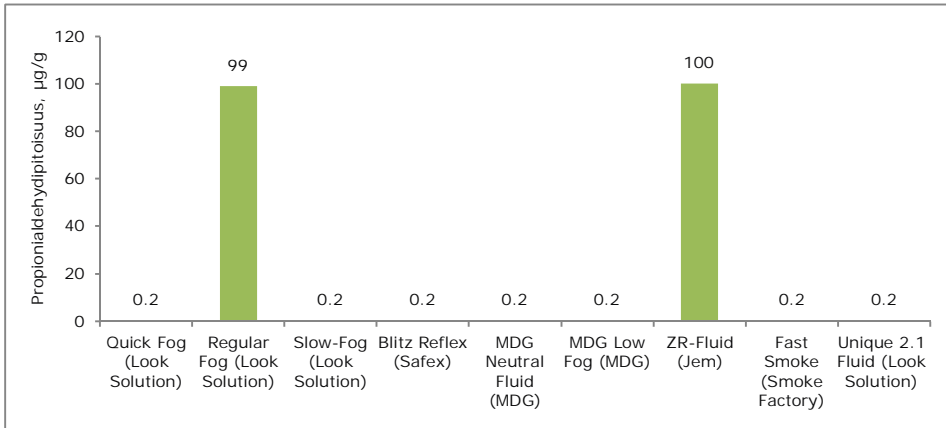
Tehostesavunesteistä analysoitiin myös ärsyttävien aldehydien ja asetonin pitoisuudet. Tulokset on esitetty kuvissa 19 - 22.



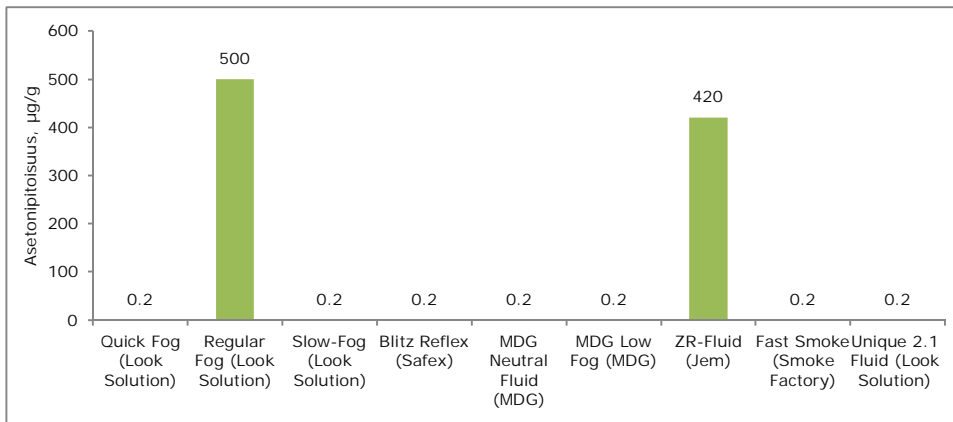
Kuva 19. Tehostesavunesteiden formaldehydipitoisuus



Kuva 20. Tehostesavunesteiden asetalddehydipitoisuus

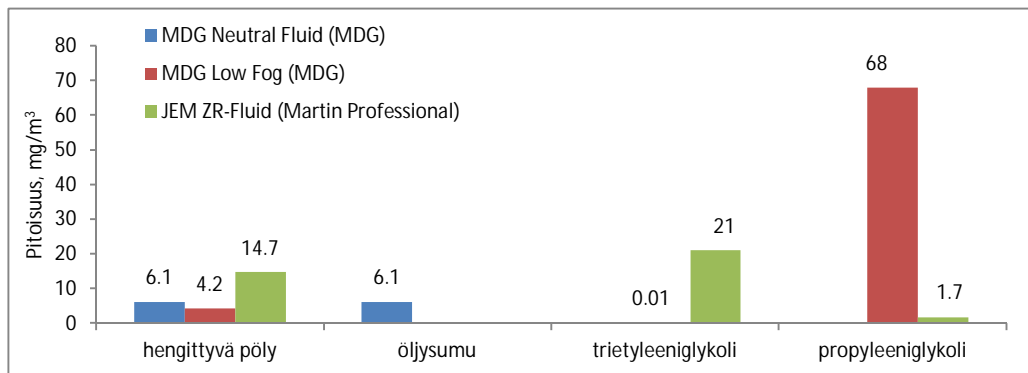


Kuva 21. Tehostesavunesteiden propionaldehydipitoisuus



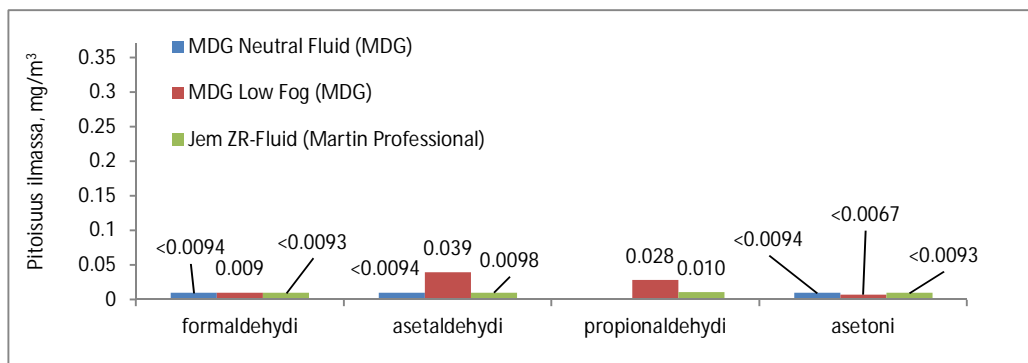
Kuva 22. Tehostesavunesteiden asetoniipitoisuus

Eniten teattereissa käytetyimmistä MDG Neutral Fluid -, MDG Low Fog - ja Jem ZR Fluid - tehostesavunesteistä tuotettiin altistuskammioon tehostesavua analysointia varten. Kuvassa 23 on esitetty simulaatiossa käytetyt keskimääräiset pitoisuustasot eri tehostesavuuilla. Kyseisten aineiden haitalliseksi tunnetut pitoisuudet on esitetty liitteessä 6 taulukossa 18. Testillä arvioitiin myös mahdollisten lämpöhajoamistuotteiden syntyä lämmittäessä nesteitä.



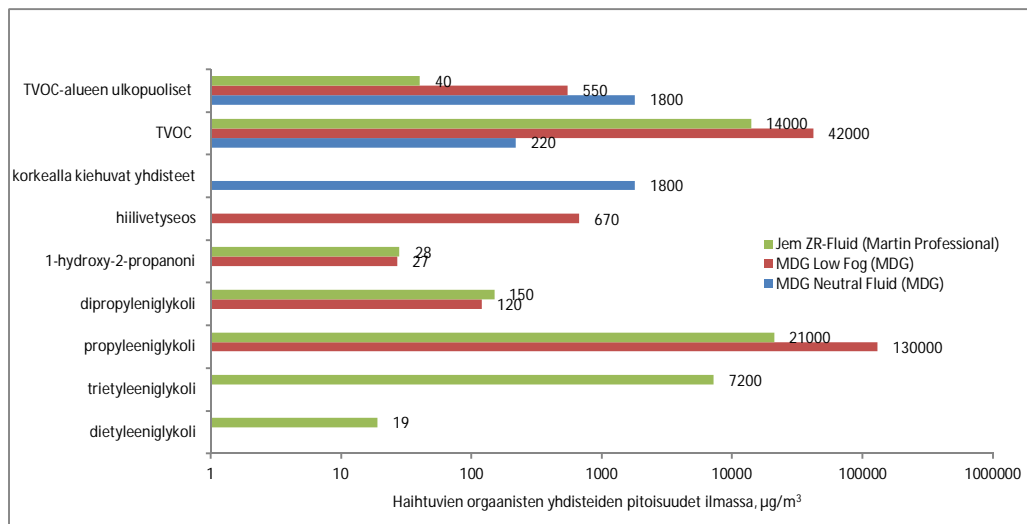
Kuva 23. Käytetyt keskimääräiset tehostesavupitoisuudet simulaatiotesteissä

Kuvassa 24 on esitetty kammioon simulaatiotestin aikana syntyneet keskimääräiset aldehydipitoisuudet eri tehostesavujen aikana.

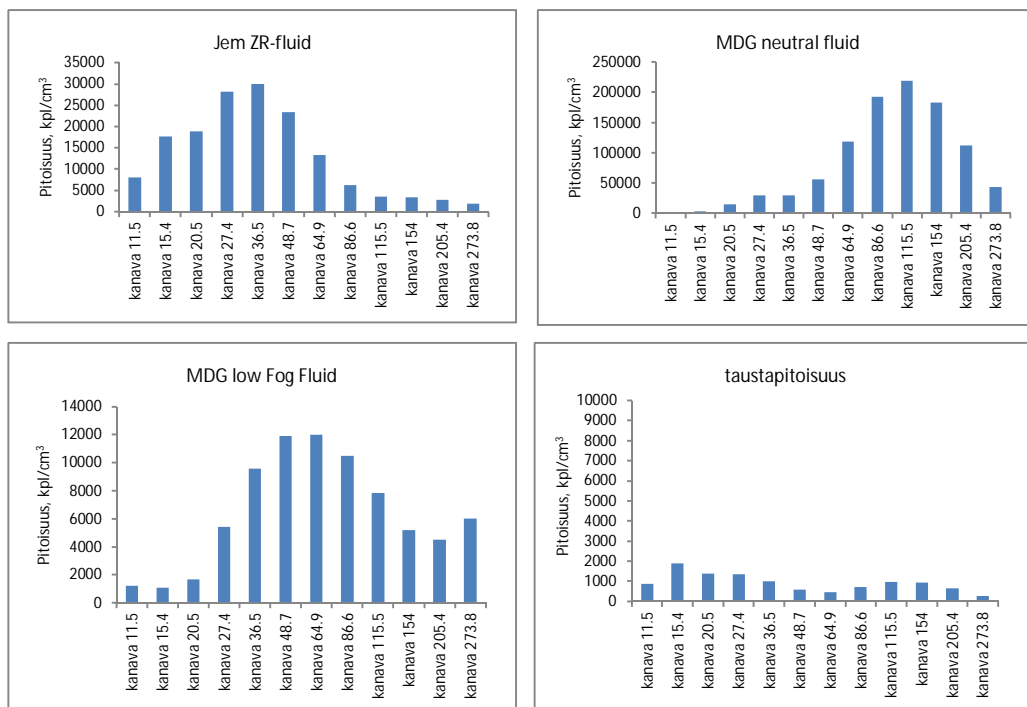


Kuva 24. Ilman keskimääräiset aldehydipitoisuudet kammiossa

Kuvassa 25 on esitetty kammioon simulaation aikana syntyneet merkittävimmät haihtuvat orgaaniset yhdisteet ja niiden keskimääräiset pitoisuudet eri tehostesavuuilla. Kuvassa 26 on puolestaan esitetty tuotetun savun ultrapienien hiukkasten hiukkaskokojakauma.



Kuva 25. Ilman haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet kammiossa



Kuva 26. Ultrapienten hiukkasten hiukkaskokojakauma eri tahostesavuja tuotettaessa

Kammion hiilimonoksidipitoisuus oli pieni alle 1 ppm kaikkien simulaatiotestien aikana. Hiilimonoksidin HTP_{8h} -arvo on 30 ppm (liite 6, taulukko 18).

Jem Zr Fluid -nesteen testin aikana hiilidioksidipitoisuus kammiossa ei noussut testauksen hiilidioksidipitoisuutta korkeammaksi. Sen sijaan testattaessa MDG Neutral Fluid -nestettä pitoisuus kohosi hieman taustapitoisuutta korkeammaksi ollen keskimäärin hieman alle 700 ppm. MDG Low Fog -nestestä tuotetulla tehostesavulla kammion hiilidioksidipitoisuus nousi tasolle 2700 ppm. Kahden jälkimmäisen tehostesavunesteen kohdalla nousut selittyivät osittain hiilidioksidiponneaineesta ja jälkimmäisessä tehostesavussa hiilidioksidi toimi ponneaineen lisäksi jäädyttävänä komponenttina, joten sitä purkautui tehostesavun mukana merkittävästi enemmän kammioon.

Tuotetuista savuista tutkittiin myös polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH). Glykolipohjaisesta Jem ZR Fluid -nestestä tuotetussa savussa kaikki höyrymäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat alle $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Sen sijaan hiukkasmaista PAH-yhdisteistä kaikkien muiden pitoisuudet, paitsi fenatreenin pitoisuus, olivat alle $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mitattu fenatreenin pitoisuus oli $0,010 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikki mitatut tulokset olivat pieniä verrattuna PAH-yhdisteistä syöpävaarallisimman bentso [a]pyreenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liite 6, taulukko 18).

Mineraaliöljypohjaisesta MDG Neutral Fluid -tehostesavunestestä tuotetusta tehostesavussa kaikkien höyrymäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet, paitsi naftaleenin pitoisuus, olivat alle $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naftaleenin pitoisuus oli $0,28 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Hiukkasmaisista PAH-yhdisteistä kaikkien muiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet paitsi fenatreenin pitoisuus alittivat pitoisuuden $0,007 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mitattu fenatreenin pitoisuus oli $0,011 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikki mitatut tulokset olivat pieniä verrattuna PAH-yhdisteistä syöpävaarallisimman bentso [a]pyreenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liite 6, taulukko 18).

Glykolipohjaisesta MDG Low Fog -nestestä tuotetusta matalassa tehostesavussa kaikkien höyrymäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet, paitsi naftaleenin pitoisuus, olivat alle $0,13 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naftaleenin pitoisuus oli $0,11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ja naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liite 6, taulukko 18). Hiukkasmaisista PAH-yhdisteistä kaikkien muiden PAH-yhdisteiden pitoisuudet, paitsi pyreenin pitoisuus, alittivat pitoisuuden $0,005 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Mitattu pyreenipitoisuus oli $0,030 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikki mitatut tulokset olivat

pieniä verrattuna PAH-yhdisteistä syöpävaarallisimman bentso[a]pyreenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen 10 µg/m³ (liite 6, taulukko 18).

4.2 Työhygieeniset mittaukset näyttämöillä ja studioissa

Keskimääräiset hengittyvän pölyn ja öljysumun pitoisuudet Suomen Kansallisoopperassa, Yleisradiolla ja Tampereen Työväen Teatterissa esitysten aikana on esitetty taulukoissa 1 ja 2. Orgaanisen hengittyvän pölyn ja öljysumun kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 5 mg/m³ (liite 6, taulukko 18).

Taulukko 1. Hengittyvän pölyn keskimääräiset pitoisuudet, vaihteluväli ja keskiluku

Hengittyvä pöly	keskiarvo	vaihtelu- väli	keski- luku	näyte- määrä
näyttämön edessä	0,9 mg/m ³	0,3-2,3 mg/m ³	0,5 mg/m ³	4
näyttämön takana ja ylhäällä	3,4 mg/m ³	0,2-5,9 mg/m ³	4,2 mg/m ³	3
orkesterin vierestä	0,6 mg/m ³	0,1-1,2 mg/m ³	0,5 mg/m ³	3

Taulukko 2. Öljysumun keskimääräiset pitoisuudet, vaihteluväli ja keskiluku

Öljysumu	keskiarvo	vaihtelu- väli	keski- luku	näyte- määrä
näyttämön edessä	1,7 mg/m ³	0,1-7,8 mg/m ³	0,1 mg/m ³	7
näyttämön takana ja ylhäällä	1,0 mg/m ³	0,1-2,9 mg/m ³	0,6 mg/m ³	5
orkesterin vierestä	0,6 mg/m ³	0,1-1,5 mg/m ³	0,1 mg/m ³	3
näyttämön alapuolelta	0,1 mg/m ³	0,1-0,1 mg/m ³	0,1 mg/m ³	2
henkilökohtaiset näytteet	2,6 mg/m ³	0,9-4,7 mg/m ³	2,6 mg/m ³	2

Taulukossa 3 on esitetty glykolyhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet esitysten aikana. Yhteensä glykolinäytteitä otettiin 19 kappaletta, joista neljä työntekijöiden hengitysvyöhykkeeltä ja 15 kiinteistä mittauspaikoista. Glykoliemämittauksissa on käytetty menetelmän määritysrajaa, mikäli jokin tulos on jäänyt määritysrajan alle. Suomessa on annettu kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus 50 mg/m^3 etyleeniglykolille johon tuloksia verrattiin (liite 6, taulukko 18).

Taulukko 3. Glykolyhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet kiinteissä mittauspaikoissa (n=19)

	Näyt- tämön edessä ja alhaalla		Näyt- tämön takana ja ylhäällä		Orkes- terin vieres- tä	
glykolit	keski- arvo, mg/m^3	vaihteluväli, mg/m^3	keski- arvo, mg/m^3	vaihteluväli, mg/m^3	keski- arvo, mg/m^3	vaihtelu- väli, mg/m^3
etyleeni- glykoli	<2,8	<0,1-11	<2,0	<0,4-5,3	<0,4	<0,1-<0,6
trietyleeni- glykoli	<0,1	-	4,7	-	-	<0,2
propyleeni- glykoli	<0,2	-	<0,3	<0,2-<0,3	-	<0,1

Henkilökohtaisten glykolinäytteiden (n=4) keskimääräinen etyleeniglykolipitoisuus oli $5,1 \text{ mg/m}^3$ ja vaihteluväli $4,8\text{-}5,3 \text{ mg/m}^3$.

Taulukoissa 4 ja 5 on esitetty keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden ja formaldehydipitoisuudet esitysten aikana. Formaldehydipitoisuuksien keskiarvojen laskennassa on käytetty mittausmenetelmän määritysrajaa, mikäli pitoisuus on jäänyt alle määritysrajan. Formaldehydin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on $370 \mu\text{g/m}^3$. Muista yhdisteistä havainnoitiin pieniä määriä asetdehydiä ja asetonia (liite 6, taulukko 18). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudelle on Työterveyslaitos antanut suositusarvon $3000 \mu\text{g/m}^3$ hyvälle teollisuusilmalle (Tuomi ym., 2012).

Taulukko 4. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet ja vaihteluväli (n=9)

	Näyttämön edessä		Näyttämön takana	
	keskiarvo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	vaihteluväli, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	keskiarvo, $\mu\text{g}/\text{m}^3$	vaihteluväli, $\mu\text{g}/\text{m}^3$
VOCs				
propyleeniglykoli	12704	4-43000	3900	
dipropyleeniglykoli	-	-	19	-
trietyleeniglykoli	26	12-54	-	-
propanoli	15	7-28	302	64-540
asetoni	27	16-48	-	-
korkealla kiehuvat yhdisteet	3400	400-6400	3400	400-6400
TVOC	2036	220-11000	840	380-1300
TVOC alueen ulkopuolella olevat yhdisteet	40	-	3385	670-6100

Taulukko 5. Formaldehydin keskimääräiset pitoisuudet, vaihteluväli ja keskiluku

Formaldehydi	keski-arvo	vaihtelu-väli	keski-luku	näyte-määrä
näyttämön edessä	<5,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<3,8-9,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	4
näyttämön takana ja ylhäällä	<11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	<4,7-<19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	9,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
orkesterin vierestä	<6,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	5,0-<8,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	6,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	3
henkilökohtaiset näytteet	4,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	-	4,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	1

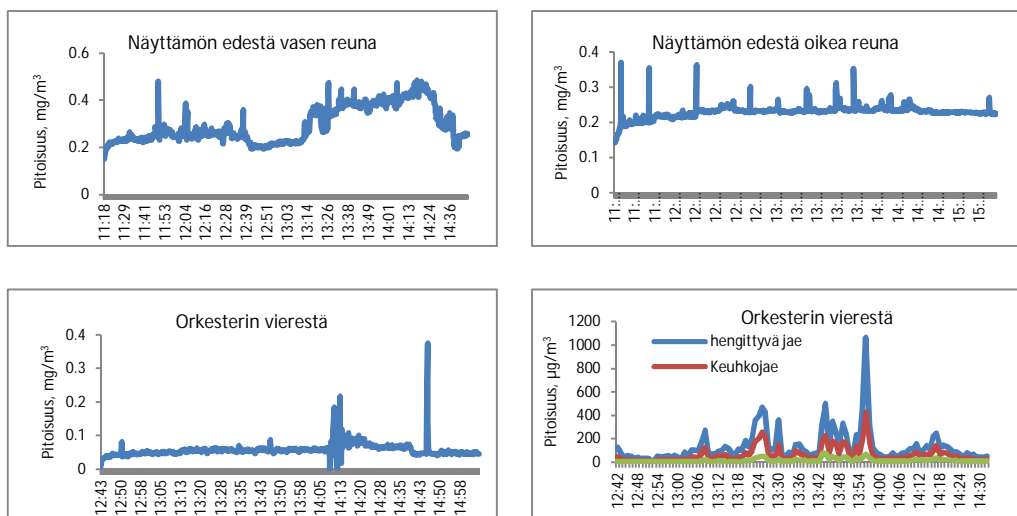
Esityksistä mitattiin myös myös polysyklisen aromaattisten hiilivetyjen pitoisuudet ilmassa. Taulukossa 6 on esitetty keskimääräisten naftaleenipitoisuuksien vaihtelu näyttämön eri osissa. Naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on $5000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liite 6, taulukko 18). Kaikki muut mitatut höyrymäisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet

olivat alle $0,08 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Kaikkien hiukasmaisten PAH-yhdisteiden pitoisuudet olivat alle $0,0058 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Naftaleenia lukuunottamatta kaikki mitatut tulokset olivat pieniä verrattuna PAH-yhdisteistä syöpävaarallisimman bentso[a]pyreenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (liite 6, taulukko 18).

Taulukko 6. Keskimääräiset naftaleenipitoisuudet näyttämöllä

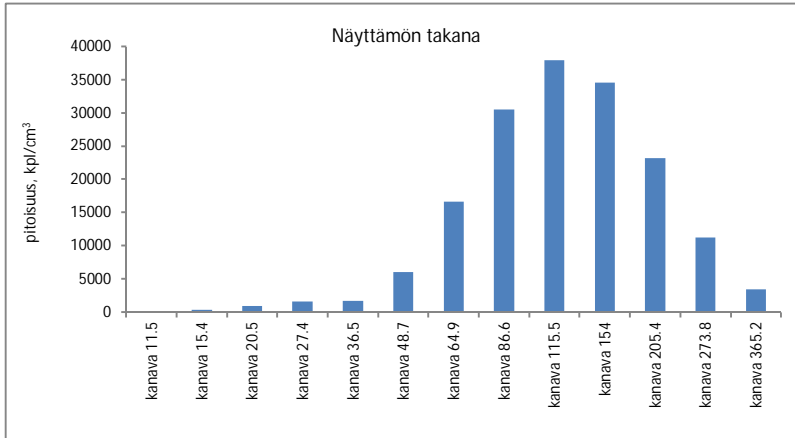
	keski- arvo	vaihteluväli	keski- luku	näyte- määrä
näyttämön edessä ja ylhäällä	$0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0,1-0,41 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$	4
näyttämön takana	$0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0,14-0,31 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0,24 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2
orkesterin vierestä	$0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0,16-0,27 \mu\text{g}/\text{m}^3$	$0,22 \mu\text{g}/\text{m}^3$	2

Keräävien mittausmenetelmien lisäksi näyttämöiltä mitattiin suoraanosoittavilla mittalaitteilla hengittyvän pölypitoisuuden ja sen eri jakeiden pitoisuuksien vaihtelua sekä hiilidioksid- ja hiilimonoksidipitoisuuden vaihtelua. Kuvassa 27 on esitetty hengittyvän pölypitoisuuden vaihtelua näyttämön edessä vasemmalla ja oikealla puolella sekä orkesterin vieressä esityksen aikana kohteessa 1. Neljäntenä kuvana on esitetty hengittyvän pölyn ja sen keuhko- ja alveolijakeen pitoisuusvaihtelu kyseisenä ajanjaksona.



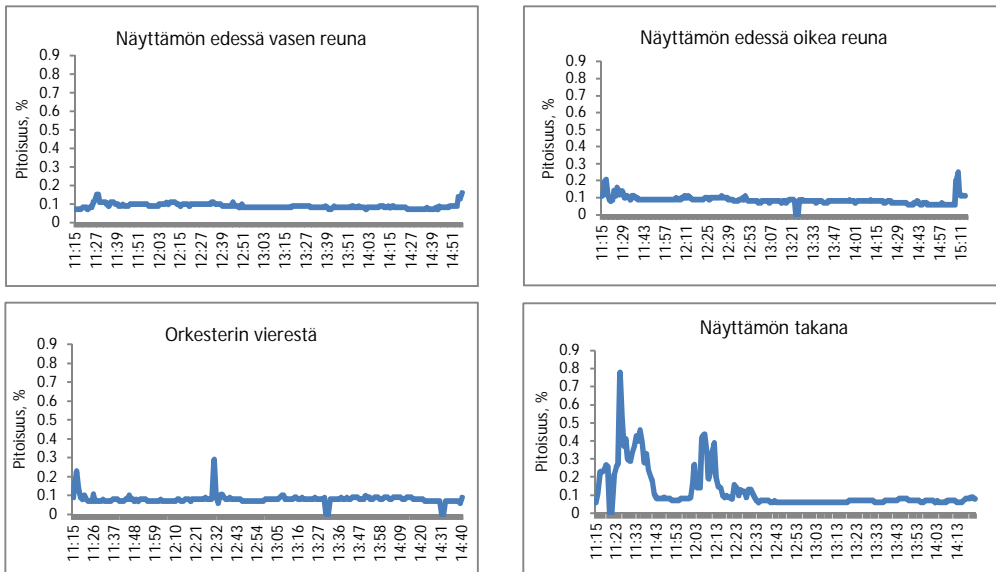
Kuva 27. Hengittyvän pölyn ja sen eri jakeiden pitoisuuksien vaihtelu esityksen aikana kohteessa 1

Kuvassa 28 on esitetty keskimääräinen ultrapienien hiukkasten profiili näyttämön takan- osan ilmassa esityksen aikana kohteessa 1.



Kuva 28. Nanohiukkasten keskimääräinen profiili esityksen aikana kohteessa 1

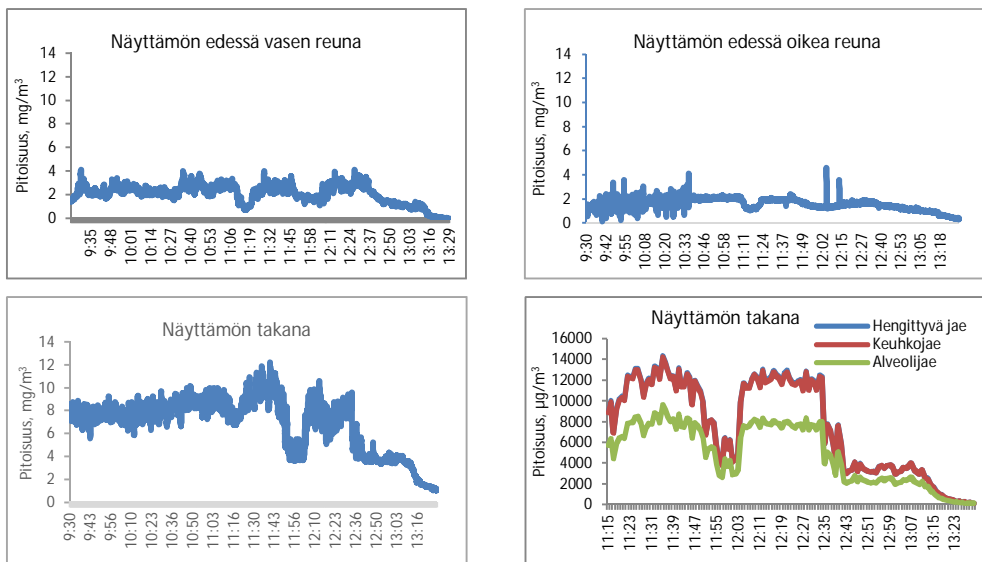
Kuvassa 29 on esitetty hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelu näyttämön eri osissa esityksen aikana kohteessa 1. Hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 % (liite 6, taulukko 18).



Kuva 29. Hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelu näyttämön eri osissa esityksen aikana kohteessa 1.

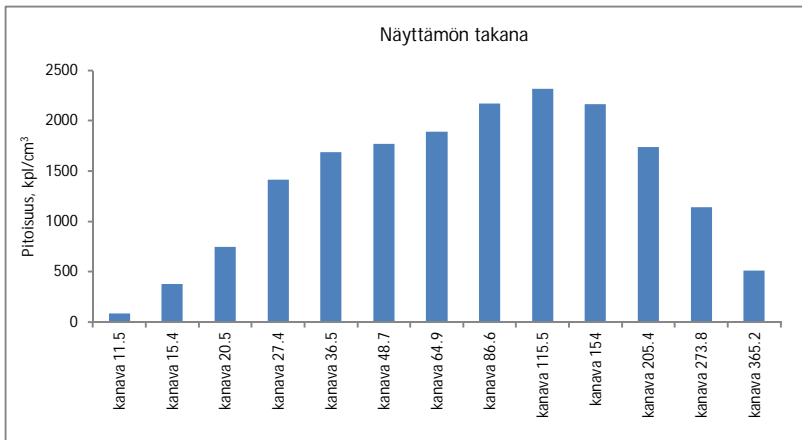
Kohteessa 1 mitatut kaikki hiilimonoksidipitoisuudet olivat alle 1 ppm, kun hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 30 ppm (STM 2014) (liite 6, taulukko 18).

Kohteessa kaksi mitatut hengittyvän pölyn pitoisuusvaihtelut näyttämön eri osissa harjoituksen ja esityksen on esitetty kuvassa 30. Hengittyvän orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 5 mg/m³. Neljäntenä kuvana on esitetty hengittyvän pölyn ja sen keuhko- ja alveolijakeen pitoisuusvaihtelu.

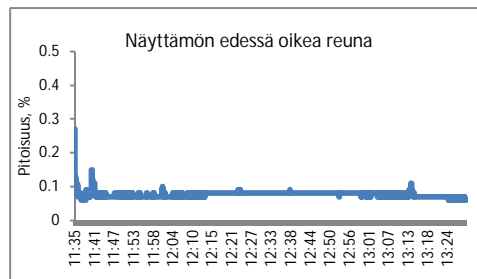
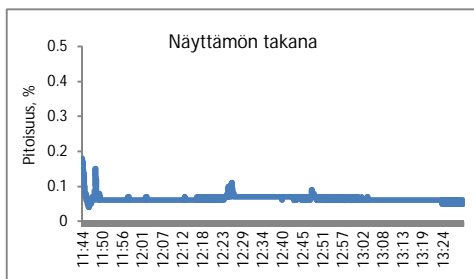
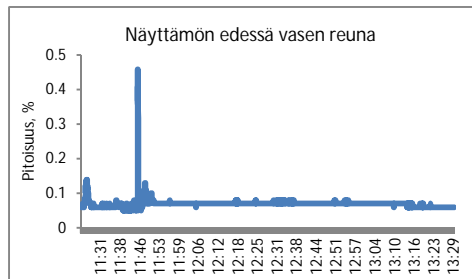


Kuva 30. Hengittyvän pölyn ja sen eri jakeiden pitoisuuksien vaihtelu esityksen aikana-kohteessa 2

Kuvassa 31 on esitetty keskimääräinen ultrapienien hiukkasten profiili näyttämön takaosan ilmassa esityksen aikana kohteessa 2. Kuvassa 32 on esitetty hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelu näyttämön eri osissa esityksen aikana kohteessa 2. Hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 % (liite 6, taulukko 18).



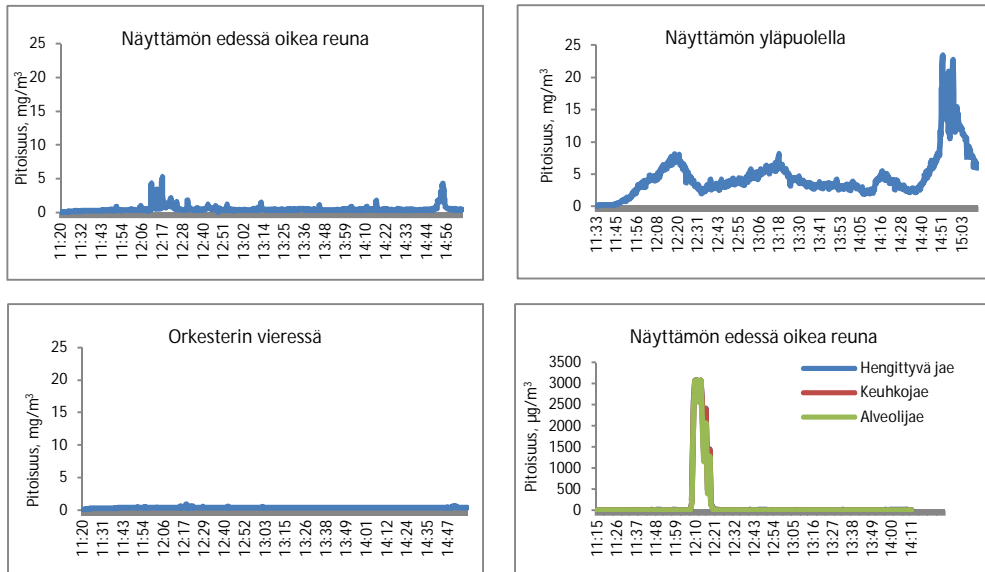
Kuva 31. Ultrapinien hiukkasten keskimääräinen profiili esityksen aikana kohteessa 2



Kuva 32. Hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelu näyttämön eri osissa esityksen aikana kohteessa 2.

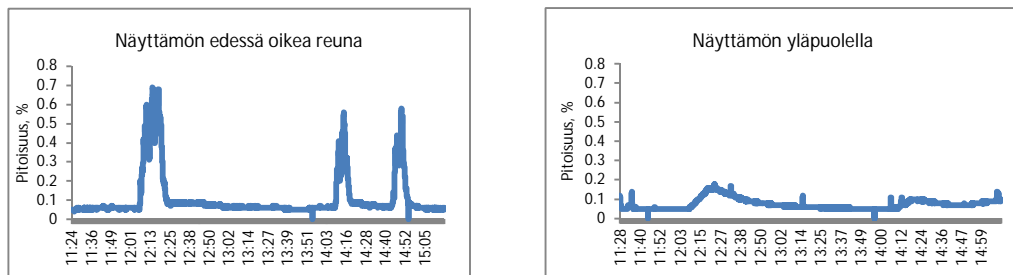
Kohteessa 2 kaikki mitatut hiilimonoksidipitoisuudet olivat alle 1 ppm. Hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 30 ppm (liite 6, taulukko 18).

Kohteessa kolme mitatut hengittyvän pölyn ja sen keuhko- ja alveolijakeen pitoisuusvaihtelut näyttämön eri osissa harjoituksen ja esityksen aikana on esitetty kuvassa 33. Kohteessa ei mitattu ultrapienien hiukkasten keskimääräistä profiilia näyttöksen aikana.



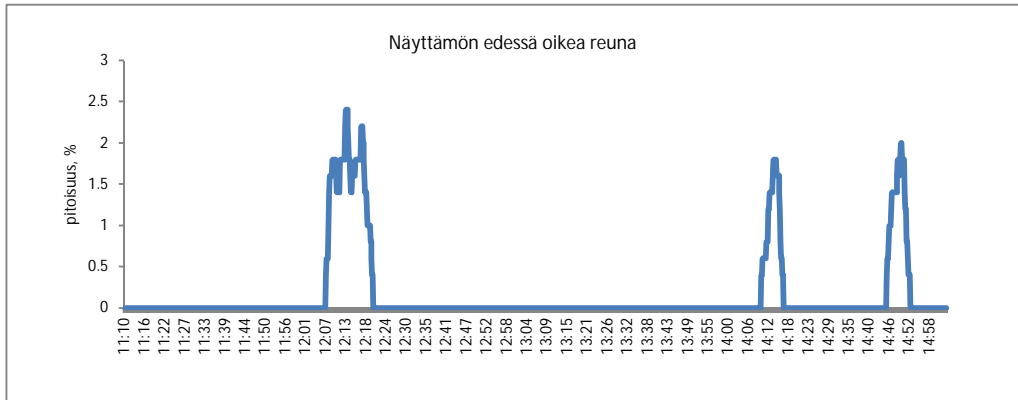
Kuva 33. Hengittyvän pölyn ja sen eri jakeiden pitoisuuksien vaihtelu esityksen aikana kohteessa 3

Kuvassa 34 on esitetty hiilidioksidipitoisuuksien vaihtelu näyttämön eri osissa esityksen aikana kohteessa 3. Hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 % (liite 6, taulukko 18).



Kuva 34. Hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu esityksen aikana näyttämön eri osissa kohteessa 3.

Kuvassa 35 on esitetty hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu näyttämön edessä oikealla reunalla mitattuna 10 cm korkeudelta lattian pinnasta kohteessa 3. Tämä mittaus haluttiin tehdä, koska kyseisessä kohteessa käytettiin kolmesti matalaa savua. Hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 % (liite 6, taulukko 18).



Kuva 35. Hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu esityksen aikana näyttämön edessä oikealla reunalla mitattuna 10 cm korkeudelta maanpinnasta kohteessa 3.

Kohteessa 3 kaikki mitatut hiilimonoksidipitoisuudet olivat alle 1 ppm, kun hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 30 ppm (liite 6, taulukko 18).

4.3 Työhygieeniset mittaukset savusukellussimulaattoreissa

Taulukossa 7 on esitetty keskimääräiset hengittyvän pölyn ja glykolien pitoisuudet (n=6) Palotalo-simulaattorin porraskäytävässä ja Sapolab-simulaattorin sisällä sekä savusukellusopettajien hengitysvyöhykkeellä (n=6) heidän ollessa ilman suojaimia harjoitusten aikana.

Taulukko 7. Keskimääräiset hengittyvän pölyn ja glykolin pitoisuudet, tulosten vaihteluvälit ja keskiluvut savusukellussimulaattoreissa (n=6) ja savusukellusopettajien hengitysvyöhykkeellä (n=6) heidän ollaessa ilman suojaamia harjoitusten aikana

simulaattori	Sapalab			Palotalo		
	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	keskiluku, mg/m ³	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	keskiluku, mg/m ³
hengittyvä pöly, simulaattorissa	330	41-810	250	44	4,2-180	9
hengittyvä pöly, henkilökohtainen	1,3	0,7-2,2	1,3	1,5	0,8-2,1	1,9
trietyleeniglykoli	540	330-730	560	-	-	-
propyleeniglykoli	330	46-540	280	-	-	-

Taulukossa 8 on esitetty laskennalliset keskimääräiset aldehydipitoisuudet savusukellussimulaattoreissa opettajan hengitysvyöhykkeellä heidän savusukelluksen aikana.

Taulukko 8. Keskimääräiset aldehydipitoisuudet ja niiden vaihteluväli opettajan hengitysvyöhykkeellä savusukellustehtävän aikana suojaimen ulkopuolella (n=4)

	Palotalo		Sapalab		
	keski-arvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	HTP-arvo, mg/m ³
Asetaldehydi	0,07	0,06-0,07	1,2	1,1-1,4	46*
Bentsaldehydi	4,0	4,0-4,1	0,07	-	4,4
Butyyrialdehydi	0,29	0,25-0,32	-	-	74
Formaldehydi	28	25-29	1,6	1,2-2,1	0,37

* =HTP_{15min}

Taulukossa 9 on esitetty palotalo-simulaattorin porraskäytävästä mitatut keskimääräiset aldehydipitoisuudet harjoitusten aikana ja mitattujen aldehydien HTP-arvot.

Taulukko 9. Aldehydien keskimääräiset pitoisuudet, vaihteluväli ja keskiluku Palotalo-simulaattorissa (n=5)

aldehydi	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	keskiluku, mg/m ³	HTP-arvo, mg/m ³
akkroleiini	0,33	0,11-0,80	0,21	0,23**
asetaldehydi	1,37	0,20-2,40	1,50	46
asetoni	0,11	0,03-0,23	0,05	1200
bentsaldehydi	0,16	0,03-0,33	0,20	4,4
butyyrialdehydi	0,04	0,01-0,07	0,04	74
formaldehydi	1,25	0,33-3,30	0,39	0,37
krotonaldehydi	0,07	0,01-0,14	0,06	0,29
propionaldehydi	0,16	0,02-0,21	0,20	48
heksanaali	0,02	-	0,02	42*
valeraldehydi	0,02	-	0,02	110

*=HTP 15 minuutin -arvo, **=kattoarvo

Taulukossa 10 on esitetty SAPALAB-simulaattorin sisältä mitatut keskimääräiset aldehydi-pitoisuudet harjoitusten aikana ja niiden HTP-arvot.

Taulukossa 11 on esitetty keskimääräiset PAH-yhdisteiden pitoisuudet simulaattoreissa (n=6). Naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 5000 µg/m³ ja bentso[a]pyreenin 10 µg/m³ (liite 6, taulukko 18).

Taulukossa 12 on esitetty laskennalliset keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet savusukellussimulaattoreissa opettajan hengitysvyöhykkeellä heidän savusukelluksen aikana eli kun he käyttivät hengityksensuojaimia.

Taulukko 10. Aldehydien keskimääräiset pitoisuudet, vaihteluväli ja tulosten keskiluku Sapalab-simulaattorissa (n=6) sekä aldehydien HTP-arvot

aldehydi	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	keskiluku, mg/m ³	HTP- arvo, mg/m ³
akkroleiini	0,26	0,01-0,55	0,24	0,23**
asetaldehydi	1,8	0,45-4,00	1,4	46*
asetoni	0,19	0,08-0,35	0,19	1500
bentsaldehydi	0,05	0,02-0,81	0,05	4,4
butyyrialdehydi	0,01	-	0,01	74
formaldehydi	2,7	0,66-5,60	1,9	0,37
krotonaldehydi	0,02	0,02-0,25	0,02	0,29
propionaldehydi	0,27	0,04-0,57	0,25	48
valeraldehydi	0,01	-	0,01	110
2-butanoni	0,03	-	0,03	300

* =HTP_{15min}

** =kattoarvo

Taulukko 11. Keskimääräiset PAH-yhdisteiden pitoisuudet, vaihteluväli ja tulosten keski-luku savusukellussimulaattoreissa

	Palotalo		Sapalab			
	keskiarvo, µg/m ³	vaihtelu- väli, µg/m ³	keski- luku, µg/m ³	keski- arvo, µg/m ³	vaihtelu- väli, µg/m ³	keski- luku, µg/m ³
naftaleeni	190	33-530	120	200	10-560	0,7
asenaftyleeni	22	0,3-63	5,1	25	0,6-100	3,6
asenafteeni	1,9	0,1-6,1	0,3	1,0	0,2-3,2	0,2
fluoreeni	4,5	0,2-14	1,5	7,4	0,4-36	1,3
fenantreeni	72	0,5-320	16	63	3,9-300	21
antraseeni	19	0,2-89	3,4	10	0,9-52	1,4
fluoranteeni	110	0,3-490	15	74	5,4-360	28
pyreeni	120	0,3-530	16	100	7,8-520	31
bentso(a)antraseeni	28	0,2-130	3,7	18	1,4-93	2,0
kryseeni	33	0,2-150	3,6	15	1,3-78	1,9
bentso(b)fluoranteeni	23	0,2-100	3,2	12	1,2-41	5,8
bentso(k)fluoranteeni	31	0,1-100	1,4	17	1,4-86	4,1
bentso(a)pyreeni	34	0,2-160	2,6	11	1,7-34	7,2
indeno(1, 2, 3- cd)pyreeni	38	0,2-180	2,5	15	1,8-53	8,6
dibentso(a,h)antraseeni	5,9	0,1-27	0,6	0,8	0,2-2,6	0,1
bentso(ghi)peryleeni	32	0,2-150	2,1	28	2,4-130	11

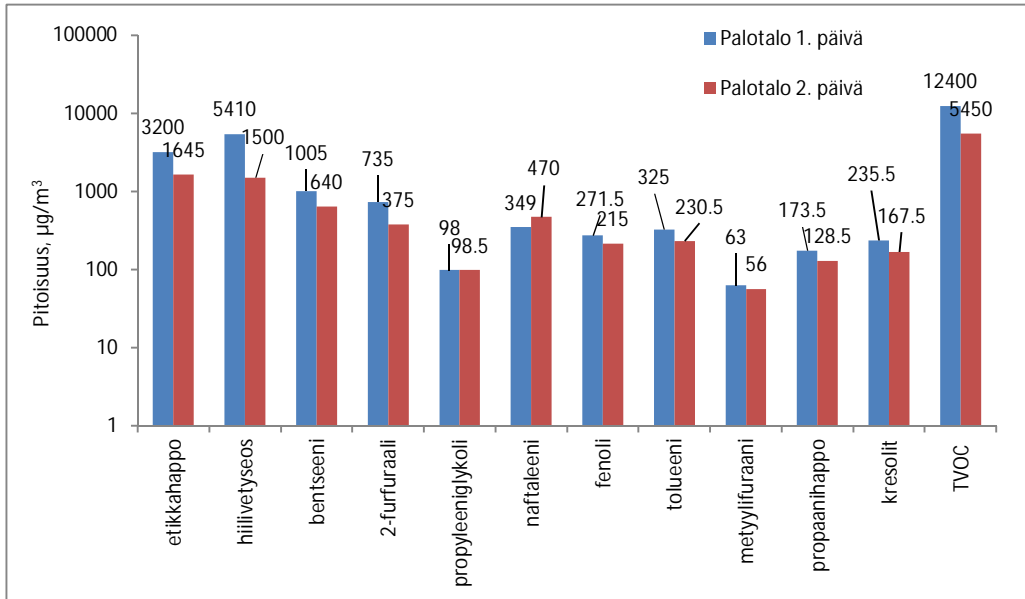
Taulukko 12. Keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ja niiden vaihteluväli opettajan hengitysvyöhykkeellä savusukellustehtävän aikana (n=4) sekä mitattujen aineiden HTP-arvot (STM, 2014)

	Palotalo		Sapalab		HTP-arvo, mg/m ³
	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	keskiarvo, mg/m ³	vaihteluväli, mg/m ³	
Bentseeni	74	73-76	2.0	1,7-2,3	3,25**
Furfuraali	33	31-35	-	-	8,00
Liuotinben- siinit, ryhmä 1	1000	1000-1100	-	-	500
Naftaleeni	13	12-14	-	-	5
Tolueeni	10	10-11	-	-	81
n-propaani	-	-	40	33-47	1500
TVOC	1300	1280-1300	45	37-54	0,3*

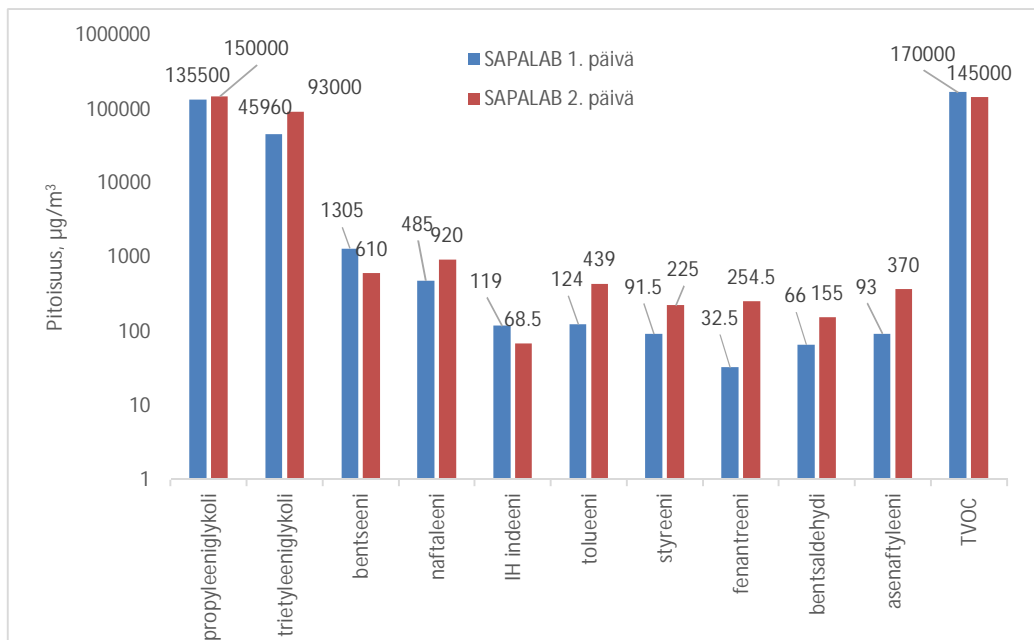
*= TTL:n suositusarvo hyvälle teollisuusilmalle

**=sitova raja-arvo, jota ei saa ylittää

Kuvassa 36 on esitetty tärkeimmät mitatut haihtuvat orgaaniset yhdisteet Palotalo-simulaattorista ja kuvassa 37 vastaavat tulokset Sapalab-simulaattorista.



Kuva 36. Tärkeimmät mitatut haihtuvat orgaaniset yhdisteet Palotalo-simulaattorista



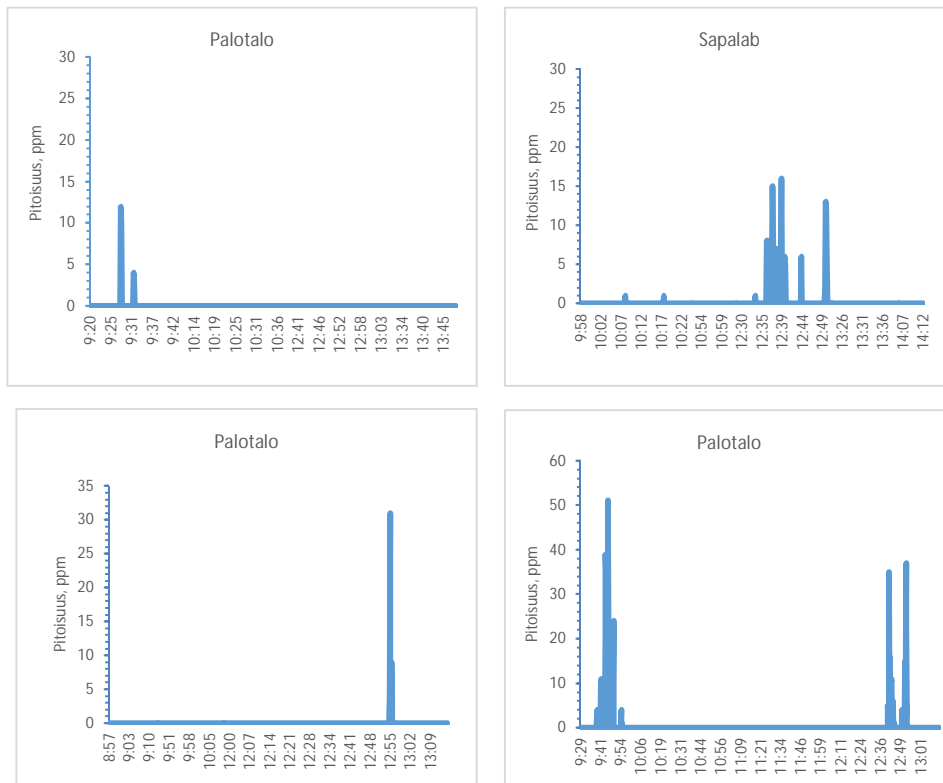
Kuva 37. Tärkeimmät mitatut haihtuvat orgaaniset yhdisteet Sapalab-simulaattorista

Taulukossa 13 on esitetty palotalo-simulaattorista kiinteästä mittauspaikasta mitatut haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tulokset, jotka on mitattu enemmän kuormitusta kestäväällä aktiivihuilimenetelmällä. Samalla taulukossa on esitetty savusukellusopettajien hengitysvyöhykkeeltä mitatut keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet siltä ajalta kun he eivät käyttäneen hengityksensuojainta.

Taulukko 13. Kiinteästä mittauspaikasta (n=5) ja opettajien hengitysvyöhykkeeltä (n=8) mitatut keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet, vaihteluväli ja tulojen keskiluku

	Palo- talo, kiinteä			Palotalo, Sapalab, henkilö- henkilö- kohtainen kohtainen			
	keski- arvo, mg/m ³	vaihtelu- väli, mg/m ³	keski- luku, mg/m ³	keski-arvo, mg/m ³	vaihtelu- väli, mg/m ³	keski- arvo, mg/m ³	vaihtelu- väli, mg/m ³
naftaleeni	0,9	0,7-1	1,0	<0,9	<0,5-<1,3	<0,9	<0,5-<1,3
asetoni	0,6	0,4-0,7	0,7	-	-	-	-
bentseeni	2,2	0,1-3,2	2,6	<0,4	<0,2-<0,5	<0,4	<0,2-<0,5
butaanit	-	-	-	<0,7	<0,5-<0,8	<0,7	<0,4- 0,7
furfuraali	0,6	0,1-1,4	0,6	-	-	-	-
liuotin- benssiinit, ryhmä 1	10	0,4-24	7,9	-	-	-	-
styreeni	0,5	0,4-0,5	0,5	-	-	-	-
tolueeni	0,8	0,6-0,9	0,9	-	-	-	-

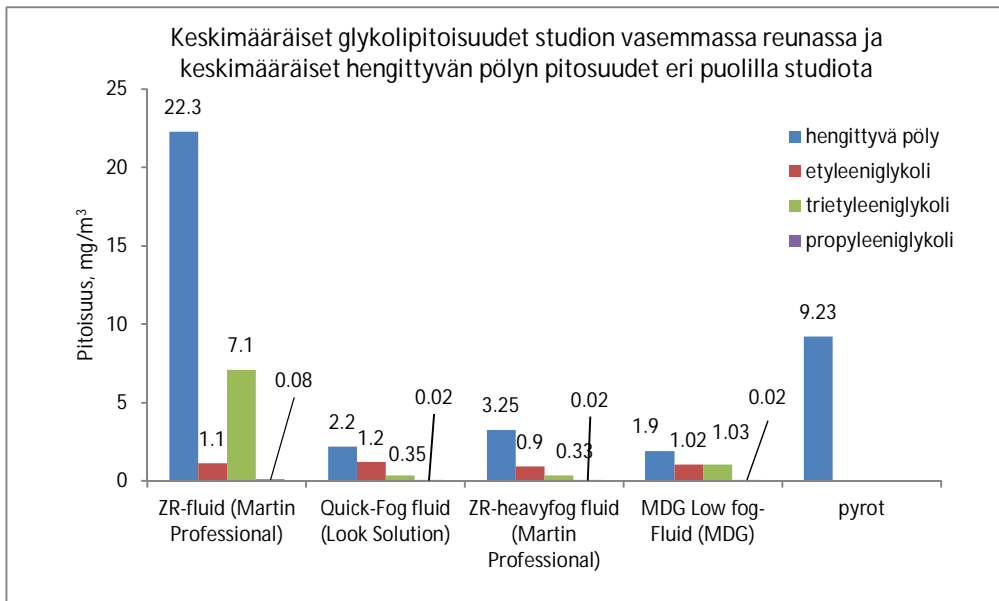
Kahdentoista savusukellusopettajan hengitysvyöhykkeeltä mitattiin hiilimonoksidipitoisuus siltä ajalta kun he eivät käyttäneet hengityksensuojainta harjoituspäivänä. Neljältä kahdestatoista löytyi hiilimonoksiditumista. Näiden koehenkilöiden pitoisuusvaihtelut on esitetty kuvassa 38.



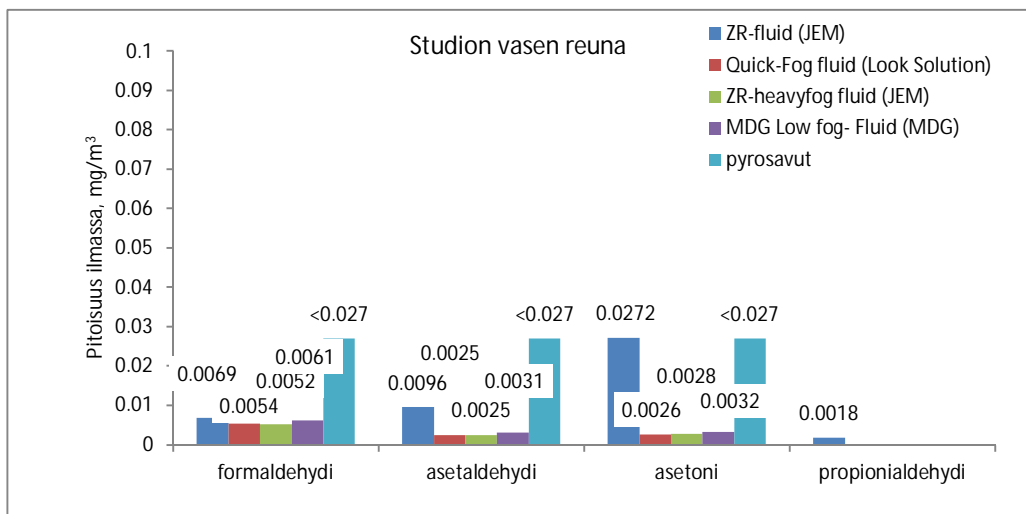
Kuva 38. Savusukellusopettajien (n=12) hengitysvyöhykkeeltä löydetyt hiilimonoksidaltistumiset (4 kpl), kun he eivät käyttäneet hengityksensuojainta

4.4 Simulaatiomittaukset studiossa

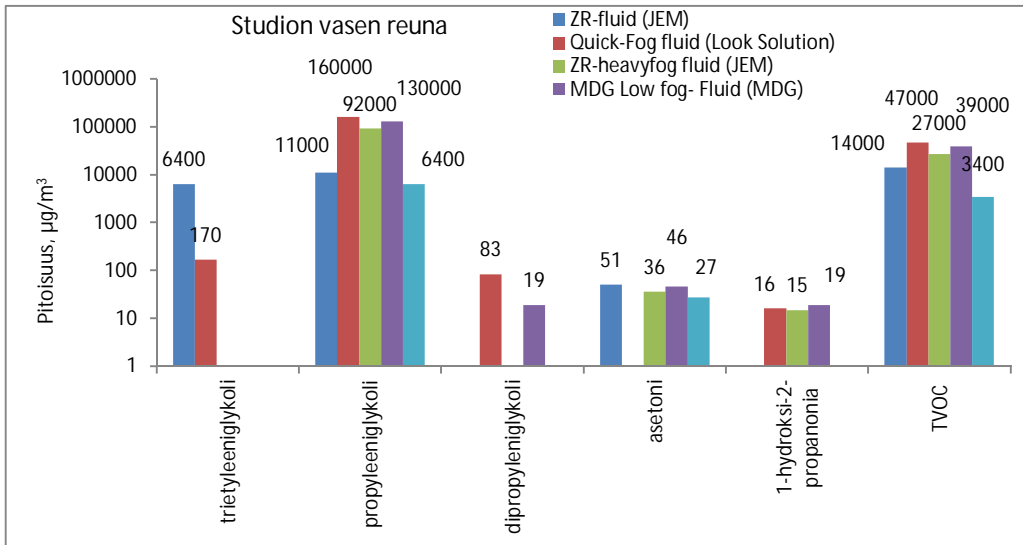
Yleisradion studiossa kokeilimme näyttämöllä tapahtuvaa pahinta mahdollista altistumislannetta tehostesavuille viidellä erilaisella tehostemenetelmällä. Kuvassa 39 on esitetty keskimääräiset hengittyvän pölyn, glykolin ilmapitoisuudet käytetyissä simulaatioissa. Kuvassa 40 on esitetty mitattujen aldehydien ja kuvassa 41 haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet.



Kuva 39. Mitatut keskimääräiset hengittävän pölyn ja glykolien pitoisuudet simulaatiokokeissa studion eri osissa.

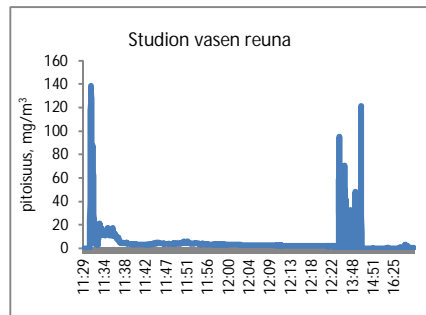
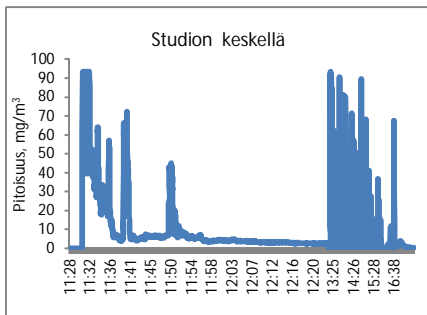


Kuva 40. Mitatut keskimääräiset aldehydien pitoisuudet simulaatiokokeissa studion vasemmassa reunassa



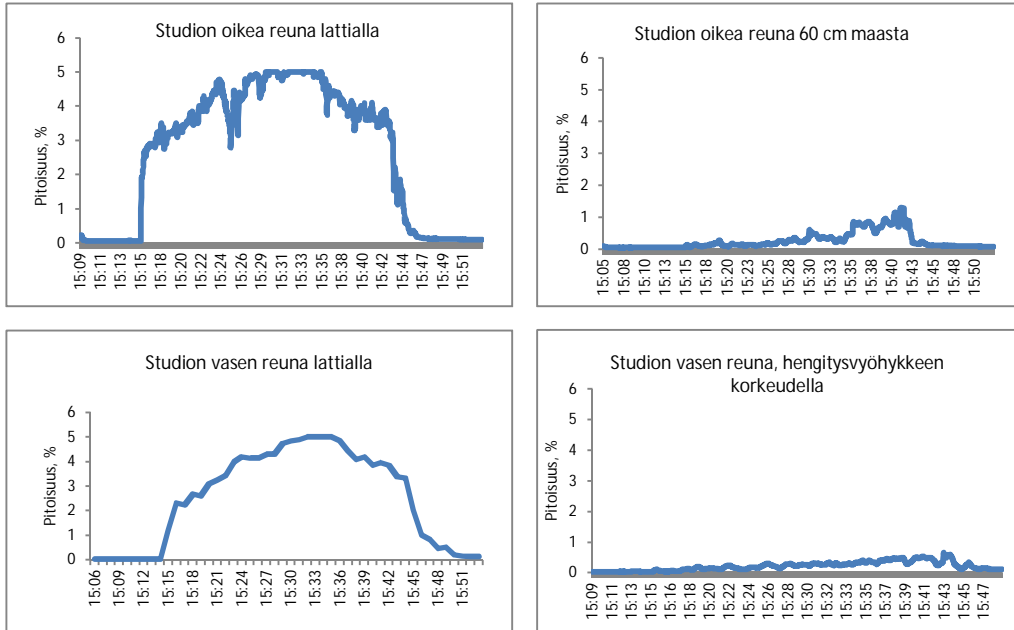
Kuva 41. Mitatut keskimääräiset haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet simulatiokokeissa studion vasemmassa reunassa.

Kuvassa 42 on esitetty hengittyvän pölypitoisuuden vaihtelua testien aikana. klo 11.29-11.50 testasimme glykolipohjaista Jem Zr Fluid –tehostesavunestettä ja savu tuotettiin savukoneella ZR 33 Jem Hi-Mass (Martin Professional). Klo 13.20-14.00 testasimme Quick Fog Fluid-tehostesavunestettä, joka tuotettiin aerosoliksi savukoneella Viper 2,6 (Look Solution). Kolmanneksi klo 14.17-14.53 testasimme JEM ZR-heavyfog fluid-tehostesavunestettä ja savu tuotettiin savukoneella Jem Glaciator (Martin Professional). Klo 15.14-15.59 kokeilimme Low Fog Fluid-tehostesavunestettä ja savukonetta MDG Ice Fog Compactia (MDG) jonka ponneaineena on 100 % hiilidioksidi. Lopuksi klo 16.23-17.07 testasimme pyroteknisistä tuotteista yhtä 15 x 15 silvergerb kipinäsuihkua (klo 16.23), yhdeksää 15 x 15 silvergerb kipinäsuuhkua (klo 16.29) ja 4 x 25 g mustaruutipanosta (klo 16.37).



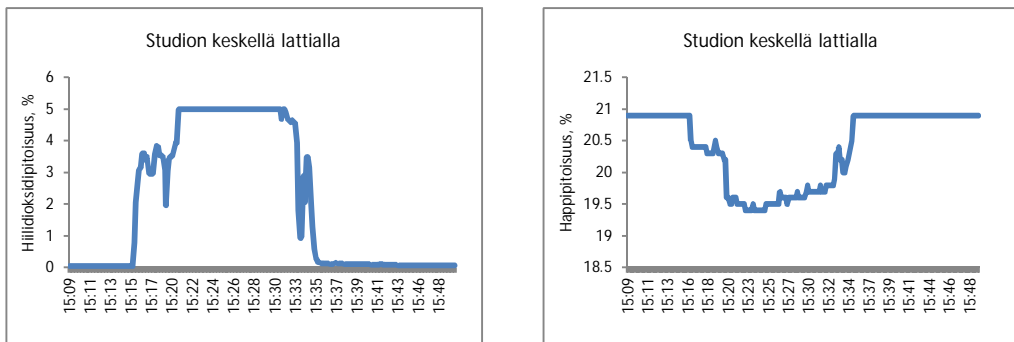
Kuva 42. Hengittyvän pölypitoisuuden vaihtelu studion eri osissa käytettäessä erilaisia tehosteita

Kuvassa 43 on esitetty hiilidioksidipitoisuuden vaihtelut simulaatiokokeissa MDG Ice Compact –koneella tuotetulla tehostesavulla studion eri osissa eri korkeuksilla.



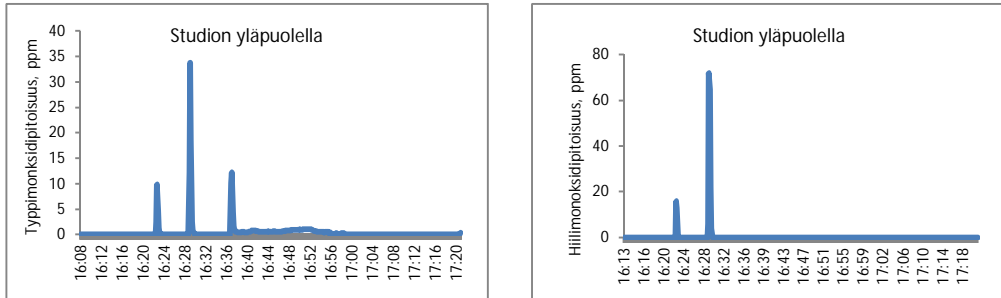
Kuva 43. Hiilidioksidipitoisuuden vaihtelu studion eri osissa ja eri korkeuksilla käytettäessä Ice compact- savukonetta

Kuvassa 44 on esitetty tuotettujen hiilidioksidipitoisuuksien vaikutus ilman happipitoisuuteen lattialla keskellä studiota.



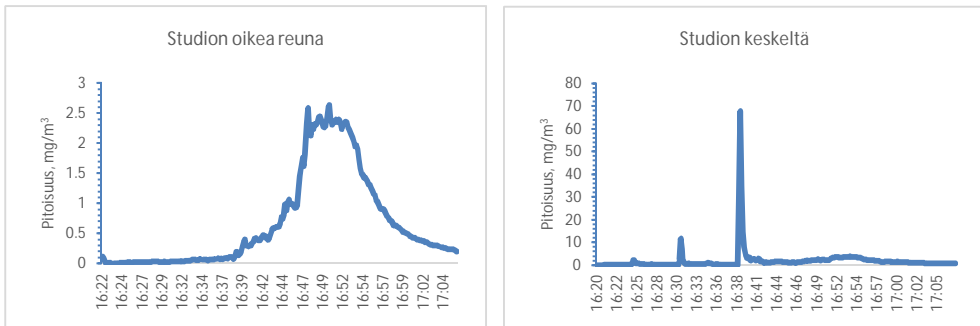
Kuva 44. Hiilidioksidipitoisuuksien vaikutus ilman happipitoisuuteen

Kuvassa 45 on esitetty studion typpimonoksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksien vaihtelua näyttämön yläpuolella yhden hopeakerbin ja mustaruutipanoksen jälkeen.



Kuva 45. Typpimonoksidi- ja hiilimonoksidipitoisuuksien vaihtelua studion yläpuolella pyroteknisten tuotteiden käytön aikana

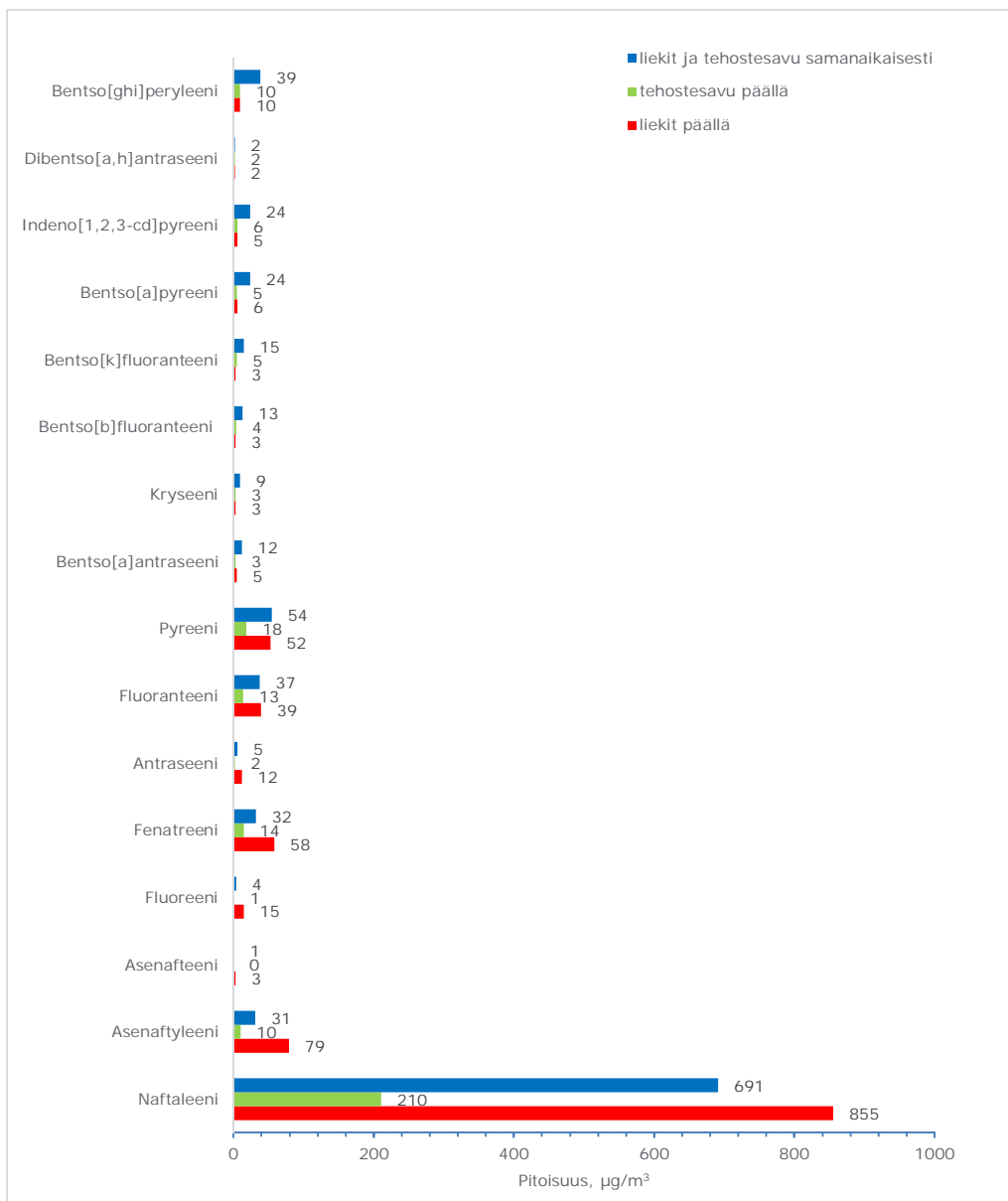
Kuvassa 46 on esitetty hengittävän pölypitoisuuden vaihtelua pyroteknisten tuotteiden käytön aikana.



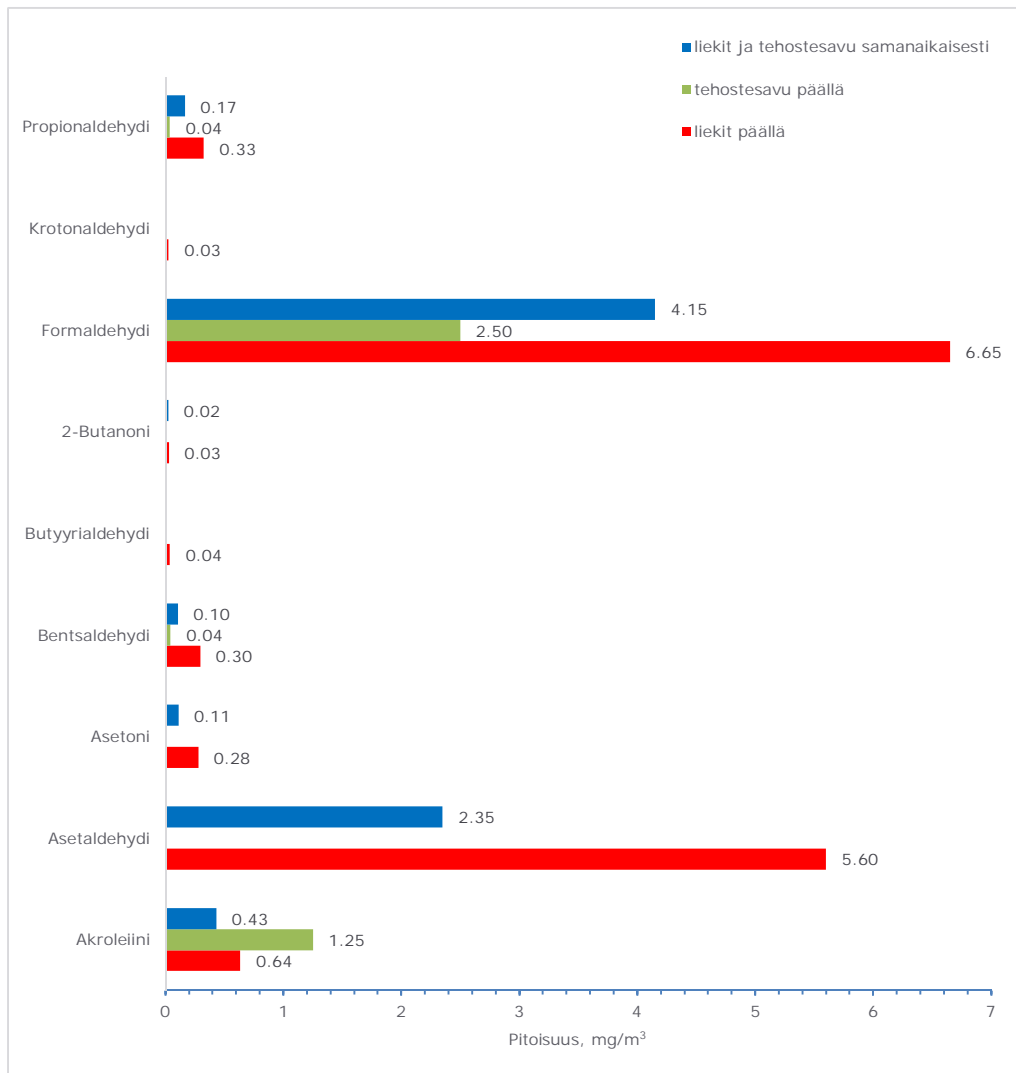
Kuva 46. Hengittävän pölypitoisuuden vaihtelua pyroteknisten tuotteiden käytön aikana

4.5 Simulaatiomittaukset savusukellussimulaattoreissa

Ensimmäisissä simulaatiotesteissä Sapolab-simulaattorissa testasimme kuinka eri tehosteet vaikuttavat epäpuhtauksien syntyyn simulaattorissa. Teimme koesarjan, jossa ensin poltimme pelkästään kaasuliekkejä huoneistossa 1. Toisessa vaiheessa tuotimme tilaan vain pelkästään tehostesavua ja kolmannessa vaiheessa tuotimme liekkejä ja savua samanaikaisesti. Mittasimme polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä ja aldehydejä. Tulokset on esitetty kuvissa 47 ja 48.

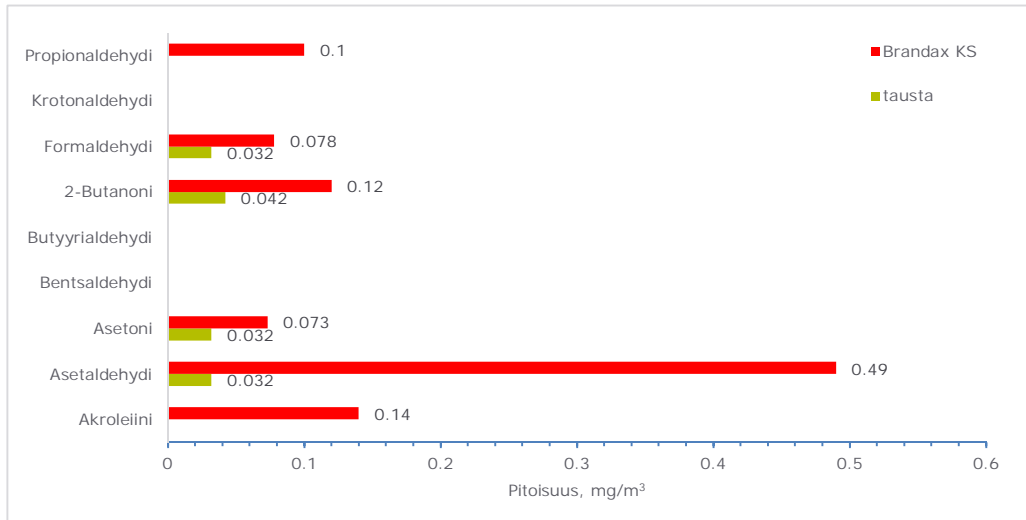


Kuva 47. Polysyklisten aromaattisten yhdisteiden keskimääräiset pitoisuudet simulaatiotestien aikana Sapalabissa

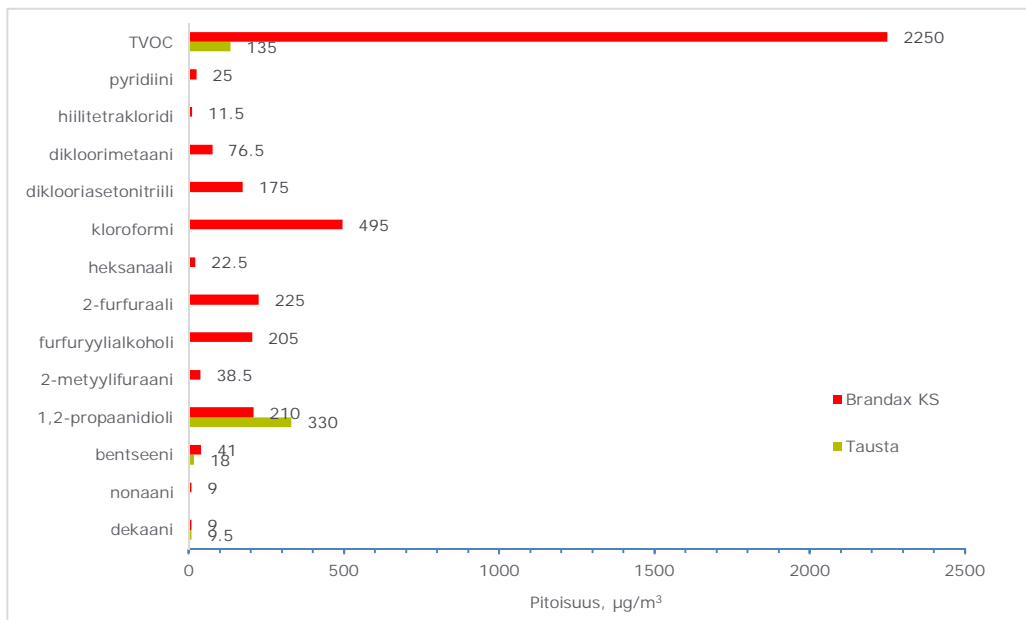


Kuva 48. Aldehydien keskimääräiset pitoisuudet simulaatiotestien aikana Sapalabissa

Palotalossa testattiin Brandax KS- tehostesavun päästöjä vapaana olevassa huonetilassa (tilavuus 50 m³), josta ennen testin alkua mitattiin taustapitoisuudet. Kuvissa 49 ja 50 on esitetty mittaustulokset.

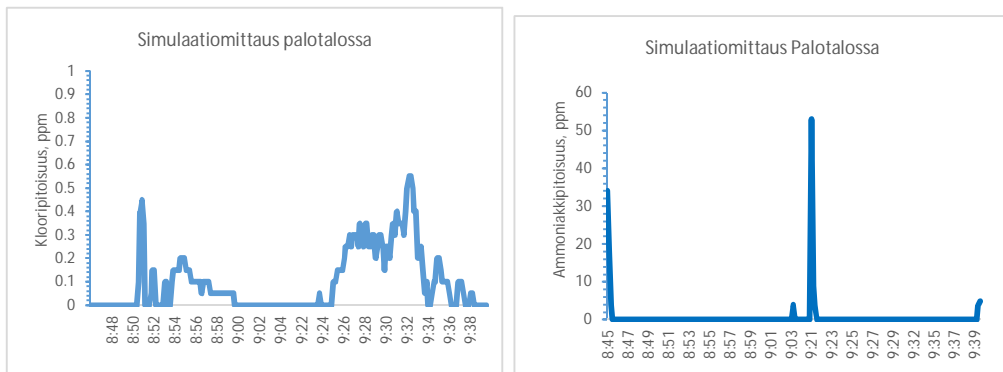


Kuva 49. Brandax KS –tehostesavun käytön aikana vapautuneet aldehydipäästöt



Kuva 50. Brandax KS -tehostesavun käytön aikana vapautuneet haihtuvien orgaanisten yhdisteiden päästöt

Brandax VS (pieni savu) ja KS (suuri savu) -tuotteita käytettäessä mitattiin myös hiilimonoksidin, ammoniakkin ja kloorin pitoisuudet. Kuvassa 51 on esitetty ammoniakkin ja kloorin pitoisuudet testaushuonetilassa pienemmän Brandax VS savun aikana (klo 8.45-9.00) ja isomman Brandax KS savun aikana (klo 9.22-9.40). Kloorin viidentoista minuutin HTP-arvo on 0,5 ppm ja ammoniakkin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus ovat 20 ppm (liite 6, taulukko 18).



Kuva 51. Kloori- ja ammoniakkipitoisuudet Palotalo-simulaattorin huonetilassa Brandax VS- ja KS –savupanosten käytön aikana

Toisessa simulatiomittauksessa selvitettiin Pelastusopiston SAPALAB-simulaattorissa kuinka kaasun polttaminen veden pinnalla vaikuttaa simulaattorin aldehydi-, typenoksidihididioksidin ja hiilimonoksidipäästöihin. Mittasimme simulaattorista epäpuhtauspitoisuuksia, kun simulaattorissa poltettiin kaasua veden päällä (klo 9.45-10.15) sekä toisessa vaiheessa (klo 10.35-10.55) poltettiin katossa olevia suuttimia kuiviltaan. Taulukossa 14 on esitetty keskimääräiset aldehydihydriidipitoisuudet Sapalab-simulaattorin huoneiston 3 keskellä.

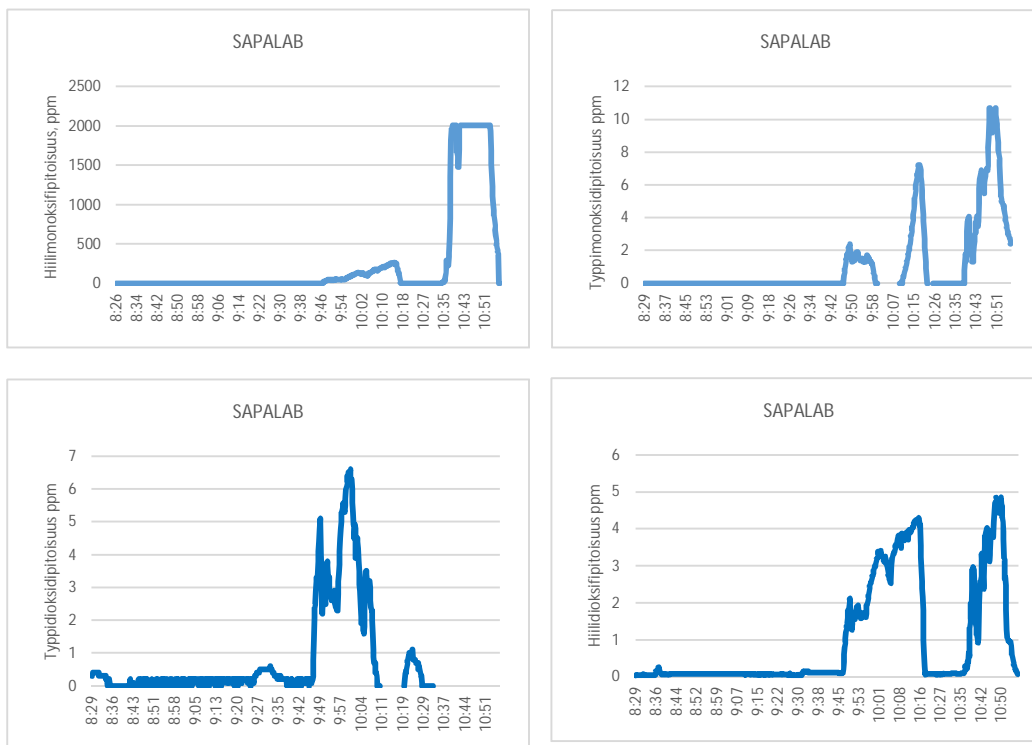
Taulukko 14. Kaasun polttotavan vaikutus palamisen keskimääräisiin aldehydipäästöihin

	Tausta- pitoisuus	Kaasun syöttö vesipatjan läpi	Kaasu suoraan HTP- ilmaan	HTP- arvo
	keskiarvo, mg/m ³	keskiarvo, mg/m ³	keskiarvo, mg/m ³	mg/m ³
Akroleiini	-	0,22	2,6	0,23**
Asetaldehydi	0,02	1,6	12	46*
Asetoni	0,02	0,67	0,72	1500
Bentsaldehydi	-	0,03	1,1	4,4
Butyyrialdehydi	-	-	0,28	74
Formaldehydi	0,03	2,9	22	0,37
Heksanaali	-	0,03	0,05	42*
Krotonaldehydi	-	0,03	0,49	0,29
Propionaldehydi	0,03	0,13	-	48

 * =HTP_{15min},

** =kattoarvo

Näiden lisäksi mitattiin myös Sapalab -simulaattorista kaasupitoisuuksia simulaatiokokeiden aikana. Mitattavia kaasuja olivat hiilimonoksidi, typpimonoksidi, typpidioksidi ja hiilidioksidi. Näiden kaasujen kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ovat 30 ppm, 25 ppm, 3 ppm ja 5000 ppm (liite 6, taulukko 18). Tulokset kaasujen pitoisuuksista on esitetty kuvassa 52.



Kuva 52. Hiilimonoksidi-, typpimonoksidi-, typpidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet Sapalab-simulaattorissa simulaatiotestien aikana

4.6 Työhygieeniset mittaukset altistumiskammiossa

Taulukossa 15 on esitetty keskimääräiset altistumistiedot ja mittausten keskivirhe tehdyistä altistumiskokeista glykolipohjaisella tehostesavulla kahdella eri pitoisuudella.

Taulukko 15. Mitatut keskimääräiset hengittyvän pölyn, glykolien ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (\pm mittausten keskivirhe) glykolipohjaisen tehostesavuallistumisen aikana

	Hengittyvä pöly, mg/m ³	n	*Glykolit, mg/m ³ ,	n	TVOC, µg/m ³	n
Altistus I	3,1 \pm 0,8	12	0,55 \pm 0,35	6	185 \pm 120	2
Altistus II	4,6 \pm 0,8	16	1,58 \pm 0,79	6	240 \pm 110	2

*Glykolituloksissa on esitetty trietyleeniglykolipitoisuus

Kaikkien aldehydien mitatut pitoisuudet ensimmäisen ja viimeisen koehenkilön aikana olivat alle 0,015 mg/m³ (n=2). Mitatut hiilidioksidipitoisuudet testin aikana vaihtelivat 700-1000 ppm:n välillä (n=6). Hiilimonoksidipitoisuudet olivat koko testin ajan alle 1 ppm (n=6).

Taulukossa 16 on esitetty keskimääräiset altistumistiedot ja mittausten keskivirhe tehdyistä altistumiskokeista glykolipohjaisella tehostesavulla kahdella eri pitoisuudella.

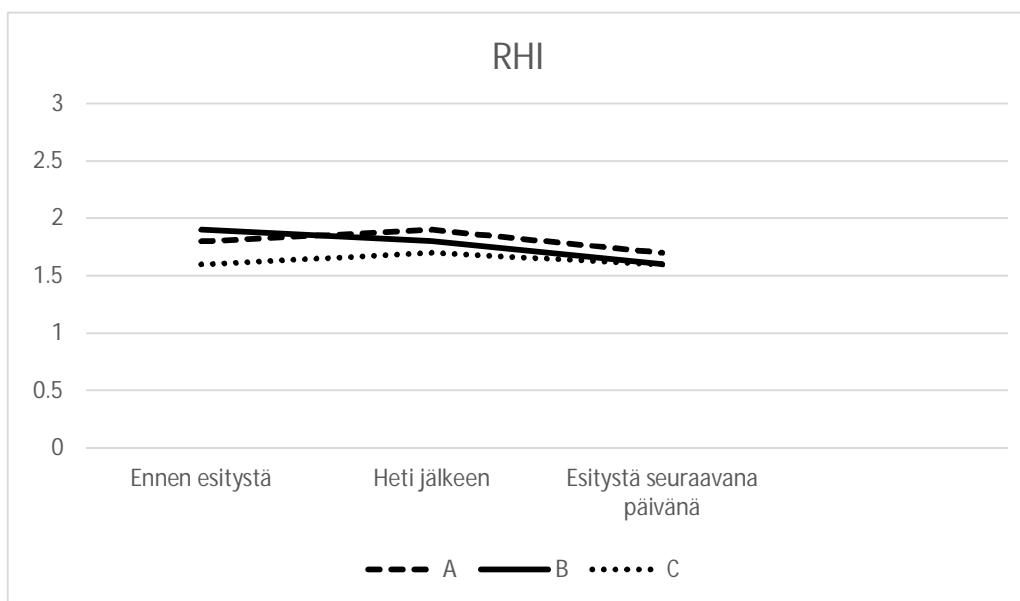
Taulukko 16. Mitatut keskimääräiset hengittyvän pölyn, öljysumun ja korkealla kiehuvien yhdisteiden ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (\pm mittausten keskivirhe) mineraaliöljypohjaisen tehostesavuallistuksen aikana

	Hengittyvä pöly, mg/m ³	n	öljysumu, mg/m ³	n	korkealla kiehuvat yhdisteet, µg/m ³	n	TVOC, µg/m ³	n
Altistus I	2,9 \pm 0,4	16	1,9 \pm 0,6	6	130 \pm 78	2	alle 130 \pm 0	2
Altistus II	5,4 \pm 1,1	15	5,5 \pm 1,9	5	380 \pm 260	2	56 \pm 49	2

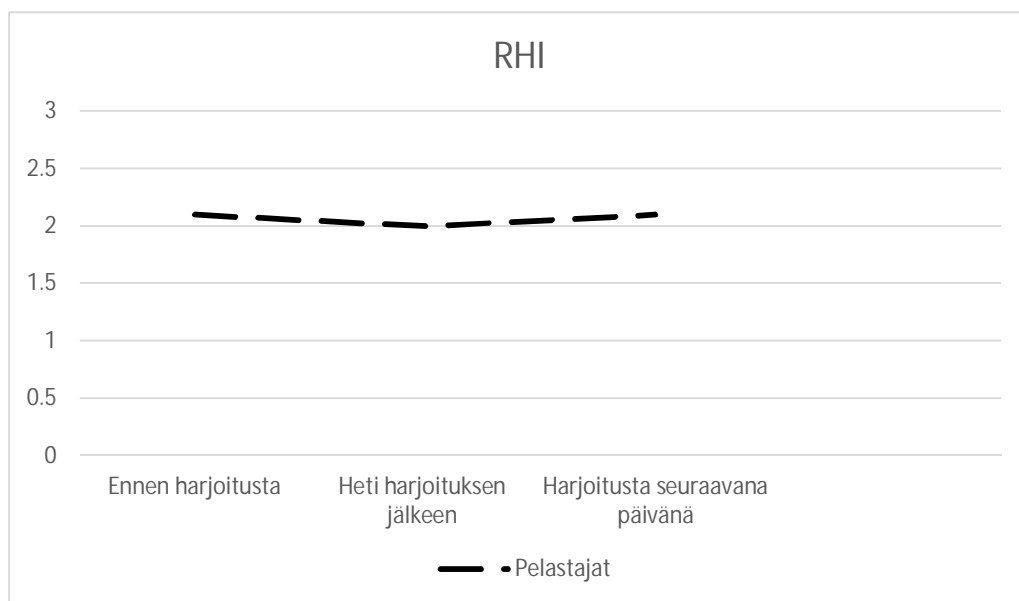
Kaikkien aldehydien mitatut pitoisuudet ensimmäisen ja viimeisen koehenkilön aikana olivat alle 0,015 mg/m³ (n=2). Mitatut hiilidioksidipitoisuudet testin aikana vaihtelivat 500-1900 ppm:n välillä (n=6). Hiilimonoksidipitoisuudet olivat koko testin ajan alle 1 ppm (n=6).

4.7 Keuhko- ja verisuonivastemittaukset kentällä

Verisuonen sisäkalvon toiminnassa ei havaittu poikkeavan alhaisia arvoja (RHI < 1,3) missään vaiheessa. Koska ikä vaikuttaa tasoa alentavasti, oli mittauspaikkojen välillä tutkittavien perustasoissa hieman vaihtelua koehenkilöiden ikärakenteiden vuoksi. Erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä. Kuvassa 53 on esitetty esiintymistilanteissa (työpaikat A, B ja C) mitatut RHI arvot. Savuille altistuminen ei aiheuttanut verisuonen sisäkalvon toiminnan häiriintymistä. Kuvassa 54 on esitetty suojautuneiden pelastajien verisuonivasteet. Heidän perustasonsa RHI:n osalta hieman korkeampi, koska he ovat fyysisesti hyväkuntoisia ja työ edellyttää myös painonhallintaa. RHI taso pysyi hyvänä kaikissa vaiheissa.



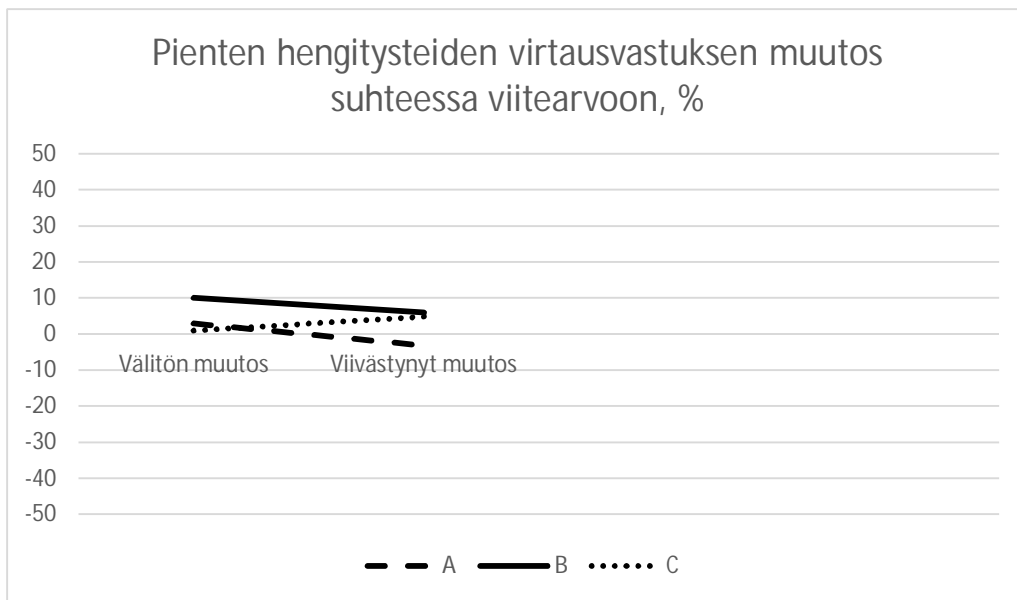
Kuva 53. Verisuonen sisäkalvon toiminta (reaktiivinen hyperemia indeksi, RHI) kolmen tehostesavuja käyttäneessä esityksessä mukana olleilla työntekijöillä.



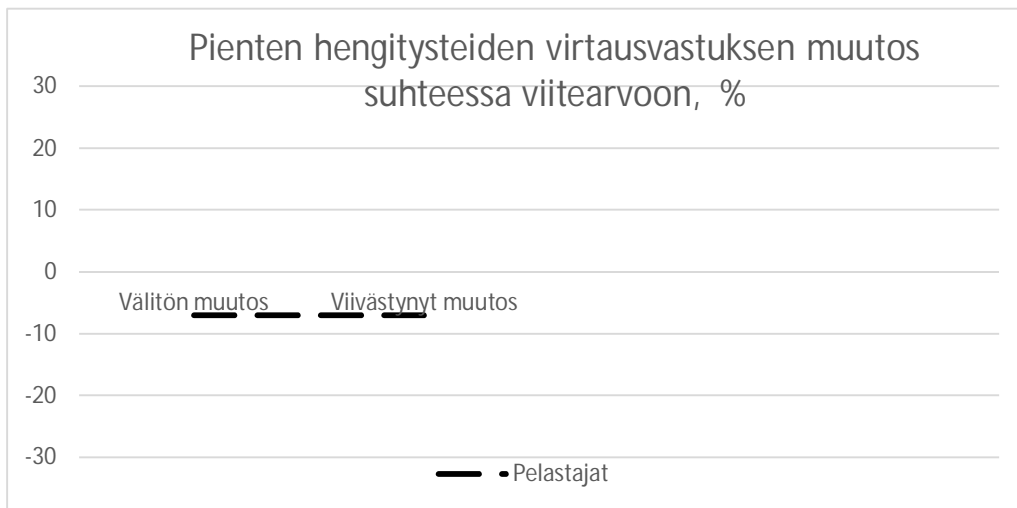
Kuva 54. Verisuonen sisäkalvon toiminta (reaktiivinen hyperemia indeksi, RHI) pelastajilla tehostesavujen käyttöä edellyttäneiden koulutusharjoituksen yhteydessä

Systolinen verenpaine nousi esityksen aikana 2- 6 mmHg ja diastolinen verenpaine 1- 4 mmHg. Muutokset liittyivät sykintätaajuuden nousuun sopien esiintymisvaikutukseen. Seuraavana päivänä tasot olivat palautuneet lähtötasolle. Verenpainevaikutus oli pelastajien harjoituksiin liittyen hieman voimakkaampi johtuen lähinnä fyysisestä rasituksesta ja lämpökuormituksesta. Heilläkin palautuminen seuraavaan päivään mennessä oli normaali.

Keuhkofunktioarvot riippuvat henkilön koosta, iästä ja sukupuolesta. Tämän vuoksi keuhkotoiminnan seurannassa vertailuissa käytettiin kliinisessä käytössä oleviin viitearvostoihin suhteutettuja tasoja. Kuvassa 55 on esitetty pienten hengitysteiden supistumista heijastava virtausvastuksen välitön ja viivästynyt muutos verrattuna lähtötasoon. Muutos on merkitsevä, jos virtausvastus kasvaa yli 50 %. Esiintymistilanteissa ei havaittu poikkeavaa pienten hengitysteiden virtausvastuksen nousua työntekijäryhmissä. Myös pelastajilla taso pysyi normaalina (kuva 56).

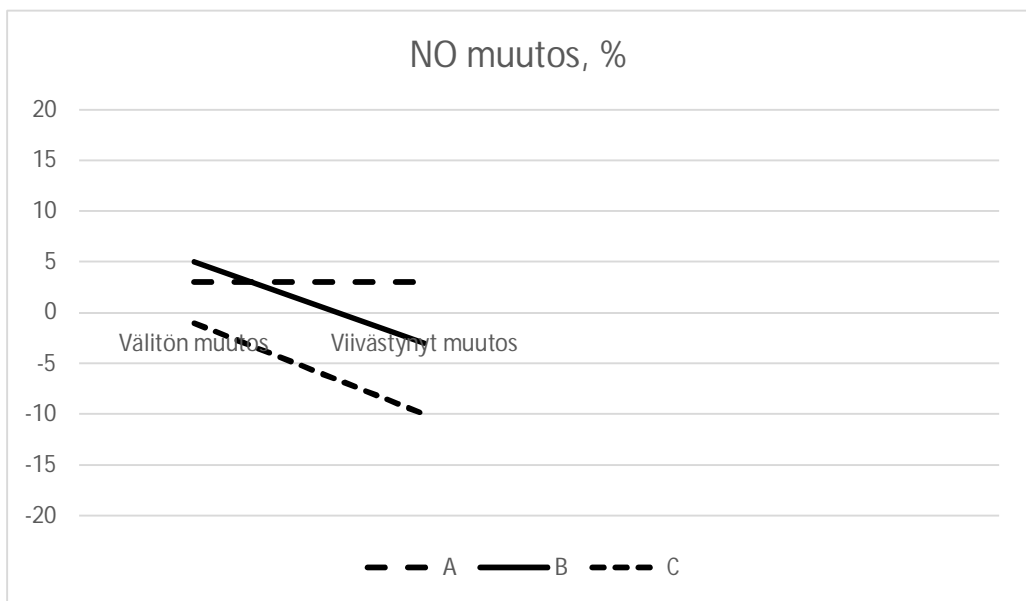


Kuva 55. Pienten hengitysteiden virtausvastuksen muutos (%). Välitön muutos = heti esityksen jälkeen mitattu taso verrattuna lähtötasoon (%) ja viivästynyt muutos: seuraavana päivänä mitattu taso verrattuna lähtötasoon (työpaikat A, B ja C). Merkitsevä muutos on > 50 %.



Kuva 56. Pienten hengitysteiden virtausvastuksen muutos (%). Välitön muutos = heti esityksen jälkeen mitattu taso verrattuna lähtötasoon (%) ja viivästynyt muutos: seuraavana päivänä mitattu taso verrattuna lähtötasoon (pelastajat). Merkitsevä muutos on > 50 %.

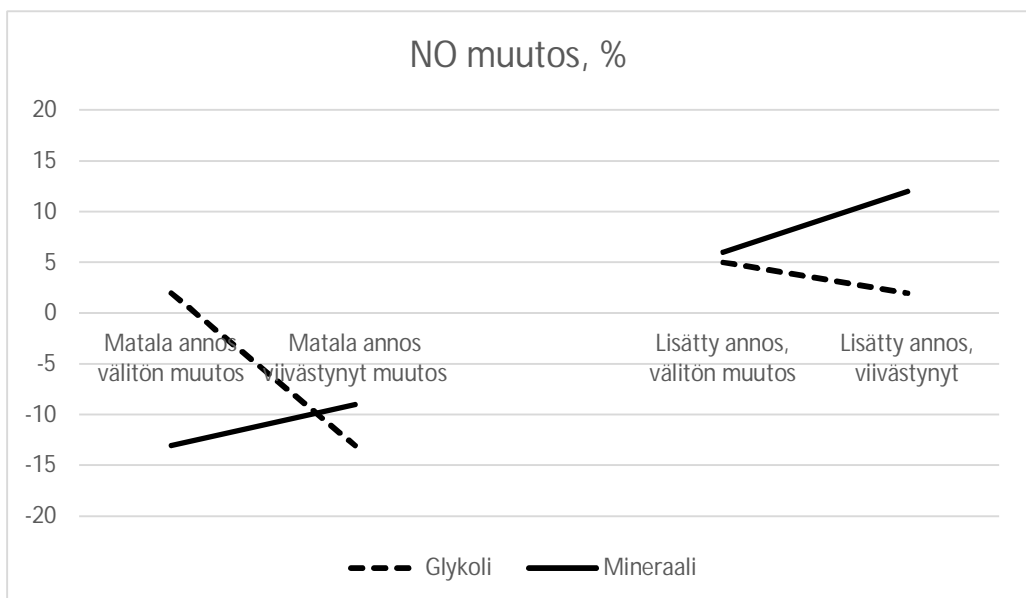
Uloshengitysilman typpioksiditaso (NOex) nousee, mikäli hengitysteissä käynnistyy tulehdusreaktio sinne pääsevien epäpuhtauksien vuoksi. Tason pysyminen samana tai sen lasku merkitsee että hengitysteiden toiminta on säilynyt normaalina. Esiintymistilanteissa tehostesavualtistuminen ei työntekijäryhmissä aiheuttanut poikkeavaa tulehdusreaktiota (kuva 57). Pelastajilla välitön muutos oli 3 % lasku ja vielä seuraavanakin päivän NO-taso oli 2 % matalampi kuin ennen harjoitusta. Spirometriassa virtaus-tilavuuskäyrän pinta-ala on herkkä koko keuhkoputkiston ahtautumista heijastava mittari. Merkitseviä muutoksia ovat yli 25 % muutokset. Esiintymistilanteissa välittömät muutokset olivat alle 3 % kaikissa paikoissa ja viivästyneet muutokset alle 5 %. Pelastajilla tulokset olivat samaa tasoa. Mikrospirometrisessa hengitysfunktion mittauksessa ei tullut esiin poikkeavaa.



Kuva 57. Uloshengitysilman typpioksiditason (%). Välitön muutos = heti esityksen jälkeen mitattu taso verrattuna lähtötasoon (%) ja viivästynyt muutos: seuraavana päivänä mitattu taso verrattuna lähtötasoon (pelastajat).

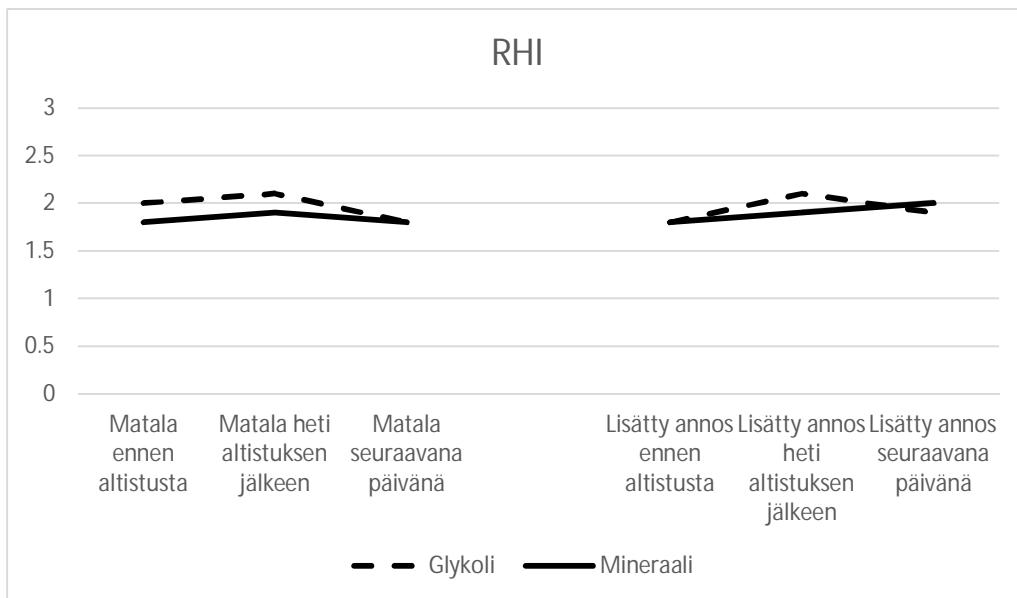
4.8 Keuhko- ja verisuonivastemittaukset altistumiskammiossa

Laboratorio-oloissa koehenkilöt altistuivat yhden tunnin ajan kahdelle eri pitoisuudelle tehostesavua. Annokset olivat työpaikka-altistumisista annettuja ohjeita selvästi matalammat. Toisen ryhmän testeissä käytettiin glykolipohjaista ja toisen mineraaliöljypohjaista tehostesavua. Kuvassa 58 on esitetty kahden eri tehostesavu-altistumisen yhteydessä havaitut keuhkotoimintälöydökset. Glykolipohjaisen tehostesavun altistumisen jälkeen NOex pysyi ennallaan tai jopa laski. Matalalla mineraaliöljypohjaisen savun pitoisuudella NOex tasossa oli vähäistä nousua. Pitoisuuden lisäämisen jälkeen mineraaliöljypohjaisen tehostesavun jälkeen nähtiin välittömästi jo lievä NOex tason nousu, joka oli vielä selvempi seuraavan päivän mittauksessa. Absoluutiset typpioksiditasot pysyivät kuitenkin normaaleina. Pienten hengitysteiden vastuksen muutos oli kuitenkin molemmilla savuilla kaikilla pitoisuuksilla alle 3 % ja spirometrinen virtaus-tilavuuskäyrän pinta-alan muutos alle 5 %.



Kuva 58. Uloshengitysilman typpioksiditason (%). Välitön muutos = heti esityksen jälkeen mitattu taso verrattuna lähtötasoon (%) ja viivästynyt muutos: seuraavana päivänä mitattu taso verrattuna lähtötasoon (pelastajat). Vertailu on tehty glykoli- ja mineraaliöljypohjaisen tehostesavun kahdella eri pitoisuudella.

Verisuonen sisäkalvon toimintaa kuvaavassa RHI-muuttujassa ei havaittu eroja savun laadun tai annoksen välillä (kuva 59).



Kuva 59. Verisuonen sisäkalvon toiminta (reaktiivinen hyperemia indeksi, RHI) kahdella eri pitoisuudella toteutetun glykoli- tai mineraaliöljypohjaiselle tehostesavulle altistumisen yhteydessä.

4.9 Koehenkilöiden koetut oireet altistuskammiokeissa

Laboratoriotutkimuksen yhteydessä kartoitettiin koettuja tuntemuksia oirekyselyllä, joka oli skaalattu ei lainkaan- erittäin voimakas. Erittäin voimakkaita oireita ei raportoitu kummankaan altistesavun kummallakaan pitoisuudella. Glykolipohjaiseen savuun liittyi vähemmän subjektiivisia oireita. Yksittäiset koehenkilöt raportoivat altistuksen eri vaiheissa lievää nenän tukkoisuutta, yskänäräytystä ja suun kuivumista korkeamman annoksen altistumisen yhteydessä. Matalan annoksen glykolipohjaisen savun altistuminen siedettiin subjektiivisesti hyvin. Mineraaliöljypohjainen savu aiheutti jo matalalla annoksella joillekin lievää päänsärkyä ja nenän tukkoisuutta. Lisätyllä annoksella yli puolet tutkittavista raportoi al-

tistumisen kuluessa lieviä ylähengitysteiden ärsytysoireita: kurkun karheutta, nenän tukkoisuutta ja limaneritystä. Osalla esiintyi myös yskänärsytystä. Oireet lievittyivät nopeasti altistumisen jälkeen.

4.10 Työntekijöiden koetut oireet

Sähköiseen oirekyselyyn vastasi 169 työntekijää, jotka työssään voivat altistua tehostesavuille. Heistä 11 % raportoi sairastavansa astmaa, joka vastaa tuoreimpia arvioita astman esiintyvyydestä alle 60-vuotiailla suomalaisilla aikuisilla (Kainu ym., 2013). Vastaa- jista naisia oli 41 %. Ammattijakauma oli 35 % teknisiä toimihenkilöitä, 33 % esiintyjä ja soittajia, 12 % avustajia sekä 18 % muissa työtehtävissä toimivia. Tupakoitsijoita oli vastanneista 16 %. Taulukossa 17 on kuvattu tehostesavuallistumiseen liitettyjä oireita. Koettuja oireita, joita raportoi tuntevansa usein tai lähes aina yli 10 % vastaajista olivat suun kuivuminen (22 %), nuha ja tukkoisuus (14 %), silmien kirvely (14 %), limaneritys keuhkoista (12 %), päänsärky (12 %), kurkkukipua (11 %) ja hengenahdistus (10 %). Sydänoireita tai merkittäviä yleisoireita raportoitiin vain satunnaisesti. Yli puolet vastanneista ei raportoinut yhtäkään kysytyistä oireista.

Taulukko 17. Tehostesavuille työskentelyyn liitettyjä koettuja oireita (N=169).

Oire	Ei lainkaan	Satunnaisesti	Usein tai joka kerta
	%	%	%
Hengityksen vinkuminen	90	6	4
Yskä	62	28	10
Hengenahdistus	65	25	10
Limaneritys keuhkoista	68	20	12
Nuha ja nenän tukkoisuus	63	23	14
Suun kuivuminen	52	26	22
Kurkkukipu	62	27	11
Silmien kirvely	54	32	14
Iho-oireet	88	9	3
Rintakipu	95	5	-
Sydämen rytmihäiriöt	95	4	1
Lihasoireet	93	6	1
Keskittymisvaikeus	78	17	5
Päänsärky	66	22	12
Voimakas väsymys	80	12	8
Heikotus ja huimaus	81	17	2

5 TULOSTEN TARKASTELU

5.1 Tehostesavunesteiden koostumus nesteenä

Kahdeksan glykolipohjaisen tehostesavunesteen koostumusanalyysissä tavallisimmat liuotinaineet olivat trietyleeniglykoli ja propyleeniglykoli (kuva 18). Näiden glykoliyhdisteiden akuuttia toksisuutta pidetään matalana, koska niiden matala höyrynpaine estää suurien höyrymäisten pitoisuuksien syntymisen normaaleissa käyttötarkoituksissa. Glykolit ovat kuitenkin polyalkoholeja, jotka imevät itseensä kosteutta. Glykolin hygroskooppisuus tuntuu altistuneilla erityisesti ihon ja limakalvojen kuivumisena sekä tunnetaan ärsytyksenä silmissä (Cohen Group, 1997; HSE Consulting and Sampling Inc., 1997; Wieslander ym., 2001). Erityisesti piilolinssellä käyttävät työntekijät kärsivät niiden vaikutuksista eniten (Ministry of Labour Ontario 2012). Glykoleilla voi olla myös vakavampia vaikutuksia altistuttaessa suurille etyleeni- ja propyleeniglykolipitoisuuksille oraalisesti. Tunnetuimmat haittavaikutukset ovat munuaisvaurioit (O'Brien ym. 1998; Wieslander ym., 2001). Altistumisen glykoleille on muutamissa raportoiduissa tapauksissa todettu aiheuttaneet allergisen reaktion ja johtanut joidenkin käyttäjien ihon tulehtumiseen (Skaare ym., 1997; Meltzer ym., 1990; Greenbaum, 1988). Analysoiduista tehostesavunesteistä saatu liuotinaiden koostumustulos vastaa hyvin kirjallisuudessa esitettyjä arvioita tehostesavujen koostumuksista (Teschke ym., 2005). Analyseissämme oli mukana myös mineraaliöljypohjainen MDG Neutral Fluid, joka sisälsi korkealla kiehuvia hiilivetyjä. Myös mineraaliöljypohjaisten tehostesavunesteiden on raportoitu aiheuttaneen hengityselimistön limakalvojen ärsytystä ja hengenahdistusta (Svendsen and Bjorn, 1997). Liuotinaiden koostumuksen perusteella glykolipohjaisista tehostesavunesteistä turvallisimmat olivat Fast Smoke-, MDG Low Fog-, Blitz Reflex- ja Quick Fog –tehostesavunesteet, koska niissä on käytössä pelkästään propyleeniglykolia. Propyleeniglykoli on nykytietämyksen mukaan haitattomampi vaihtoehto kuin trietyleeniglykoli, joka voi lämmitettäessä hajota mm. dietyleni- ja etyleeniglykoliksi (Ministry of Labour Ontario, 2012). Tehostesavunesteistä tutkittiin myös tyypillisimpien aldehydien pitoisuudet ja tässä tarkastelussa havaittiin ZR Fluid-tehostesavunesteen sisältävän eniten formaldehydiä yhdessä Regular Fog -tehostesavunesteen kanssa (kuva 19). Keskiryhmän muodostivat Slow Fog -, Unique 2.1 Fluid - ja MDG Low Fog –tehostesavunesteet. Muissa testuissa nesteissä formaldehydiä oli vähän tai ei juuri ollenkaan. Asetaldehydipitoisuudet olivat myös suurimmat ZR-Fluid- ja Regular Fog –tehostesavunesteissä sekä myös Unique 2.1 Fluid –nesteessä (kuva 20). Propionaldehydi- ja asetonipitoisuuksia löytyi ainoastaan ZR Fluid – ja Regular Fog – nesteistä (kuvat 21 ja 22). Näin ollen nämä kaksi tehostesavunestettä olivat haitallisimpia aldehydikoostumuksensa vuoksi. Mitatut asetonipitoisuudet voivat olla myös epäpuhtauksia, jotka ovat tulleet nesteissä käytettävien vain teollisuuslaatua olevien pääliuottimien epäpuhtauksina (ESTA 2009). On mahdol-

lista myös, että aldehydejä lisätään nesteisiin estämään mikrobikasvua nesteissä. Haitallimmat formaldehydi ja akroleiini ovat syöpävaarallisia ja samalla ne aiheuttavat ylempien hengityselimien, ihon ja silmien ärsytystä (Teschke ym., 2003).

5.2 Tehostesavunesteiden lämpöhajoamistuotteet

Lämmitettäessä Jem ZR Fluid–tehostesavunestettä ilmasta löytyi pääliuottimena propyleeniglykolia ja trietyleeniglykolia, kuten nesteanalyysissäkin (kuva 18). Sen sijaan tarkempi ilma-analyysi nosti esiin myös muita liuottimia, kuten dipropyleeniglykolin, 1-hydroksi-2-propanonin ja dietyleeniglykolin (kuva 25). Lämmitettäessä MDG Low Fog -tehostesavunestettä tärkein liuotinaine oli propyleeniglykoli, kuten nesteanalyysissäkin (kuva 18), mutta sen lisäksi havaitsimme myös dipropyleeniglykolia, 1-hydroksi-2-propanonia sekä hiilivetyseoksen (kuva 25). Kolmannen MDG Neutral Fluid –mineraaliöljypohjaisen tehostesavun kuumentaminen tuotti ilmaan korkealla kiehuvia yhdisteitä (kuva 25). Suhteutettuna tehostesavunesteiden aiheuttamiin hengittyvän pölyn pitoisuuksiin (kuva 23) suurimmat haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet (TVOC) aiheutti MDG Low Fog –tehostesavuneste, toiseksi suurimmat Jem Zr Fluid ja pienimmät MDG- Neutral Fluid. Merkille pantavaa kuitenkin oli, että MDG Neutral Fluid sisälsi VOC-alueen ulkopuolisia yhdisteitä kaikkien eniten (kuva 25). Kahdesta ensimmäisestä glykolipohjaisesta tehostesavunesteestä vapautunutta 1-hydroksi-2-propanonia käytetään glykolien valmistuksessa. Löydetyt dietyleeniglykoli ja dipropyleeniglykoli sen sijaan ovat trietyleeniglykolin ja propyleeniglykolin valmistuksessa syntyviä sivutuotteita (ESTA, 2009). Suurimmista mitatuista aldehydipäästöistä vastasi MDG Low Fog – ja Jem ZR –Fluid –tehostesavunesteet. Ainoana tehostesavunesteenä vain MDG Low Fog tuotti mitattavan pitoisuuden formaldehydiä testauskammion ilmaan (kuva 24). MDG Low Fog – ja Jem ZR –Fluid –tehostesavunesteet tuottivat myös mitattavat pitoisuudet aset- ja propionaldehydiä (kuva 24). MDG Low Fog –tehostesavuneste ei sisältänyt propionaldehydiä, joten se on todennäköisin propyleeniglykolipohjaisen tehostesavunesteen lämpöhajoamistuote. Vastaavanlaisessa kokeessa on Techke tutkimusryhmineen havainnut, että glykolipohjaiset tehostesavuista voi syntyä formaldehydiä, asetaldehydiä, propionaldehydiä ja heksaldehydiä, mutta he eivät tuolloin voineet eritellä oliko kysymyksessä jo nesteessä oleva aldehydi vai lämpöhajoamistuotteena liuottimesta syntyvä aldehydi (Techke ym., 2003). Glykolipohjaisen Slow Fog –tehostesavunesteen mahdollisia aldehydipäästöjä testattiin myös korkeilla tehostesavupitoisuuksilla Sapalab-savusukellussimulaattorissa, jossa keskimääräinen hengittyvän pölyn pitoisuus oli 330 mg/m^3 . Tuotettaessa simulaattoriin pelkästään tehostesavua simulaattorin ilmasta mitattiin korkeita akroleiini- ja formaldehydipitoisuuksia. Näiden lisäksi havaittiin pieniä määriä propioni- ja bentsaldehydipitoisuuksia (kuva 48). Mitatuista aldehydeistä formaldehydipitoisuus selittyi tehostesavunesteen sisältämän formaldehydin

avulla (kuva 19), mutta akroleiinin, propionaldehydin ja bentsaldehydin esiintyminen viittaa glykolien lämpöhajoamistuotteisiin. Erityisesti formaldehydiä ja akroleiiniä pidetään myös kirjallisuuden mukaan vahvimpina ehdokkaina tehostesavujen lämpöhajoamistuotteista (Burr ym., 1994).

Lämpöhajoamistuotteista ehkä yksi tunnetuimpia yhdisteryhmiä ovat polysykliset aromaattiset hiilivedyt (PAH), jotka syntyvät epätäydellisessä palamisessa. PAH-yhdisteet olivat ensimmäisiä kemiallisia aineita, jotka on yhdistetty altistumisen kautta työntekijöiden syöpätapauksiin (Pott, 1775). PAH-yhdisteet voivat aiheuttaa erilaisia syöpiä, mutta tunnetuimmat kohde-elimet ovat keuhko, iho, eturauhanen ja virtsarakko (Schwarz-Miller, 1992; IARC, 2010; Golga and Weistenhofer, 2008). Testeissä olleissa glykolipohjaisista tehostesavuista synnytyssä aerosolissa ei havaittu muita PAH-yhdisteitä kuin pieniä määriä fenantreenia. Sen sijaan mineraaliöljypohjaisesta tehostesavusta havaitsimme eniten naftaleenia ja fenantreenia. Savusukellussimulaattorissa tehdyissä kokeissa suurilla hengittävän pölyn pitoisuuksilla havaitsimme erityisesti naftaleeni-, asenaftyleeni-, fenantreeni ja fluoranteenipitoisuuksia. Myöskin Techke tutkimusryhmineen löysi tuotetusta tehostesavuaerosolista naftaleenia ja asenaftyleenia (Techke ym., 2003).

Lämpöhajoamistuotteista hiilimonoksidia mittasimme myös kokeiden aikana kammioista, mutta hiilimonoksidipitoisuudet olivat alle 1 ppm kaikissa testeissä. Tulos oli yhteneväinen Techken työryhmän tuloksen kanssa (Techke ym. 2003). Hiilidioksidia syntyi ainoastaan käytettäessä hiilidioksidia ponneaineena tehostesavujen tuotossa, mutta lämpöhajoamistuotteena sitä ei löydetty käytettäessä Jem ZR Fluid tehostesavunestettä.

Pienhiukkasaltistumisesta on viime aikoina puhuttu paljon ja erityistä huomiota on kiinnitetty ultrapieniin hiukkasiin, jotka ovat kooltaan alle 100 nm halkaisijaltaan. Ultrapienien hiukkasten epäillään lisäävän riskiä sydänsairauksiin ja mahdollisesti myös keuhkosyöpään (Edelman ym., 2003; Swiston ym., 2008; IARC, 2010; Ward ym., 2010). Halusimme selvittää syntyykö tehostesavuja tuotettaessa myös ultrapieniä hiukkasia ja kuinka tuotettujen hiukkasten profiilit eroavat toisistaan. MDG Neutral Fluid tehostesavuneste tuotti suurimpia ultrapieniä hiukkasia mittausten mukaan ja suurin hiukkaspitoisuus mitattiin luokassa 115,5 nm (kuva 26). ZR Fluid tehostesavuneste tuotti seuraavaksi suurimpia pienhiukkasia ja suurimmat pitoisuudet mitattiin hiukkaskokoluokissa 48,7 nm ja 65,9 nm (kuva 26). Hieman yllättäen Jem ZR Fluid tehostesavuneste tuotti pienimmät ultrapienet hiukkaset suurimpien pitoisuuksien ollessa hiukkaskokoluokassa 36,5 nm (kuva 26).

5.3 Tehostesavupitoisuudet näyttämöillä ja studiossa

Suurimmat hengittyvän pölyn pitoisuudet mitattiin näyttämön takana ja yläpuolella lähimpänä savukoneita, joissa keskimääräinen hengittyvän pölyn pitoisuus oli 68 % orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta vaihteluvälin ollessa 4-118 %. Näyttämön edessä ja orkesterin vieressä pitoisuudet olivat 12-18 % hengittyvän pölyn kahdeksan tunnin raja-arvosta vaihteluvälin ollessa 2-46 % (taulukko 1). Techke työryhmineen tutki Kanadassa työntekijöiden altistumista tehostesavuille TV- ja elokuva tuotannoissa, teattereissa ja musikaaleissa. Hänen tulokset perustuivat laajaan mittausmateriaaliin, jossa mitattiin kaiken kaikkiaan 111 koehenkilöä eri ammattiryhmistä. Kaikissa tuotannoissa keskimääräinen hengittyvän pölyn pitoisuus oli 14 % vaihteluvälin ollessa 0,4-80 % orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Elokuva ja TV-tuotantopuolella keskiarvo oli 20 % ja teattereissa ja musikaaleissa 8% orgaanisen pölyn HTP_{9h}-arvosta (Techke ym., 2003; Techke ym., 2005; Varungese ym., 2005).

Hiukkasten kokojakauma aerosolimonitorilla mitatuissa näytteissä näyttämön eri puolilla vaihteli. Kohteessa 1 orkesterin vieressä orkesterimontussa keuhkojakeen osuus hengittyvästä pölystä oli 50 % ja alveolijakeen osuus 12 % (kuva 27). Tämä mittaus kuvasi tilannetta, jossa tehostesavut eivät päässeet orkesterimonttuun ja kohteessa käytettiin glykoli- ja mineraaliöljypohjaista tehostesavunestettä. Kohteessa kaksi näyttämön takana keuhkojakeen osuus oli 99 % ja alveolijakeen osuus 65 % hengittyvästä pölystä (kuva 30). Kohteessa käytettiin pelkästään mineraaliöljypohjaista tehostesavunestettä. Kolmannessa kohteessa näyttämön edessä keuhkojakeen osuus oli 97 % ja alveolijakeen osuus 88 % hengittyvästä pölystä (kuva 33). Kahdessa viimeisessä kohteessa mittauslaite mittasi todellista tehostesavuhiukkasjakamaa ollen alttiina koko ajan tehostesavuille. Varughese tutkimusryhmineen on myös tutkinut tehostesavuista syntyneiden hiukkasten kokojakamaa ja he ovat todenneet 76 % hiukkasta olleen keuhkojakeessa ja 61 % alveolijakeessa. Keuhkojakeen 50 % leikkausraja on 10000 nm ja alveolijakeen 4000 nm (Varughese ym., 2005). Ultrapienien hiukkasten hiukkaskokoluokanprofiileja mitattiin kohteissa 1 ja 2. Kohteessa 1 profiili näytti täsmälleen samalta kuin kammiokokeissa testattaessa mineraaliöljyllä. Tuloksesta päätellen kohteessa yksi mineraaliöljy oli hallitsevin tehostesavu näytöksen aikana (kuva 28). Kohteessa kaksi käytettiin pelkästään mineraaliöljyä ja maksimipitoisuus löytyi jälleen kanavalta 115,5 nm (kuva 31).

Keskimääräiset öljysumupitoisuudet näyttämön eri osissa ja henkilökunnan hengitysvyöhykellä olivat 2-156 % öljysumun kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Suurimmat öljysumupitoisuudet mitattiin näyttämön edessä ja teknisen henkilökun-

nan hengitysvyöhykkeellä ollen 94-156 % öljysumun kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (taulukko 2). Kanadassa tehdyssä elokuva-, tv-, teatteri ja musikaalituotannoissa tehdyissä mittauksissa keskimääräinen öljysumupitoisuus oli 19 % ja pitoisuuksien vaihteluväli oli 1,2-82 % öljysumun kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. TV- ja elokuvatuotannoissa pitoisuudet olivat keskimäärin 24 % ja teattereissa sekä musikaaleissa 8,2 % öljysumun HTP_{8h} -arvosta (Techke ym., 2003; Techke ym., 2005; Varungese ym., 2005). Yhdysvalloissa Broadwaylla ooppera- ja musikaaliesityksissä tehdyissä mittauksissa öljysumun keskimääräinen öljysumupitoisuus oli 15 % ja vaihteluväli 0,2-38 % öljysumun kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna (Moline ym., 2000).

Näyttämöiltä ja studioilta mitatut näytteet osoittivat, että ilmassa voi esiintyä etyleeniglykolia, trietyleeniglykolia, propyleeniglykolia ja dipropyleeniglykolia (taulukot 3 ja 4). Tehostesavunestenäytteiden perusteella ilmasta pitäisi löytyä ainakin trietyleni- ja propyleeniglykolia (kuva 18). Mittausten mukaan trietyleeniglykolia löytyi näyttämön takaa ja lähältä lähempää savukoneita. Suurin mitattu trietyleeniglykolipitoisuus oli 9,4 % etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Mitatut keskimääräiset etyleeniglykolipitoisuudet teknisten työntekijöiden hengitysvyöhykkeellä olivat keskimäärin 10 % ja vaihteluväli oli 9,6-11 % etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Näyttämön eri osissa etyleeniglykolipitoisuudet vaihtelivat 0,2 % ja 22 % välillä etyleeniglykolin HTP_{8h} -arvosta (taulukko 3). Esityksessä käytetyissä tehostesavunesteissä ei ollut etyleeniglykolia, joten löydetyllä etyleeniglykolilla voi olla muukin lähde kuin tehostesavut. Vastaavasti keskimääräinen propyleeniglykolipitoisuus oli 25 % ja vaihteluväli oli 0,01-86 % etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Propyleeniglykoli oli tärkein yksittäinen yhdiste haihtuvista orgaanisista yhdisteistä näyttämöllä. Seuraavaksi suurimmat pitoisuudet mitattiin korkealla kiehuvista yhdisteistä, jotka viittasivat mineraaliöljypohjaiseen tehostesavuun. Tehostesavunesteen pääliuottimen propyleeniglykolin valmistuksessa sivutuotteena syntyvää dipropyleeniglykolia havaittiin näyttämön takana pieniä määriä lähempänä savukoneita. Myös pieniä määriä asetonia ja propanolia löytyi näyttämön ilmasta (taulukko 4). Keskimääräinen haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus saavutti näyttämön etuosassa hyvälle teollisuusilmalle asetetun viitearvon $3000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Tuomi ym., 2012), mutta vaihteluväli osoitti että viitearvo ylittyi useissa mittauskohteissa vaihdellen 7 % ja 366 % välillä viitearvosta. Näyttämön takana mitattu keskiarvo ei enää saavuttanut hyvän teollisuusilman tavoitetasoa ja mitatut pitoisuudet vaihtelivat 13 % ja 203 % välillä tavoitearvosta (taulukko 4). Yhdysvalloissa Broadway musikaaleissa ja oopperoissa mitatut glykolyhdisteiden kokonaispitoisuudet ovat olleet keskimäärin 1,5 % etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta vaihdellen 0,03-3,7 % välillä etyleeniglykolin kahdeksan

tunnin raja-arvosta (Moline ym. 2000). Kanadassa elokuva ja TV-tuotannossa keskimääräiset kokonaisglykolipitoisuudet ovat olleet 1,2 % ja vaihteluväli 0,24- 5,8 % etyleeniglykolin HTP_{8h}-arvosta. Vastaavasti teatterissa ja musikaaleissa keskimääräinen pitoisuus on ollut 0,8 % ja vaihteluväli 0,04-6,4 % välillä etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (Varungese ym., 2005).

Suurimmat formaldehydipitoisuudet näyttämöllä olivat 2,5 % formaldehydin HTP_{8h}-arvosta ja muut aldehydipitoisuudet sitäkin pienempiä (taulukko 5). Kanadassa tehdyssä tehostesavutkimuksessa suurimmat aldehydipitoisuudet löytyivät myös form- ja asetaldehydipitoisuuksista. Suurimmat formaldehydipitoisuudet olivat 11 % ja asetaldehydipitoisuudet 0,05 % niiden kahdeksan tunnin HTP-arvoista (Techke ym., 2003). Näin ollen saamamme tulokset olivat samansuuntaisia Techken ryhmän tuloksiin nähden.

Polysyklisten aromaattisten hiilivetyjen mittauksissa vain naftaleenia havaittiin näyttämön ilmassa ja suurimmat mitatut pitoisuudet olivat näyttämön takana ja ylhäällä lähempänä tehostesavukoneita. Suurimmat mitatut pitoisuudet olivat 0,01 % naftaleenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Aivan samansuuntaisia olivat myös Kanadalaisessa tutkimuksessa saadut tulokset. Myös niissä ei havaittu muita PAH-yhdisteitä kuin naftaleenia ja mitattu keskimääräinen naftaleenipitoisuus oli 0,06 % naftaleenin HTP_{8h}-arvosta (Techke ym., 2003).

Hiilidioksidipitoisuuksia mittasimme esitysten aikana hengitysvyöhykkeen korkeudelta ja 10 senttiä maanpinnan korkeudelta. Hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 % (liite 6 taulukko 18). Hiilidioksidi oli pääosin lähtöisin matalan tehostesavukoneen ponneaineesta ja savua kylmentävästä elementistä. Kohteessa 1 hiilidioksidipitoisuudet hengitysvyöhykkeellä pysyivät näyttämön edessä ja orkesterin vieressä alle 50 % hiilidioksidin HTP_{8h}-arvosta, mutta näyttämön takana pitoisuudet kävivät hetkellisesti 1,6-kertaisessa pitoisuudessa hiilidioksidin kahdeksan tunnin raja-arvoon nähden (kuva 29). Kohteessa kolme näyttämön edessä pitoisuudet nousivat hetkellisesti 1,4 –kertaisiksi hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden, mutta näyttämön yläpuolella pysyttiin alle 40 % raja-arvosta (kuva 34). Joissakin esityksissä näyttelijän on oltava tehostesavun sisällä ja sitä mallintaen mittasimme 10 cm korkeudelta maanpinnasta näyttämön edestä esityksen aikaisia hiilidioksidipitoisuuksia. Mitatut pitoisuudet olivat lähes viisinkertaisia hiilidioksidin kahdeksan tunnin raja-arvoon nähden (kuva 35).

Mitatut hiilimonoksidipitoisuudet olivat kaikissa näyttämö- ja studiokohteissa alle 3,3 % hiilimonoksidin kahdeksan tunnin HTP-arvosta.

5.4 Tehostesavupitoisuudet savusukellussimulaattoreissa

Keskimääräiset hengittyvän pölyn pitoisuudet simulaattoreissa olivat korkeita verrattuna orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen (liite 6 taulukko 18). Keskimääräinen hengittyvän pölyn pitoisuus oli Sapalab-simulaattorin sisällä 66- ja Palotalo-simulaattorin porraskäytävässä 9-kertainen orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden (taulukko 7). Mitatut erot johtuvat mittauspaikkojen sijainnista, koska Palotalossa lämpötilat ovat niin korkeat että porraskäytävää lähemmäksi ei mittareita voi viedä. Näin ollen saadut tulokset antavat liian hyvän kuvan palotalon hengittyvän pölyn pitoisuudesta. Toisaalta tulos kuvaa tilannetta missä seuraava savusukellus pari odottaa vuoroaan. Sen sijaan opettajien hengitysvyöhykkeeltä mitatut pitoisuudet, kun he eivät käyttäneet suojainta harjoitusten aikana, olivat Sapalab-harjoituksissa keskimäärin 26 % ja Palotalo-harjoituksissa 30 % orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (taulukko 7).

Trietyleeniglykolipitoisuus Sapalabissa oli keskimäärin 11 –kertainen ja propyleeniglykolipitoisuus oli 6,5 –kertainen etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden (taulukko 7). Harjoituksissa käytettiin Slow Fog -tehostesavunestettä, jonka koostumusanalyysissä havaittiin vastaavat pääliuottimet (kuva 18). Vastaavanlaisessa modernissa savusukellussimulaattorissa tehdyssä tutkimuksessa dietyleeniglykolipitoisuudet harjoitusten aikana ovat olleet noin 2-8 -kertaisia etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden (Fent ym., 2013).

Jo aiemmissa tutkimuksissa on tehostesavuja käytävissä moderneissa simulaattoreissa havaittu korkeita aldehydipitoisuuksia. Niiden syyksi on arveltu tehostesavunesteiden lämpöhajoamistuotteita (Laitinen ym., 2010). Jotta pystyimme vertailemaan Palotalo- ja Sapalab-simulaattorissa esiintyviä todellisia aldehydipitoisuuksia harjoitusten aikana asetimme diffuusio-keräimen opettajien sammutuspukuun savusukellusten ajaksi. Eniten huolta herättäneen formaldehydin keskimääräinen pitoisuus Sapalab-simulaattorissa oli keskimäärin 4,3- ja Palotalo-simulaattorissa 76-kertainen formaldehydin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden. Vastaavasti bentsaldehydin pitoisuus Sapalabissa oli 1,5 % ja Palotalossa 91 % sen kahdeksan tunnin HTP-arvosta (taulukko 8).

Fentin tutkimusryhmä on mitannut vastaavanlaisesta simulaattorista noin 2-8 -kertaisia formaldehydipitoisuuksia, joten mittaamamme tulos modernista kaasusimulaattorista on hyvin vertailukelpoinen Fentin tutkimusryhmän tuloksiin nähden (Fent ym., 2013).

Aldehydipitoisuuksia selvitettiin myös keräävällä menetelmällä molemmista simulaattoreista kiinteistä mittauspaikoista, jolloin saimme laajemman kuvan potentiaalisesta aldehydialtistumisesta. Kiinteissä mittauspaikoissa Sabalab-simulaattorissa keskimääräiset formaldehydipitoisuudet olivat samalla tasolla kuin henkilökohtaisissa mittauksissa (taulukko 10). Pitoisuudet vaihtelivat 1,8-15 -kertaiseen formaldehydin HTP_{8h} -arvoon verrattuna. Keskimääräinen akroleiinipitoisuus oli 1,1-kertainen ja tulosten vaihteluväli 3,8-240 % sen viidentoistaminuutin HTP -arvosta. Näiden kahden tärkeimmän aldehydin lisäksi myös krotonaldehydipitoisuudet lähes saavuttivat sen kahdeksan tunnin HTP -arvon tulosten vaihdella 6,9-86 % välillä sen HTP -arvosta (taulukko 9). Myös glykolipohjaisen tehostesavunesteen lämpöhajoamistuotteena pidettyä propionaldehydiä löytyi Sapalab-simulaattorista pieniä määriä noin 1 % sen HTP_{8h} -arvosta (Techke ym. 2003). Fentin tutkimusryhmä löysi myös modernista simulaattorista krotonaldehydiä keskimääräisten pitoisuuksien ollessa noin 70-200 % sen HTP_{8h} -arvosta. Keskimääräiset akroleiinipitoisuudet sen sijaan vaihtelivat 350-390 % välillä sen HTP_{15min} -arvosta (Fent ym., 2013). Myös palotalosimulaattorin porraskäytävässä ylittyivät akroleiinin pitoisuudet. Tulosten vaihteluväli oli 48-350 % sen HTP_{15min} -arvosta. Samoin krotonaldehydipitoisuudet olivat lähellä raja-arvoa tulosten vaihdella 3,4-86 % välillä sen HTP_{8h} -arvosta (taulukko 10). Kiinteistä mittauspaikoista mitatut formaldehydipitoisuudet osoittivat että tulokset aliarvoivat opettajien todellista potentiaalista altistumista savusukelluksen aikana.

Polysyklisiä aromaattisia hiilivetyjä pidetään myös tehostesavunesteiden lämpöhajamistuotteina. Savusukellussimulaattoreissa niiden lähteitä ovat myös muut palavat materiaalit. PAH-yhdisteiden haitallisuus vaihtelee merkittävästi ja sen vuoksi arvioitaessa PAH-seosten haitallisuutta tehdään vertailua seoksen bentso[a]pyreeni- ja pyreenipitoisuuksien suhteiden välillä (Laitinen ym. 2012). Mitä suurempi on bentso[a]pyreenin osuus kokonaispyreenipitoisuudesta sitä myrkyllisemmästä seoksesta on kysymys. Palotalosta mitatuissa keskimääräisissä pitoisuuksissa bentso[a]pyreenin osuus oli 28 % ja vastaavasti Sapalabissa 11 %, joka näin ollen viittaa Palotalossa olleen haitallisempi sekoitus PAH-yhdisteitä (taulukko 11). Vertailua kannattaa tehdä myös haitallisimpien PAH-yhdisteiden osalta. Dibentso[a,h]antraseeni on myrkyllisyydeltään lähes yhtä paha kuin bentso[a]pyreenikin (Collins ym. 1998). Dibentso[a,h]antraseenin keskimääräinen pitoisuus Palotalon porras-

käytävissä oli jo 7,3 –kertainen verrattuna Sapalabin vastaavaan pitoisuuteen simulaattorin sisältä (taulukko 11). Saatujen tulosten perusteella näyttää siltä, että Palotalo-harjoittelu on merkittävästi enemmän PAH-yhdisteille altistavaa kuin Sapalab-harjoittelu.

Simulaattoreista mitattiin myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksia savusukelluksen aikana. Tärkeimmät haihtuvat orgaaniset yhdisteet olivat bentseeni, furfuraali, liuotinbensiinit ja naftaleeni (taulukko 12). Palotalo-simulaattorissa keskimääräiset bentseenipitoisuudet olivat 23 –kertaisia, furfuraalipitoisuudet 4,1 –kertaisia, liuotinbensiinipitoisuudet 2-kertaisia ja naftaleenipitoisuudet 2,6 –kertaisia niiden kahdeksan tunnin HTP-arvoon verrattuna (liite 6 taulukko 18). Vertailun vuoksi Sapalabissa keskimääräinen bentseenipitoisuus oli 62 % bentseenin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (taulukko 12). Fent tutkimusryhmineen on myös mitannut bentseenipitoisuuksia ja hän on todennut niiden olevan keskimäärin noin 30 % bentseenin kahdeksan tunnin sitovasta raja-arvosta glykolipohjaista tehostesavunestettä käytävässä modernissa savusukellusimulaattorissa (Fent ym., 2013). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden tulokset edelleen vahvistavat käsitystä modernin tehostesavuja käyttävän savusukellusimulaattorin paremmuudesta perinteiseen Palotalo-simulaattoriin nähden työhygieenisestä näkökulmasta katsottuna. Haihtuvia orgaanisia yhdisteitä mitattiin myös opettajien hengitysvyöhykkeeltä, kun he eivät käyttäneet hengityksensuojainta (taulukko 13). Tulokset osoittivat, että heidän altistuminen tuona aikana oli naftaleenin osalta keskimäärin alle 18 % ja bentseenin osalta alle 12 %, joten altistumista höyrymäisille epäpuhtauksille ei juuri tapahtunut heidän ollessaan ilman suojaimia (taulukko 13).

Samaan aikaan, eli silloin kun opettajat eivät käyttäneet suojaimia, mitattiin myös heidän altistumista hiilimonoksidille (kuva 38). Kahdestatoista opettajasta neljältä löytyi hetkellisiä altistumisia hiilimonoksidille. Kolme tapauksista oli Palotalo-simulaattorista ja yksi Sapalab-simulaattorista. Kaksi suurinta hetkellistä altistumista mitattiin Palotalosta ja ne olivat 67-40 % hiilimonoksidin viidentoista minuutin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (kuva 38) (liite 6 taulukko 18). Tulos osoittaa, että opettajat voivat altistua palautetilaisuuksissa ja odotettaessa seuraavaa sukellusvuoroa, mikäli valitsevat palaute tai odotuspaikan huonosti.

5.5 Simulaatiomittausten tulokset

5.5.1 Pahimmat altistumistilanteet studiossa

Testataksemme tehostesavumestareiden mielestä pahimpia altistumistilanteita teimme tarvittavat simulaatiokokeet studiossa. Testattavana oli viisi erilaista altistumistilannetta. Ensimmäisenä testattiin kahdella kokeella nopeita savuja. Seuraavaksi tuotettiin kahdella eri tavalla matalia savuja ja lopuksi kokeiltiin pienimuotoista pyrotekniikkaa.

Suurimmat keskimääräiset hengittyvän pölyn pitoisuudet mitattiin käytettäessä ZR Fluid-tehostesavua ja pyrotekniikkaa, molemmissa tapauksissa orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin raja-arvo ylitettiin (kuva 39). Hetkittäiset hengittyvän pölyn pitoisuudet olivat lähes 14 –kertaisia orgaanisen pölyn viidentoista minuutin raja-arvoon nähden (kuva 42). Matalat savut erottuivat edukseen, koska mittaukset tehtiin hengitysvyöhykkeen korkeudelta, jonne matalat savut nousivat vasta hitaasti lämmitessään (kuva 16).

Suurimmat glykolipitoisuudet mitattiin käytettäessä Quick Fog Fluid-, ZR heavy Fog Fluidia ja MDG Low Fog Fluid –tehostesavunesteitä (kuva 41). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet olivat myös selvästi korkeimmat näillä kolmella tehostesavulla. Yksittäisissä haihtuvissa orgaanisissa yhdisteissä oli tehostesavunesteiden pääliuottimien lisäksi nähtävissä glykolien valmistuksessa käytettävää 1-hydroksi-2-propanonia ja valmistuksen sivutuotteena syntyvää dipropyleeniglykolia (kuva 41).

Mitatut aldehydien pitoisuudet olivat pieniä pahinta mahdollista tilannetta simuloivissa kokeissa, joten on epätodennäköistä että aldehydit aiheuttaisivat ongelmia käytettäessä tehostesavuja näyttämöillä ja studioilla (kuva 40).

Matalaa savua käytettäessä mielenkiintomme kohdistui erityisesti hiilidioksidipitoisuuksiin näyttämön eri osissa ja eri korkeuksilla käytettäessä MDG Ice Fog Compact- tehostesavukonetta, joka käyttää 100% hiilidioksidia ponneaineena ja viilentävänä elementtinä matalan savun tuotannossa. Studion vasemmassa reunassa hengitysvyöhykkeen korkeudella hiilidioksidipitoisuudet olivat suurimmillaan 0,53 %, oikeassa reunassa 60 cm korkeudelta maanpinnasta 1,2 % ja lattialla studion vasemmassa ja oikeassa reunassa 5 % (kuva 43). Hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettu pitoisuus on 0,5 %. Studion keskellä lattialla mittasimme rinnan hiilidioksidipitoisuutta ja happipitoisuutta (kuva 44). Mittauk-

sissa oli havaittavissa hiilidioksidin happea syrjäyttävä ominaisuus, joka voi olla hyvin vahingollinen mikäli hiilidioksidi pääsee vajumaan näyttämöltä esimerkiksi orkesterimonttuun tai kuiskaajan työtilaan. Happipitoisuus laski tasolle 19,5 %, kun se normaalisti on noin 21 %. Hapen puutteesta aiheutuvia seurauksia voi alkaa ilmenemään happipitoisuuden laskiessa alle 18 % (STM 2014).

5.5.2 Savusukellussimulaattorin ajo-olosuhteiden vaikutus altisteiden pitoisuuksiin

Sapalabissa esiintyneiden aldehydipitoisuuksien vuoksi halusimme kokeilla erilaisia ajo-olosuhteita ja niiden vaikutusta simulaattorin sisäilman laatuun. Ilman laatua mittasimme polyyklisten aromaattisten hiilivetyjen ja aldehydien pitoisuuksien avulla. Tarkoituksenaamme oli selvittää mikä on todennäköisin lähde PAH-yhdisteille ja aldehydeille, tehostesavu vai propaanin polttaminen. Ensimmäisessä ajossa kokeilimme pelkästään propaanin polttamista suoraan ilmaan, toisessa tuotimme vain tehostesavua simulaattoriin ja kolmannessa vaiheessa tuotimme tehostesavua ja poltimme propaania. Pelkän propaanin polttaminen tuotti simulaattorin ilmaan PAH-yhdisteitä, joista merkittävimmät olivat naftaleeni, pyreeni, bentso[ghi]peryleeni, fluoreeni ja fenantreeni. Simulaattori tuuletettiin ja seuraavaksi sinne tuotettiin vain glykolipohjaisesta Slow Fog –tehostesavunesteestä aerosolia. Tällöin tärkeimmät PAH-yhdisteet olivat naftaleeni, pyreeni, fenantreeni, fluoranteeni, asenaftyleeni ja bentso[ghi]peryleeni. Liekkien lisääminen tehostesavun sekaan tuotti ilmaan enemmän naftaleenia, asenaftyleeniä ja fenantreenia, joten nämä kolme viimeisintä ovat todennäköisimmät tehostesavun lämpöhajoamistuotteet (kuva 47).

Propaanin polttamisessa syntyi eniten formaldehydiä, asetaldehydiä, akroleiinia, propionaldehydiä ja asetonia. Kun tuotimme tuuletuksen jälkeen pelkkää tehostesavua simulaattoriin tärkeimmät aldehydit olivat formaldehydi, akroleiini, propionaldehydi ja bentsaldehydi. Lisättäessä tehostesavuun myös propaanin poltto lisääntyi formaldehydin, propionaldehydin ja bentsaldehydin pitoisuudet. Nämä kolme ovat myös todennäköisimpiä tehostesavun lämpöhajoamisessa syntyviä aldehydejä akroleiinin lisäksi (kuva 48).

Vertailtaessa perinteistä kaasun polttoa suoraan ilmassa vesipatjan päällä tapahtuvaan polttoon havaitsimme, että vesipatjan päällä kaasun poltto synnyttää mittausten mukaan vähemmän formaldehydiä, asetaldehydiä, akroleiinia ja krotonaldehydiä. Näiden aldehydien pitoisuudet olivat 7,5-16 –kertaisia poltettaessa kaasua ilmassa verrattuna polttoon

veden päällä. Bentsaldehydipitoisuudet nousivat kaikista eniten ollen jopa 37 kertaisia verrattuna veden päällä polttoon (taulukko 14). Vertailu tehtiin polttamalla molempia kaasupolttimia ajallisesti mahdollisimman tasaisesti.

Suurin hiilimonoksidipitoisuus simulaattorin ilmassa poltettaessa kaasua veden pinnalla oli 7,3- ja kattosuuttimien kautta yli 67 –kertainen hiilimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden (kuva 52). Suurimmat typpimonoksidipitoisuudet sitä vastoin olivat simulaattorin ilmassa ensimmäisessä vaiheessa 28 % ja toisessa vaiheessa 42 % typpimonoksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (kuva 52). Suurimmat typpidioksidipitoisuudet olivat veden päällä polton aikana 2,1- ja ilmassa polton aikana 0,3-kertaisia typpidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden (kuva 52). Typpidioksidimittauksessa oli ongelmia toisen ajon aikana. Hiilidioksidimittauksessa suurimmat pitoisuudet olivat ensimmäisessä ajossa 4,3 % ja toisessa ajossa 4,8 % (kuva 52). Mittaukset osoittivat kaasun polttamisen veden pinnalla tuottavan pienempiä päästöjä kuin perinteiset kattosuuttimet. Mitatut kaasupitoisuudet olivat niin korkeita, että pelkällä suodattavalla suojaimella ei ole mitään asiaan simulaattorin sisälle. Kaasusimulaattorissa toimivilla on oltava aina paineilmalaitteet.

5.5.3 Brandax KS- ja Brandax VS-savujen päästöt

Brandax KS-tehostesavun päästöjä aldehydien, haihtuvien orgaanisten yhdisteiden, kloorin, ammoniakkin ja hiilimonoksidin osalta testattiin Palotalossa olevassa huoneessa (kuva 17). Huoneen taustapitoisuudet mitattiin ensin ja sen jälkeen tilassa sytytettiin pieni Brandax VS –savupanos. Toisessa vaiheessa sytytimme suuremman Brandax KS- savun. Isommasta savusta syntyvät päästöt mitattiin tilaan hengitysvyöhykkeen korkeudelta tilan keskeltä. Keskimääräinen formaldehydipitoisuus tilan ilmassa oli 21 % sen HTP_{8h}-arvosta ja akroleiinipitoisuudet 61 % sen HTP_{15min}-arvosta. Muita tehostesavun tuottamia aldehydejä olivat propioni- ja asetaldehydi sekä ketoneja asetoni ja 2-butanoni (kuva 49).

Samasta mittauspaikasta mitattiin myös haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet. Brandax KS-savupanos tuotti ilmaan kloorattuja hiilivetyjä kuten, hiilitetrakloridia, dikloorimetaania, diklooriasetonitriliä ja kloroformia. Muita syntyneitä yhdisteitä olivat pyridiini, heksanaali, 2-furfuraali, 2-metyylifuraani ja bentseeni. Kloroformin pitoisuus oli 5 %, 2-furfuraalin 2,8 % ja bentseenin 1,3 % niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta (liite 6 taulukko 18). Muita altistavia kaasumaisia yhdisteitä ilmassa olivat ammoniakki, jota syntyi hetkellisesti panoksen sytyttämisen jälkeen molemmissa kokeissa. Ammoniakin suurimmat hetkelliset pitoisuudet olivat 106 % sen HTP_{15 min}-arvosta (kuva 51). Kooria syntyi tasaisesti kokeen aikana ja suurimmat hetkelliset pitoisuudet olivat 110

% kloorin HTP_{15min}-arvosta. Mitatut tulokset osoittivat, että Brandax KS- ja VS-savupanos-ten käyttöön liittyy lisääntynyt riski altistua kloorille, ammoniakille ja klooratuille hiilivedyille savusukellusharjoitusten aikana.

5.6 Keuhko- ja verisuonivasteet kenttämittauksissa

Tehostesavujen turvallinen käyttö on osa teatterityön riskinhallintaa (Rossol ja Hinkamp, 2001). Tv- ja elokuvatyössä on raportoitu voimakkaampaa altistumista mineraaliöljypohjaisten kuin glykolipohjaisten tehostesavujen käyttöön liittyen (Teschke ym., 2005). Toistuvaan ja pitkäkestoiseen altistumiseen on yhdistetty keuhkotoiminnan muutoksia (Varughese ym. 2005). Varo-ohjeiden noudattaminen kuitenkin vähentää terveysriskiä merkittävästi. Tässä tutkimuksessa teatteri- ja televisiotyössä ei havaittu keuhkotoiminnan merkittävää häiriintymistä tutkituilla työntekijöillä tehostesavulle altistumiseen liittyen. Tehostesavujen käyttöön liittyen ei ole aiemmin tutkittu verisuonten sisäkalvon eli endoteelin toimintaa. Väestötutkimuksissa on havaittu, että jo lyhytkin ilman epäpuhtauksille altistuminen voi aiheuttaa endoteelitoiminnan häiriöitä, joilla voi toistuessaan saattaa olla merkitystä sydän- ja verisuonisairauksien syntyyn (Ljungman ym. 2014). Tässä tutkimuksessa ei kenttä- eikä laboratorio-oloissa havaittu verisuonitoiminnan poikkeavuutta tehostesavuille altistumiseen liittyen. Myöskään poikkeavia verenpainevasteita ei todettu. EKG:n pitkäaikaisrekisteröinnissä ei laboratorion kontrolloiduissa altistumistilanteissa havaittu sydämen sähköisen toiminnan häiriintymistä. Tämä tulos on yhdenmukainen tuoreen työympäristön pienhiukkasaltistumistutkimuksen kanssa (Bortkiewicz ym. 2014).

Tehostesavuja käytetään monien turva-alojen koulutuksessa. Suojautuminen ilman epäpuhtauksilta on osa harjoitusta. Tässä tutkimuksessa selvitettiin terveiden palomiesten verisuonten ja keuhkojen toimintaa tehostesavuille altistumisen yhteydessä. Suojaus näytti tehokkaasti estävän haitalliset välittömät ja viivästyneet reaktiot.

5.7 Keuhko- ja verisuonivasteet altistumiskammioissa

Kuitenkin laboratoriossa tehdyssä osatutkimuksessa tuli esiin annoksen nousuun liittynyt uloshengityksen typpioksiditason kohoaminen. Keuhkoputkien pintasolukko alkaa tuottaa typpioksidia, kun ulkoinen ärsyke aktivoi tulehdusjärjestelmää ja typpioksidi on mitattavissa uloshengitysilmaasta. Reaktio on voimakkaimmillaan 10- 24 tunnin kuluttua altistumisesta (Bjermer ym. 2014). Tämä voisi viitata alkavaan suojautumisreaktioon tulehdusta

vastaan. Subjektiiiviset oireet altistumisiin liittyen olivat yleensä satunnaisia sekä kenttäoloissa että pääosin laboratoriossa. Kuitenkin koettu oireilu oli selvempää voimakkaamman mineraaliöljypohjaiselle savulle altistumisen yhteydessä. Oireet rauhoittuivat altistumisen loputtua eikä yleisessä keuhkotoiminnassa kehittynyt muutoksia. Kyseessä on siis todennäköisesti terveen keuhkon suojautumisreaktio. Tärkeä on kuitenkin välttää toistuvia ärsytyksiä ja estää tehostesavujen pitoisuuksien kohoaminen millään työskentelyalueella liian korkeaksi, huolehtia ilmanvaihdosta ja työntekijöiden työ tauottamisesta. Tupakointi herkistää hengitystiet työperäisille ilman epäpuhtauksien aiheuttamille keuhkosairauksille (Fishwick ym. 2013).

5.8 Tehostesavujen aiheuttamat oireet ja niiden tunnistaminen

Kenttä- ja laboratoriotutkimuksissa satunnaiset oireet olivat lähinnä nopeasti ohimenneitä silmien ja ylähengitysteiden ärsytysoireita. Tulosten yleistettävyyttä rajoittaa tutkittavien määrä ja altistumisen kertaluonteisuus. Lisäksi eniten altistuvia työntekijöitä ei voitu valita etukäteen ja kaikkien tutkittavien mukanaolo perustui vapaehtoisuuteen ja mahdollisuuden osallistua toistomittauksiin. On mahdollista, että hankkeessa ei kaikilta osin päästy mittaamaan eniten altistuneita työntekijöitä. Merkittävä havainto on kuitenkin oireiden runsaampi esiintyminen samassa korkeamman mineraaliöljypohjaisen tehostesavun altistumisessa, jossa havaittiin muista poiketen typpioksidituotannon kiihtymisä hengitysteissä.

Aiemmin on raportoitu astman olevan yleisempää mm. viihdealan työntekijöille ja yhtenä selityksenä ovat olleet ilman epäpuhtaudet (Arif ym. 2002). Tässä kyselytutkimuksessa tehostesavuille potentiaalisesti altistuvat työntekijät raportoivat diagnosoitua astmaa saman verran kuin suomalainen työikäinen väestö keskimäärin (Kainu ym, 2013). Koetuista oireista tavallisimpia olivat kenttätutkimuksissa, laboratoriomittauksissa ja työntekijäkyselyssä lievät ja satunnaiset ylähengitysteiden ja silmien ärsytysoireet. Kuitenkin 10- 15 % työntekijäkyselyssä raportoi myös keuhkoperäisiä oireita ja päänsärkyä. Mikäli oireita esiintyy toistuvasti, on arvioitava tehostesavujen käyttöön liittyvien ohjeiden noudattaminen. Tapaturmaisen voimakkaan altistumisen jälkeen oirekysely on syytä tehdä heti ja toistaa vielä seuraavana päivänä vähäoireisillekin. Samoin spirometriatutkimus on syytä tehdä, mikäli tapaturmainen altistuminen on ollut selkeä. Joissakin tilanteissa uloshengityksen typpioksidimittaus saattaa olla hyödyllinen lisätutkimus erityisesti selkeästi oirelevien tilan selvityksessä.

5.9 Keinot altistumisen vähentämisessä näyttämöllä

Tehosteiden tarkoituksena on luoda todentuntuksia tapahtumia turvallisesti olematta sitä miltä näyttää (Heikkinen 2007). Koska tehostetyö on paljon muutakin kuin miltä näyttää, sisältyy siihen myös monentyyppisiä riskejä joiden hallitsemisessa on ensiarvoisen tärkeää tehosteiden käyttäjien tietoisuus olemassa olevista turvallisuuteen ja terveyteen vaikuttavista tekijöistä. Tehostesavujen käyttö ei ole vielä luvanvaraista, mutta sen sijaan erikoistehosteiden esimerkiksi pyrotekniikan käyttö on lainsäädännöllä säädeltyä ja erikoistehostemestareilla on oltava määräyksissä edellytetty viranomaistahojen hyväksymä pätevyys ja henkilökohtaiseen lupakirjaan perustuva valtuutus (Heikkinen 2007). Lisäksi toiminta edellyttää saumatonta yhteistyötä Pelastuslaitosten palotarkastajien kanssa, jotta tehosteiden käyttöön tarkoitettut tilat soveltuvat esityksessä tarvittaviin tehosteisiin ja tehosteiden käyttö ei aiheuttaisi ongelmia esityksen aikana (Koivuranta ym 2011).

Tehostesavujen käytön koulutuksessa painotetaan, että kullakin tehostesavukoneella saa käyttää vain sen valmistajan suositamaa tehostesavunestettä. On viisasta noudattaa valmistajan ohjeistusta, jotta tehostesavukone toimisi optimaallisesti tuottaen mahdollisimman pienellä tehostesavunestemäärällä maksimimäärän savua jolloin myös ei-toivottujen lämpöhajoamistuotteiden tuottaminen minimoidaan. Lämpöhajoamistuotteiden määrää voidaan vähentää myös esiintymislavan kuumien valaisimien päivittämisellä LED-valaisimiksi, jolloin valaisimien pinnoille laskeutuva tehostesavuneste ei turhaan muodostaisi tarpeettomia lämpöhajoamistuotteita. Tehostesavunesteiden sisällöllä on myös merkitystä ja glykolipohjaisista tehostesavunesteistä turvallisimpana pidetään puhtaasti propyleeni- tai butyleeniglykolipohjaisia tuotteita (Ministry of Labour Ontario 2012). Pääliuottimien valmistuksessa käytetään erilaisia valmistus- ja lisäaineita. Lisäksi prosessissa syntyy pieniä määriä sivutuotteita (Techke ym., 2003; Techke ym., 2005). Yleensä teollisuuslaatua sisältävissä liuottimissa suvaitaan enemmän epäpuhtauksia kuin vastaavissa elintarviketeollisuuslaatua olevissa. Mitä puhtaampi neste on, sitä vähemmän haitallisia epäpuhtauksia ilmaan muodostuu. Näin ollen glykolien valmistuksessa tarvittavien 1-hydroksi-2-propanonin, valmistuksen sivutuotteena syntyvien glykolien eri kerrannaisten ja aldehydien esiintyminen tuotteessa lisäävät kemiallisille aineille altistumista näyttämöllä (kuvat 19-22 ja 25). Tämä sama pätee myös mineraaliöljypohjaisiin nesteisiin, joissa raffinoitua eli pidemmälle jalostettua tuotetta edustavat puhtaampia nesteitä, joita mm. mineraaliöljypohjainen MDG Neutral fluid tutkimuksessaamme edusti (Fent ym., 2013).

Tehostesavuja voidaan puhalttaa näyttämön ilmaan ponneaineena käytetyn 100 % hiilidioksidin ja erilaisten puhaltimien avulla. Tehtaässä matalaa savua 100 % hiilidioksidia käy-

tetään myös savujen jäähdyttämiseen. Hiilidioksidia ponneaineena käyttävät tehostesavukoneet tuottavat harvoin suuria hiilidioksidipitoisuuksia näyttämölle (kuva 32) elleivät kaasupullojen venttiilit vuoda tai tehostesavukoneissa ole ongelmia kaasunsyötön kanssa. Teknisten ongelmien välttämiseksi tehostesavukoneiden säännöllinen huolto on ensiarvoisen tärkeää turhien epäpuhtauspitoisuuksien ehkäisemiseksi. Paineenalaisten kaasujen käyttöön liittyy myös työturvallisuusriski, jonka vuoksi näyttämölle on varattava tukeva kaasupulloteline, joka missään olosuhteissa ei pääse kaatumaan ja sen seurauksena kaasupullon venttiilit särkymään. Käytettäessä paineenalaisia kaasuja, on myös pullon venttiin rikkoitumiseen syytä varautua ja pohtia myös mitä tehdään jos täysi kaasupullo syystä tai toisesta pääsee tyhjenemään nopeasti näyttämön takana aiheuttaen nopeasti vaarallisen suuren hiilidioksidipitoisuuden näyttämölle. Tällöin näyttämön hyvän yleisilmanvaihdon merkitys korostuu ja mahdolliset hiilidioksiditunnistelijat poistoilmassa voisivat reagoida ilmanvaihto tarpeeseen nopeasti. Kaikista hankalinta kuitenkin on tilanne, jossa kaasupullo vuotaa huomaamattomasti. Tätä varten olisi hyvä varustaa hiilidioksidilla toimiva tehostesavukone hiilidioksidi-ilmaisimella, joka varoittaa jos hiilidioksidipitoisuudet nousevat vaarallisen korkeiksi. Ilmaisim mahdollistaisi vuotavan pullon siirtämisen näyttämöltä ennen kuin se ehtii aiheuttaa vaaratilanteen. Pullon siirtoon kannattaa myös miettiä nopein ja turvallisin reitti etukäteen. Hiilidioksidia käyttävien tehostesavukoneiden normaaliinkin käyttöönkin voi liittyä ongelmia etenkin tuotettaessa matalaa savua, jossa hiilidioksidia käytetään savun jäähdyttämiseen. Suurimmat mitatut pitoisuudet lattianrajassa olivat pahimmissa tapauksissa yli 5 % (kuva 44), joka on kymmenkertainen pitoisuus hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden. Näissä pitoisuuksissa hiilidioksidin on todettu jo laskevan ilman happipitoisuutta (kuva 44). Näin ollen mikäli produktiossa on kirjoitettu kohtauksia, jossa esiintyjät joutuvat olemaan savussa suosittelimme matalan savun tuottomenetelmän vaihtoa. Työhygieenisten torjuntatoimenpiteiden toisena periaatteena altistumisen vähentämisessä on menetelmän korvaaminen turvallisemmalla. Näin ollen pidämme esimerkiksi matalasavukone Jem Glaciatoria, joka on varustettu jääkaapin kaltaisella kylmäelementillä, parempana vaihtoehtona matalan savun tuottamiseen kuin 100 % hiilidioksidia viilennykseen käyttävää tehostesavukone Ice Fog Compactia. Menetelmän korvaamisella estetään korkean hiilidioksidipitoisuuden ja pienhiukkasten samanaikaisesta hengittämisestä aiheutuva synerginen vaikutus esiintyvien taiteilijoiden verisuonistoon. Samalla ehkäistään hiilidioksidipitoisuuden kasaantuminen näyttämön mataliin sopukoihin, kuten esimerkiksi orkesterimonttuun.

Teattereissa, TV-tuotannoissa ja oopperassa tunnetaan tehostesavujen varosäännökset ja näyttelijöitä ei ohjata suoraan savukoneesta syntyvään tehostesavuun. Simulaatiokokeissa testasimme hetkellisiä hengittyvän pölyn pitoisuuksia näyttämöllä. Mittaukset osoittivat että hetkelliset tehostesavupitoisuudet olivat todella korkeita juuri savun tuoton alussa

(kuva 42) vaikka savukoneet olivat studion etunurkassa 5-6 metrin päässä mittalaitteista. Näin ollen savun tuoton ja esiintyjien sisääntulon porrastamisella voidaan leikata suurempia hetkellisiä pitoisuuksia näyttämön ilmassa. Hengittyvän pölypitoisuuden noustessa yli 100 mg/m^3 , myös nesteen epäpuhtauksien pitoisuudetkin näyttämön ilmassa nousevat samassa suhteessa, kuten todettiin savusukellussimulaattorissa tehdyissä kokeissa. (kuva 48). Yhdysvalloissa on annettu ohjeistusta savukoneiden sijoittelusta ja pääperiaatteena on, että savukoneet on sijoitettava näyttämön takaosaan. Lisäksi tehostesavukonetta ei käytetä samanaikaisesti esiintyjän ollessa lavalla tai savukoneen läheisyydessä. Tällöin voidaan tarvittavaa pitoisuutta pitää yllä näyttämön toisella puolella olevalla koneella, tai koneiden suuntaus muutetaan pois päin esiintyjästä ja savun muodostuksen intensiteettiä vähennetään (Moline ym., 2000; ENVIRON International Corporation, 2006).

Paras keino tehostesavuallistumisen vähentämiseen on niiden käytön optimointi ja kultaisen keskitien löytäminen tehostesavuratkaisuissa eri produktiossa. Lähtökohta on pysyä vähintään Sosiaali- ja Terveysministeriön antamien haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien alapuolella (STM 2014). Kansainvälisen ohjeistuksen mukaan mineraaliöljypohjaisen öljysymun kahdeksan tunnin TWA-arvo on 5 mg/m^3 ja lyhytaikaiselle altistumiselle STEL-arvo 25 mg/m^3 (Moline ym., 2000). Kansainvälinen mineraaliöljypohjaisen tehostesavun suositus arvo on hyvin sopusoinnussa Suomessa olevien määräysten kanssa, koska Suomen vastaava HTP_{8h} -arvo kaikille toimialoille on 5 mg/m^3 (STM 2014). Sen sijaan kokonaisglykolipitoisuuksille Yhdysvalloissa on annettu kahdeksan tunnin TWA -arvo 10 mg/m^3 ja hetkelliselle altistumiselle STEL- arvo 40 mg/m^3 (Moline ym., 2000). Suomessa ei vastaavaa yhteispitoisuusarvoa ole, joten olemme verranneet mittaamiamme glykolipitoisuuksia etyleeniglykolin kahdeksan tunnin HTP-arvoon 50 mg/m^3 ja sen viidentoista minuutin HTP-arvoon 100 mg/m^3 (STM 2014). Näin ollen Suomen HTP-arvot ovat selvästi suuremmat verrattuna kansainvälisiin suosituksiin, joten paineita niiden pudottamiseksi Suomessa on olemassa.

Pyroteknisissä tuotteissa altistavia epäpuhtauksia syntyy riippuen tuotteen sisällöstä, mutta todennäköisimmät altisteet ovat typen, rikin ja hiilen oksidit, joista kaksi ensimmäistä ovat erityisen ärsyttäviä. Lisäksi pyrotekniikka tuottaa hetkellisen suuren pölypitoisuuden, jonka nopea poistaminen esitystilasta on suuri haaste. Ärsytysvaikutuksensa vuoksi pyrotekniikan ajallisesti lyhyet emissiot ovat selkeä uhka vahvasti ääneään käyttäville esiintyjille ja niille joilla on jo ollut aiemmin astman kaltaisia oireita. Erityisesti hetkellisten suurien pitoisuuksien on todettu aiheuttavan oireita esiintyville taiteilijoille ei niinkään pitkäaikainen matala altistuminen (Moline ym., 2000). Pyrotekniikan käyttöä paloturvallisuuden kannalta valvotaan tarkasti Pelastuslaitosten toimesta (Koivuranta ym., 2012),

mutta pyrotekniikan haittavaikutukset esiintyjiin ja pyrotekniikan emissioiden vaatimukset tilan ilmanvaihdon suhteen kaipaavat päivitystä pyroteknisten tuotteiden nostaessaan suosiotaan kaiken aikaa.

5.10 Keinot altistumisen vähentämisessä savusukellussimulaattoreissa

Savusukellussimulaatioharjoituksissa on viimeisen kymmenen vuoden aikana siirrytty perinteisistä simulaattoreista uusiin moderniin simulaattoreihin, joissa lämpö tuotetaan kaasulla ja keinotekoinen savu mineraaliöljy- ja glykolipohjaisista tehostesavunesteistä (Fent ym., 2013). Perinteisillä savusukellussimulaattoreilla tarkoitetaan simulaatiotilaa, jossa lämmön ja savun tuottamiseksi poltetaan mitä moninaisempia materiaaleja kuten lastulevyä, havuvaneria ja puhdasta puuta. Savun muodostusta on tehostettu polttamalla polyuretaanipatjoja ja materiaalien sytytysnesteenä on käytetty esimerkiksi kerosiinia, Liav 200:aa ja etanolia (Laitinen ym. 2010). Perinteisen simulaattorin on todettu altistavan savusukellusopettajien merkittävästi enemmän kuin uudet modernit savusukellussimulaattorit. Tämän vuoksi siirtyminen moderneihin savusukellussimulaattoreihin on viime vuosina nopeutunut työntekijöiden altistumisen ja kiristyvien ympäristösäännösten vuoksi. Uudet modernit savusukellussimulaattoritkaan eivät ole täysin vaarattomia ja siitä osoituksena on tapaus, jossa kolme savusukellusopettajaa olivat altistuneet puolen tunnin ajan mineraaliöljypohjaiselle tehostesavulle Yhdysvalloissa. Kukaan näistä kolmesta savusukellusopettajasta eivät käyttäneet hengityksensuojaimia valmistellessaan seuraavaa savusukellusharjoitusta savusukellussimulaattorissa. Kaksi savusukellusopettajista selvisivät lyhytaikaisilla ärsytysoireilla ja oireet laantuivat nopeasti altistumisen päättymisen jälkeen. Kolmannen oireilu kuitenkin pitkittyi ja oireet pahenivat. Oireet pahenivat siinä määrin, että opettaja siirrettiin viikoksi sairaalahoitoon. Hänen tilansa diagnosoitiin keuhkokudoksen tulehdukselliseksi ja rasvaliukoisen aerosolin aiheuttamaksi keuhkokuumeeksi. Tilanne korjautui vasta kahden seuraavan kuukauden aikana (Fent ym., 2013). Myös alustavat tiedot korkeista formaldehydipitoisuuksista uusissa moderneissa simulaattoreissa ovat nostaneet keskustelua, mistä formaldehydi on peräisin ja lähteeksi on arvioitu mineraaliöljy ja sen lämpöhajoamistuotteet (Laitinen ym. 2010).

Altistumisen vähentämisessä tärkeä rooli on savusukellussimulaattorin käyttöohjeistuksella, jonka tulisi sisältää selkeät ohjeet siitä, että simulaattoriin ei ole mitään asiaan ilman paineilmalaitteita ja palomiehen normaaleja suoja-asusteita harjoitusten ollessa käynnissä. Simulaattorissa on noudatettava savusukellusohjetta siinä missä normaalissa operatiivi-

sessä toiminnassakin tehdään. Jostakin syystä on olemassa vääriä uskomuksia, että tehostesavut ovat täysin turvallisia ja niitä vastaan ei tarvita suojaimia (Fent ym., 2013). Simulaattorin huoltohenkilökunnalla on myös oltava paineilmalaitteet jos simulaattoria huolletaan harjoitusten aikana. Harjoitusten jälkeen simulaattori on tuuletettava hyvin ennen tilaan menemistä. Simulaattoreiden savukoneiden nestesäiliöiden tilavuus tulisi olla sellainen että tarvetta säiliöiden täyttöön ei ole harjoitusten aikana. Ratkaisuna liian pieniin konekohtaisiin säiliöihin voisi olla keskitetty nestejärjestelmä, josta nesteet siirtyvät koneille putkistoja pitkin yhdestä isosta säiliöstä.

Moderneissa savusukellussimulaattoreissa altistumista aldehydeille ja muille tehostesavun lämpöhajoamistuotteille on mahdollista kontrolloida tehostesavunesteen valinnalla. Sapa-lab-simulaattorissa käytettiin Slow Fog –tehostesavunestettä, joka sisälsi trietyleeniglykolia ja propyleeniglykolia (kuva 18). Turvallisimmat tehostesavunesteen sisältävät joko propyleeni- tai butyleeniglykolia eivätkä enää etyleeniglykolipohjaisia tuotteita (Ministry of Labour Ontario 2012). Slow Fog -tehostesavu sisälsi myös form- ja asetaldehydiä (kuvat 19-22). Erityisesti savusukellussimulaattoreissa nesteiden epäpuhtauspitoisuuksiin kannattaa kiinnittää huomiota, koska epäpuhtauspitoisuudet korostuvat käytettäessä suuria tehostesavupitoisuuksia, kuten simulaatiokokeissa havaittiin tuottaessa pelkästään tehostesavua simulaattorin ilmaan (kuva 48). Puhtaimmilla nesteillä on mahdollista pudottaa simulaattorin formaldehydipitoisuuksia valitsemalla vähemmän formaldehydiä sisältävä tehostesavuneste.

Formaldehydipitoisuuksia on mahdollista myös vähentää valitsemalla simulaattoriin kaasusuuttimia, joissa kaasu poltetaan veden pinnalla normaalin ilmassa tapahtuvan polton sijasta. Veden pinnalla kaasua poltettaessa formaldehydipitoisuudet olivat selvästi pienemmät kuin poltettaessa kaasua perinteisillä suuttimilla (taulukko 14). Veden pinnalla kaasua poltettaessa liekit ovat myös helpommin havaittavissa ja liekin palaminen veden pinnalla tuottaa simulaattoriin kosteutta, jonka vuoksi simulaattorin kuumuus havainnoidaan pienimmissä lämpötiloissa ja simulaattoria ei tarvitse lämmittää niin kuumaksi kuin poltettaessa pelkästään kaasua ilmassa. Näiden havaintojen lisäksi Sapalab-simulaattorin hiilimonoksidipitoisuudet olivat selvästi matalampia poltettaessa kaasua veden päällä kuin perinteisillä suuttimilla ilmassa (kuva 52). Suurimmat hiilimonoksidipitoisuudet Sapalab-simulaattorissa poltettaessa kaasua suoraan ilmassa olivat yli 67 –kertaisia verrattuna hiilimonoksidin HTP_{8h} -arvoon verrattuna. Suurimmat hiilidioksidipitoisuudet olivat 10- , typpidioksidipitoisuudet 2,2- ja typpimonoksidipitoisuudet 0,4-kertaisia niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen verrattuna (kuva 52). Typen oksidien syntyä kaasun polttamisessa on kuvattu kirjallisuudessa mm. Arashidanin työryhmän julkaisussa (Arashidani

ym., 1996). Kaasumaisten epäpuhtauksien, kuten hiilimonoksidin ja hiilidioksidin korkeiden pitoisuuksien yli IDHL-tason (liite 6 taulukko 18) sekä ärsyttävän typpidioksidin yli HTP_{8h} -tason menevät pitoisuustasot tarkoittavat, että paineilmalaitteita on käytettävä ehdottomasti simulaattorissa työskenneltäessä.

Koska perinteissä savusukellussimulaattoreissa on haluttu lähteä vähentämään epäpuhtauksia tuottavien materiaalien polttoa ja siirtyä käyttämään turvallisempia tuotteita kuten puhdasta puuta, on liian pienen savunmuodostuksen vuoksi alettu käyttää Brandax VS- ja KS -savupanoksia, jotka sisältävät ammoniumkloridia, kaliumklooraattia ja steariinihappoa. Brandax KS-savun emissiota selvitettiin Palotalossa ja savun käytön aikana syntyi kloorattuja hiilivetyjä, kuten kloroformia, diklooriasetonitriliä, hiilitetrakloridia ja dikloorimetaania (kuva 50). Tämän lisäksi savupatruunan sytytysvaiheessa syntyi lyhytaikaisesti ammoniakkia, mutta sen sijaan klooria syntyi koko savun muodostuksen ajan. Hetkelliset ammoniakkipitoisuudet ylittivät ammoniakkin HTP_{15min} -arvon ja suurimmat pitempiaikaiset klooripitoisuudet olivat kloorin HTP_{15min} -arvon tuntumassa (kuva 51). Mikäli tavoitteessa parempien työolosuhteiden saavuttamiseksi halutaan edelleen edetä, ei Brandax savujen polttaminen sitä edistä.

Simulaattoreissa altistumista voidaan vähentää rajoittamalla savusukelluspäiviä siten, että savusukelluksia ei saa tehdä peräkkäisinä päivinä vaan opettajien altistumisaikaa jaetaan tasaisemmin. Samalla käytäntö vähentää opettajien lämpökuormitusta, joka on toinen tärkeä huomioitava asia. Työntekijöiden tiedottamisella simulaattoreiden haitallisista pitoisuuksista on tärkeä rooli, jotta tehostesavujakaan ei mielletä täysin haitattomiksi. Tähän liittyen palamisessa syntyvien epäpuhtauksien hallintaa tulisi myös korostaa esimerkiksi kertomalla kuinka formaldehydipitoisuuksia voidaan vähentää käyttämällä enemmän veden pinnalla kaasua polttavia polttopisteistä kaasua suoraan ilmaan syöttävien polttopisteiden sijasta. Myös tehostesavusimulaattoreissa heti terveydelle vaarallisten pitoisuuksien raja-arvot ylittyivät, joten paineilmalaitteiden käyttö on välttämätöntä harjoitusten aikana ja suunniteltaessa harjoituksia simulaattorin sisällä. Hengityssuojainten toimivuuden varmistamiseksi tulisi suojainten tiiviys tarkistaa säännöllisesti, mutta myös ihonsuojauksesta on huolehdittava, koska palomiehen työssä myös ihoaltistumisella on suuri merkitys (Laitinen ym., 2012; Fent ym., 2013a). Opettajien kokonaisaltistumista tulisi arvioida pisto-koeluontoisten altistumismittausten kuten biomonitoiminnin avulla, jolloin voidaan kontrolloida suojainten toimivuutta ja puuttua ongelmiin. Ihoaltistumisen katkaisemiseksi mahdollisimman nopeasti tulisi opettajien peseytyä välittömästi harjoitusten jälkeen, jotta ihon pinnalla altistavat PAH-yhdisteet eivät ennästä absorpoitua ihon läpi elimistöön. Pitkää saunomista tulisi välttää, koska simulaattoreissa saatua lämpökuorma ei kannata tietoisesti

enää lisätä peseytymisvaiheessa. Pesun jälkeen on vaihdettava puhtaat vaatteet päälle ja sammutusasujen on matkustettava liukenevassa muovipussissa suoraan huoltoon, jottei paluumatkalla enää opettajien tarvitse altistua sammutusasusta vapautuville kaasuille ja höyryille. Samalla myös liukenevat pussit mahdollistavat sammutusasujen viemisen suoraan pesukoneeseen ilman, että huollon tarvitsee koskea likaisiin varusteisiin lainkaan.

6 YHTEENVETO

Tavoite 1: Glykolipohjaisten tehostesavunesteiden pääliuottimia olivat propyleeni- ja trietyleeniglykoli. Ilmaan tuotetussa aerosolissa havaittiin myös glykolien valmistuksessa käytettävää 1-hydroksi-2-propanonia sekä glykolien valmistuksessa syntyviä sivutuotteita, kuten dipropyleeni- ja dietyleeniglykolia. Testissä olleen mineraaliöljypohjaisen tehostesavunesteen todettiin sisältävän neste- ja aerosolianalysien mukaan korkealla kiehuvia hiilivetyjä. Tehostesavunesteistä löytyi myös pieniä määriä form-, propioni- ja asetaldehydejä sekä asetonia. Tuotettaessa ilmaan tehostesavuja teattereissa käytettävissä pitoisuuksissa, mitatut ilman aldehydipitoisuudet olivat testauskammiossa pieniä. Sen sijaan savusukellussimulaattoreissa testattavassa tehostesavunesteessä esiintynyt formaldehydi nosti simulaattorin ilman formaldehydipitoisuuden yli sen haitalliseksi tunnetun pitoisuuden. Nesteiden kuumentamisen yhteydessä syntyi myös lisäksi lämpöhajoamistuotteina akroleiinia sekä propioni- ja bentsaldehydiä. Muita lämpöhajoamistuotteita teattereissa käytetyissä tehostesavupitoisuuksissa olivat naftaleeni, pyreeni ja fenantreeni sekä savusukellussimulaattoreissa käytetyissä pitoisuuksissa näiden lisäksi bentso[ghi]peryleeni, fluoranteeni ja asenaftyleeni.

Tavoite 2: Teattereissa esitysten aikana keskimääräiset hengittyvän pölyn pitoisuudet vaihtelivat 2-118 % orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Keskimääräiset trietyleeniglykolipitoisuudet olivat 0,2-9,4 % ja propyleeniglykolipitoisuudet alle 0,01- 86 % verrattuna etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. Mitatut öljysumupitoisuudet olivat keskimäärin 2-156 % öljysumun HTP_{8h} -arvosta. Keskimääräiset aldehydien, PAH-yhdisteiden ja hiilimonoksidin pitoisuudet olivat pieniä. Hiilidioksidipitoisuudet sen sijaan olivat esityksen aikana hengitysvyöhykkeen korkeudella suurimmillaan hetkellisesti 1,4 –kertaisia hiilidioksidin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden. Näyttämön pinnasta 10 cm korkeudelta mitattiin 5 –kertaisia pitoisuuksia hiilidioksidin kahdeksan tunnin HTP -arvoon nähden. Työntekijöiden keuhko- ja verisuonivasteissa, mitattuna heti altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna verrattuna tilanteeseen ennen altistumista, ei havaittu poikkeamia huomioiden normaalit vaihteluvälit.

Savusukellusopettajien altistuminen hengittyvälle pölylle heidän ollessaan ilman suojaimia vaihteli 14-44 % orgaanisen pölyn kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta. SAPALAB-simulaattorista mitatut trietyleeniglykolipitoisuudet olivat 6,7-15 ja propyleeniglykolipitoisuudet 0,92-11 -kertaisia etyleeniglykolin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnet-

tuun pitoisuuteen nähden. Savusukelluksen aikana opettajilta mitatut formaldehydipitoisuudet SAPALAB-simulaattorissa olivat 3,2-5,7 ja Palotalo-simulaattorissa 68-78 -kertaisia formaldehydin kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnettuun pitoisuuteen nähden. Vastaavat bentsaldehydipitoisuudet SAPALAB-simulaattorissa olivat 1,6 % ja Palotalo-simulaattorissa 91-93 % sen kahdeksan tunnin HTP-arvosta. Bentseenipitoisuudet savusukelluksen aikana olivat SAPALAB-simulaattorissa 0,52-0,71 ja Palotalo-simulaattorissa 22-23 -kertaisia bentseenin kahdeksan tunnin sitovaan raja-arvoon nähden. Palotalo-simulaattorin porras-käytävästä mitatut PAH-yhdisteiden pitoisuudet osoittivat, että palamisessa syntyvä PAH-yhdisteseos on selvästi haitallisempi kuin SAPALAB-simulaattorissa. Työntekijöiden keuhko- ja verisuonivasteissa, mitattuna heti altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna verrattuna tilanteeseen ennen altistumista, ei havaittu poikkeamia huomioiden normaalit vaihteluvälit.

Tavoite 3: Altistumiskammiokeissa altistettiin koehenkilöitä Slow Fog –tehostesavunesteelle ja keskimääräiset altistumistasot valittiin teattereissa esiintyvien keskimääräisten pitoisuuksien mukaan. Keskimääräiset hengittyvän pölyn ja trietyleeniglykolin pitoisuudet ensimmäisessä testeissä olivat 62 % ja 1,1 % sekä toisessa 92 % ja 3,2 % niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista. Koehenkilöiden keuhko- ja verisuonivasteissa, mitattuna heti altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna verrattuna tilanteeseen ennen altistumista, ei havaittu poikkeamia huomioiden normaalit vaihteluvälit.

Mineraaliöljypohjaisella tehostesavunesteellä keskimääräiset hengittyvän pölyn ja öljysumun pitoisuudet ensimmäisessä testeissä olivat 58 % ja 38 % sekä toisessa 108 % ja 110 % niiden kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetuista pitoisuuksista. Koehenkilöillä ei havaittu kummallakaan altistus- ja verisuonivasteissa muutoksia heti altistumisen jälkeen ja seuraavana aamuna mitatuissa vasteissa huomioiden normaalit vaihteluvälit. Sen sijaan koehenkilöiden uloshengitysilman typpioksidipitoisuuksissa oli havaittavissa lievää nousua jo pienemmällä altistus- ja verisuonivasteella sekä erityisesti seuraavan aamun viivästyneiden vasteiden mittauksessa. Merkittävämpi nousu nähtiin korkeammalla altistus- ja verisuonivasteella, näin ollen annos vastesuhde oli havaittavissa. Uloshengitysilman kohonnut typpioksidipitoisuus heijasteli keuhkojen ärsytystä altistumisen jälkeen.

Tavoite 4: Koetuista oireista tavallisimpia olivat kenttätutkimuksissa, laboratoriomittauksissa ja työntekijäkyselyssä lievät ja satunnaiset ylähengitysteiden ja silmien ärsytysoireet. Kuitenkin 10-15 % työntekijäkyselyyn vastanneista raportoi myös keuhkoperäisiä oireita ja päänsärkyä.

Tavoite 5: Teattereissa ja studioissa glykolipohjaisten tehostesavujen pitoisuudet pysyvät Suomen haitalliseksi tunnettujen pitoisuuksien sisällä. Viihdeteollisuudessa käytetään kansainvälisesti glykoleiden kokonaispitoisuudelle hetkellistä raja-arvoa 25 mg/m^3 ja kahdeksan tunnin altistumisia verrataan keskiarvopitoisuuteen 10 mg/m^3 . Arvot ovat 20-25 % vastaavista etyleeniglykolin raja-arvoista Suomessa. Tätä taustaa vasten kansainvälisen kokonaisglykolipitoisuuden raja-arvon adoptoiminen Suomeen tiukentaisi tehostesavujen käyttöä ja mahdollistaisi paremmat työskentelyolosuhteet, jotka puolestaan vähentäisivät työntekijöiden oireilua. Glykolipohjaisista tehostesavunesteistä suositeltavimpia ovat propyleeniglykolipohjaiset tuotteet.

Mineraaliöljypohjaiselle tehostesavulle altistuttaessa ensimmäiset havainnot keuhkojen puolustusreaktiosta mitattiin altistumiskammiossa koehenkilöiltä noin 40 % pitoisuudella öljysumun kahdeksan tunnin haitalliseksi tunnetusta pitoisuudesta tunnin altistumisen jälkeen. Havaintojen mukaan paineita raja-arvon alentamiselle on olemassa. Suositeltavimpia mineraaliöljypohjaisista tehostesavunesteistä ovat pitkälle jalostetut elintarvikelaatua olevat tuotteet.

Tehostesavujen turvallinen käyttö edellyttää turvallisuusohjeistusten noudattamista, tehostesavukoneiden ja niihin tarkoitettujen nesteiden tuntemista, tehostesavukoneiden huollosta huolehtimista ja niiden käytön synkronointia esiintyjien sisääntulon kanssa, suurimpien hetkellisten pitoisuuksien leikkaamiseksi. Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa erityisesti suurien hetkellisten pitoisuuksien on todettu aiheuttavan enemmän oireilua näyttämöhenkilökunnalle kuin tasainen altistuminen. Tehostesavukoneiden savun tuottosuunnilla ja savun tuoton jaksottamisella voidaan myös vähentää esiintyjien hetkellistä altistumista. Ilmanvaihtotekniset ratkaisut ovat myös tärkeässä roolissa etenkin käytettäessä pyroteknisiä tuotteita, jotka tuottavat lyhytaikaisen korkean pitoisuuden näyttämölle. Mikäli suljetussa tilassa käytetään pyrotekniikkaa on näyttämöllä oltava tehokas ilmanvaihto, joka kykenee poistamaan epäpuhtaudet nopeasti heti niiden syntymisen jälkeen. Matalan savun käyttö teattereissa voi tuottaa näyttämön ilmaan merkittävän hiilidioksidipitoisuuden, kuten simulaatiokokeissa havaittiin. Pitoisuus voi ylittää näyttämön pinnassa hiilidioksidin terveydelle heti vaarallisen pitoisuuden 4 %. Mikäli produktiossa on kirjoitettu kohtauksia joissa näyttelijä joutuu olemaan tehostesavun sisällä, suosittelemme käyttämään matalan savun tuottoon turvallisempaa tehostesavukonetta joka ei viilennä savua hiilidioksidin avulla.

Savusukellussimulaattoreissa käytetään selvästi korkeampia tehostesavupitoisuuksia kuin teattereissa. Tämä tarkoittaa entistä tarkempia turvallisuusohjeistuksia simulaattoreissa tapahtuvien tehostesavujen käyttöön. Tähän kuuluvat myös tilanteet, joissa suunnitellaan seuraavaa harjoitusta, odotetaan seuraavaa sukellusta ja annetaan palautetta sukelluksen jälkeen. SAPALB-simulaattorissa ajon aikana hiilidioksidi- ja hiilimonoksidipitoisuudet ylittivät terveydelle heti haitalliset pitoisuudet, joten ainoa oikea hengityksensuojain simulaattoriin on paineilmalaitteet. Sama pätee sääntö simulaattoreiden huollosta vastaaville, jos heillä on tarvetta mennä huoltotiloihin harjoitusten aikana esimerkiksi täyttämään tehostesavukoneen nestesäiliöitä. Jotta korkeat pitoisuudet eivät koituisi harjoituksen jälkeen pahaa aavistamattoman seuraavan käyttäjän kohtaloksi, on harjoitusten jälkeen simulaattori aina tuuletettava hyvin. SAPALAB-simulaattorissa voidaan tehostesavun aiheuttamia epäpuhtauspitoisuuksia vähentää valitsemalla tehostesavuneste, joka sisältää ensisijaisesti pelkästään propyleeniglykolia ja lisäksi nesteen formaldehydipitoisuudet saisivat olla mahdollisimman pienet. Simulaattorin ajo-olosuhteiden optimoinnilla esimerkiksi käyttäen kaasun polttoa nestepatjan päällä normaalin polton sijasta saadaan simulaattoriin kosteuden vaikutuksesta nopeammin samantuntuinen lämpöefekti kuin poltettaessa kaasua suoraan ilmassa. Polttotekniikka näyttäisi vähentävän ainakin hiilimonoksi- ja formaldehydipitoisuuksia simulaattorissa. Vaikkakin SAPALAB-simulaattorissa monen altisteen pitoisuudet ylittivät haitalliseksi tunnetut pitoisuudet, potentiaalinen altistuminen Palotalo-simulaattorissa oli moninkertainen verrattuna SAPALAB-simulaattorin pitoisuuksiin. Tämän vuoksi Palotalo-simulaattorin altistekuormaa ei ole syytä enää kasvattaa käyttämällä Brandax savuja harjoituksissa lisäsavuna. Modernit savusukellussimulaattorit ovat selvästi turvallisempia ja terveellisempiä vaihtoehtoja savusukelluskouluttajille sekä oppilaille kuin perinteiset savusukellussimulaattorit.

Tehostesavuille altistavissa töissä hyvä työpaikkaselvitys on tärkeä työkalu riskien hallinnassa. Käytössä olevien tehostesavujen koostumus on tunnettava, niiden käytöstä annettuja ohjeita on noudatettava ja työympäristöstä tulee tarvittaessa tehdä tarkempi kartoitus yllättävien tai poikkeavien altistekasaumien (hot spots) toteamiseksi. Uusien aineiden käyttöönotto on tehtävä kontrolloidusti. Asianmukaisesti menettelytapoja ja turvallisiksi todettuja tehostesavuja käytettäessä ei työntekijälle aiheudu merkittävää terveysriskiä. Tapaturmaisen altistumisen yhteydessä systemaattinen oirekartoitus ja peruskeuhkofunktion seuranta ovat tarpeen. Voimakkaammin oireilevat kannattaa lähettää erikoissairaanhoidon arvioon. Altistumistilanteissa myös biomonitointia kannattaa käyttää altistumisen arvioinnissa ja suositeltavia menetelmiä etenkin suuremmassa savusukellussimulaattorialtistumisessa ovat virtsan 1-naftoli ja 1-hydroksipyreeni.

7 LIITTEET

Liite 1

Koettu vireystila (KSS.lomake, suomenkielinen)

Olotilasi tällä hetkellä:

- 1 erittäin vireä
- 2 hyvin vireä
- 3 vireä
- 4 melko vireä
- 5 EI UNELIAS EIKÄ VIREÄ
- 6 hieman unelias
- 7 unelias, mutta ei vaikeuksia pysyä hereillä
- 8 unelias, hereillä pysyminen vaatii jonkin verran ponnistelua
- 9 hyvin unelias, hereillä pysyminen vaatii paljon ponnistelua

Liite 3

Seuraavassa on lueteltu muutamia oireita ja tuntemuksia. Merkitse rastilla janalle (pituus 100 mm), kuinka voimakkaana oire tai tuntemus juuri tällä hetkellä tuntuu.

(Selite mittauslomakkeelle: janan pituus mitataan tarkasti, tässä kaavamainen malli).

Ei lainkaan

Äärimmäisen voimakkaana

Stressaantuneisuus



Päänsärky



Huono ilman laatu



Ärtynisyys


 Ilman loppumisen
tuntu


Silmien ärtynisyyttä



Yskää, kurkun karheutta



Yleistä huonon olon tuntua





Kysely - Tehostesavu

HUOMIO! Tämä kyselytutkimus on tarkoitettu vain niille työntekijöille, jotka todella altistuvat työnsä tehostesavulle.

1. Minusta edellä mainituilla tavoilla kerättyä tietoa saa käyttää tässä tutkimuksessa ja myöhemmin tieteelliseen tutkimustyöhön Työterveyslaitoksella tehostesavuille altistuneiden turvallisuutta, terveyttä tai hyvinvointia edistävissä tutkimushankkeissa? *

- Kyllä
 Ei

TAUSTATIETOJA

2. Nimi: *

3. Ikä *

4. Sukupuoli *

- Mies
 Nainen

5. Työtehtävä *

- 1)Tekniset toimihenkilöt (näytelmäohjastit, kamera- ääni- ja valaistusmiehet)
 2)Tallitajat (näyttelijät/tanssijat/laulajat/esitykset)
 3)Orkesterit (soittajat/kappelimestarit)
 4)Avustajat (kutsuja/ohjaaja/puvustaja/malikkaaja)
 5)Muut toimihenkilöt (kirjaa nimiä/tehtäviä)

6. Onko lääkäri todennut sinulla olevan astmaa? *

- ei
 Kyllä, milloin on todettu?

7. Onko lääkäri todennut sinulla olevan keuhkohtaumatautiä tai keuhkolaajentumaa? *

- ei
 Kyllä, milloin on todettu?

8. Onko lääkäri todennut sinulla olevan allergista nuhaa? *

- ei
 Kyllä, milloin on todettu?

9. Oletko tupakoitsija? Jos valitset ei voit hypätä kysymykseen 9. *

- ei
 Kyllä, kuinka kauan olet polttanut?

10. Paljonko keskimäärin poltat?

- alle 10 savuketta/pipullista päivässä
 10-20 savuketta/pipullista päivässä
 21-40 savuketta/pipullista päivässä
 yli 40 savuketta/pipullista päivässä

11. Käytätkö säännöllisesti lääkitystä astmaan tai muihun keuhkosairauteen. *

- ei
 Kyllä, luettelo lääkkeistä käytössäsi olevat lääkkeet

12. Käytätkö säännöllisesti tai usein lääkkeitä allergiseen nuhaan tai muihin allergiaoireisiin (esim. nenäsuihkeita, allergiatabletteja jne). *

- ei
 Kyllä, luettelo lääkkeistä käytössäsi olevat lääkkeet.

13. Onko käytössäsi muita säännöllisesti otettavia lääkkeitä *

- ei
 Kyllä, lääkkeiden nimet

Huomautus

Seuraava >>

50% valmiina (Sivu 1 / 2)



Kysely - Tehostesavu

TEHOSTESAVUILLE ALTISTUMINEN

Valitse oikea vaihtoehto. Altistumista tarkoitetaan työkäytössä satunnaisesti tai usein töissä, jossa käytetään tehostesavuja.

14. Kuinka usein olet tunnut tehostesavulle altistumisen yhteydessä seuraavia oireita? Valitse jokin vaihtoehto jokaisen oireen kohdalla.*

	1 Ei lainkaan	2 Vain satunnaisesti	3 Usein	4 Joka kerta
hengertämistä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
peittynyttä yskää tai jatkuvaa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nielua hengitystä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
häikäilyä silmissä tai kaulassa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
voimakasta nuhaa tai nenän vuotamista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
kurkkukipua tai kantaus oireita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rintatietoa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
tylimen ryöstävää	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ihastusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ihastuksen heikentämistä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hädettävyyden heikentämistä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
suun kutumista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
piikittelyä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pahoinvointia tai oireen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
epäselkeitä voimakasta väsymystä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
halvauksia, huimausta tai pörrömyksiä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
silmien kirkkautta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
silmien punoitusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ho-sinettiä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

15. Jos oireita esiintyy, kuinka voimakkaasti ne ovat? Valitse jokin vaihtoehto jokaisen oireen kohdalla.*

	1 Ei lainkaan	2 Vain vähän	3 Keskivahvoista voimakasta	4 Hyvin voimakasta
hengertämistä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
peittynyttä yskää tai jatkuvaa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
nielua hengitystä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
häikäilyä silmissä tai kaulassa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
voimakasta nuhaa tai nenän vuotamista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
kurkkukipua tai kantaus oireita	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
rintatietoa	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
tylimen ryöstävää	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ihastusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ihastuksen heikentämistä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
hädettävyyden heikentämistä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
suun kutumista	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
piikittelyä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
pahoinvointia tai oireen	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
epäselkeitä voimakasta väsymystä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
halvauksia, huimausta tai pörrömyksiä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
silmien kirkkautta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
silmien punoitusta	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
ho-sinettiä	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

16. Kuinka pitkään olet tehnyt työtä, jossa ainakin satunnaisesti altistut tehostesavulle? *

17. Oletko joutunut työssäsi aikana käymään lääkärissä tehostesavulle altistumiseen liittyvien oireiden vuoksi? *

- en koskaan
 harvoin kuin kerran vuodessa
 kerran vuodessa
 useammin kuin kerran vuodessa

18. Voit halutessasi kuvata omia samoin havaittajasi

Vastauksi

100% valmiina (kuva 2 / 3)

Liite 6

Taulukko 18. Mitattujen kemiallisten aineiden haitalliseksi tunnetut pitoisuudet ja heti ihmiselle vaaralliset pitoisuudet IDLH (Immediately Dangerous to Life or Health Concentrations, NIOSH).

Altiste	HTP _{15min} -arvo, mg/m ³	HTP _{8h} -arvo, mg/m ³	IDLH-arvo, mg/m ³
akroleiini	0,23 mg/m ³	-	4,6 mg/m ³
ammoniakki	50 ppm	20 ppm	300 ppm
asetaldehydi	46 mg/m ³	-	3700 mg/m ³
asetoni	1500 mg/m ³	1200 mg/m ³	5950 mg/m ³
bentsaldehydi	17,4 mg/m ³	4,4 mg/m ³	-
bentso[a]pyreeni	-	10 µg/m ³	-
bentseeni	-	3,25 mg/m ³	500 ppm
2-butanoni	-	300 mg/m ³	-
butyrialdehydi	-	74 mg/m ³	-
dikloorimetaani	880 000 µg/m ³	350 000 µg/m ³	-
1,2-etaanidioli	50 mg/m ³	100 mg/m ³	-
formaldehydi	1,2	0,37 mg/m ³	24 mg/m ³
hiilidioksidi	-	0,5 %	4 %
hiilimonoksidi	75 ppm	30 ppm	1200 ppm
hiilitetrakloridi	31000 µg/m ³	6300 µg/m ³	-
kloori	0,5 ppm	-	10 ppm
kloroformi	20000 µg/m ³	10000 µg/m ³	2500 µg/m ³
krotonaldehydi	0,87 µg/m ³	0,29 mg/m ³	-
liuotinbensiini ryhmä 1	-	500 mg/m ³	-
naftaleeni	10 µg/m ³	5 mg/m ³	1250 µg/m ³
orgaaninen pöly	10 mg/m ³	5 mg/m ³	-
propionaldehydi	-	48 mg/m ³	-
typpidioksidi	6 ppm	3 ppm	20 ppm
typpimonoksidi	-	25 ppm	100 ppm
valeraldehydi	-	110 mg/m ³	-
öljysumu	-	5 mg/m ³	2500 mg/m ³

8 LÄHTEET

Arashidani K, Yoshikawa M, Kawamoto T, Matsuno K, Kayama F, Kodama Y (1996). Indoor pollution from heating. *Ind Health* 34(3):205–215.

Arif AA, Whitehead LW, Delclos GL, Tortolero SR, Lee ES. (2002). Prevalence and risk factors of work related asthma by industry among United States workers: Data from the Third National Health And Nutrition Examination Survey (1988–94). *Occup Environ Med* 59:505–511.

Bjermer L, Alving K, Diamant Z, Magnussen H, Pavord I, Piacentini G, Price D, Roche N, Sastre J, Thomas M, Usmani O (2014). Current evidence and future research needs for FeNO measurement in respiratory diseases. *Respir Med*. 108(6):830-41.

Bortkiewicz A(1), Gadzicka E, Stroszejn-Mrowca G, Szyjkowska A, Szymczak W, Koszada-Włodarczyk W, Szadkowska-Stańczyk I (2014). Cardiovascular changes in workers exposed to fine particulate dust. *Int J Occup Med Environ Health*. 27(1):78-92.

Burr GA, van Gilder TJ, Trout DB, Wilcox TG, Driscoll R. (1994). NIOSH Health Hazard Evaluation Report HETA 90-355-2449. Cincinnati:U.S. Department of Health and Human Services, NIOSH. 1994.

Cohen Group. (1997). Recommended Exposure Guidelines for Glycol Fogging Agents. Project No. 6070-1001. San Mateo, CA: Cohen Group.

Collins JF, Brown JP, Alexeeff GV, Salmon AG,. (1998). Potency equivalency factors for some polycyclic aromatic hydrocarbons and polycyclic aromatic hydrocarbons derivatives. *Regularisation of Toxicology and Pharmacology* 28, 45–54.

Edelman P, Osterloh J, Pirkle J. (2003). Biomonitoring of chemical exposure among New York City firefighters responding to the World Trade Center fire and collapse. *Environmental Health Perspectives* 111, 1906–1911.

Entertainment Services and Technology Association (ESTA) (1998). *Introduction to Modern Atmospheric Effects*, 2nd Edition. New York: ESTA.

ENVIRON International Corporation (2006) Development of time and distance guidelines for use of theatrical smoke equipments: Rosco Delta Hazer. ENVIRON International Corporation Groton, Massachusetts. https://www.rosco.com/tech-notes/fog/Rosco_Delta_Hazer_TD_082406.pdf

Evans J, Jenkins R, Ilgner R, Knapp F, Zhang Q, Patwardhan A (2015). Acute cardiovascular autonomic responses to inhaled particulates. *Eur J Appl Physiol*. 115(2):257-68.

Fent KW, Eisenberg J, Evans D, Sammons D, Robertson S, Striley C, Snawder J, Mueller C, Kochenderfer V, Pleil J*, Stiegel M*, Horn G†. (2013) Health hazard evaluation report: evaluation of dermal exposure to polycyclic aromatic hydrocarbons in fire fighters. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH HETA Report No. 2010-0156-3196.

Fent KW, Musolin K, Methner M. (2013a). Health hazard evaluation report: evaluation of chemical exposures during fire fighter training exercises involving smoke simulant. Cincinnati, OH: U.S. Department of Health and Human Services, Centers for Disease Control and Prevention, National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH HETA Report No. 2012-0028-3190.

Fishwick D, Darby A, Hnizdo E, Barber C, Sumner J, Barraclough R, Bolton C, Burge S, Calverley P, Hopkinson N, Hoyle J, Lawson R, Niven R, Pickering T, Prowse K, Reid P, Warburton C, Blanc PD (2013). COPD causation and workplace exposures: an assessment of agreement among expert clinical raters. *COPD*. 2013 Apr; 10(2): 172-9.

Golga K, Weistenhofer W. (2008). Fire fighters, combustion products, and urothelial cancer. *Journal of Toxicology and Environmental Health. Part B, Critical Reviews* 11 (1),32–44.

Greenbaum J, Lezno VA, Schulz J, et. al. (1988). Comparative tolerability of two formulations of Rhinalar (flunisolide) nasal spray in patients with seasonal allergic rhinitis. *Ann Allergy* 61:305–10.

Heikkinen E. (2007) *Tehostemestarin käsikirja 1*. Työturvallisuuskeskus, Tampere.

Hemmila M. (2010) Doctoral thesis, Acute toxicity, Genotoxicity and irritation Potency of some Pyrotechnically Produced Military Smokes. Kuopion yliopisto, ympäristötieteiden laitos.

IARC (2010). Monographs on the evaluation of carcinogenic risks to humans, vol. 98, Painting, Firefighting, and Shiftwork. *Firefighting* 98, 397–451.

HSE Consulting and Sampling, Inc. (1997). Literature Review for Glycerol and Glycols for Entertainment Services and Technology Association. Omaha, NE: HSE.

Kainu A, Pallasaho P, Piirilä P, Lindqvist A, Sovijärvi A, Pietinalho A (2013). Increase in prevalence of physician-diagnosed asthma in Helsinki during the Finnish Asthma Programme: improved recognition of asthma in primary care? A cross-sectional cohort study. *Prim Care Respir J*. 2013 ;22(1):64-71.

Koivuranta J, Koski L-M, Laiho J, Partanen H, Kolehmainen T, Kivistö J, Piisku H, Puttonen A, Haapamäki K. (2011). Opas Pelastusviranomaisille. Pyroteknisten tehosteiden käytön valvonta. Helsingin kaupungin pelastuslaitos 2011. http://www.phpela.fi/easydata/customers/phpela/files/ohjeet/ohjeet_20130527092927_pyro-opas.pdf

Kosman J. (2001). Opera halts use of controversial fog 7 chorus members cited health risks. San Francisco Chronical Sect. D2. June 9, 2001.

Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. (2010). Fire fighting trainers' exposure to carcinogenic agents in smoke diving simulators. Toxicology Letters 192, 61–65.

Laitinen J, Mäkelä M, Mikkola J, Huttu I. (2012). Firefighters' multiple exposure assessments in practice. Toxicology Letters 213, 129–133

Lindholm H, Vilksa J, Vainio U, Parkkinen J, Koskenvuo K. (1988) Grey smoke poisoning in 11 conscripts. Ann Med Milit Fenn 63:230-235.

Linnainmaa K, Kujanpää L, Hemmilä M, Hihkiö M, Pasanen A-L, Kasanen J-P, Turunen M, Naarala J, Kosma V-M. (2003) Loppu-/tutkimusraportti MATINEn hankkeista 39/Mdd547/99, 18/Mdd547/100, 16/Mdd547/01 ja 11/Mdd547/02, Helsinki 2003.

Ljungman PL, Wilker EH, Rice MB, Schwartz J, Gold DR, Koutrakis P, Vita JA, Mitchell GF, Vasan RS, Benjamin EJ, Mittleman MA, Hamburg NM (2014). Short-term exposure to air pollution and digital vascular function. Am J Epidemiol. 180(5):482-9.

Maniscalco M(1), Lundberg JO. Hand-held nitric oxide sensor NIOX MINO® for the monitoring of respiratory disorders (2010). Expert Rev Respir Med. 4(6):715-21.

Meltzer EO, Orgel HA, Bush RK, et al. (1990). Evaluation of symptom relief, nasal airflow, nasal cytology, and acceptability of two formulations of flunisolide nasal spray in patients with perennial allergic rhinitis. *Ann Allergy*. 64:536–40.

Ministry of Labour Ontario (2012) (updated). Fog and Smoke Safety Guideline for the Live Performance Industry in Ontario. http://www.labour.gov.on.ca/english/hs/pubs/liveperformance/gl_live_fog.php

Moline JM, Golden AL, Highland JH, Wilmarth KR, Kao AS. (2000) Health Effects Evaluation of Theatrical Smoke, Haze and Pyrotechnics. Prepared for Actor's Equity Pension and Health Trust Funds. June 6, 2000.

Møller P, Mikkelsen L, Vesterdal LK, Folkmann JK, Forchhammer L, Roursgaard M, Danielsen PH, Loft S. (2011) Hazard identification of particulate matter on vasomotor dysfunction and progression of atherosclerosis. *Crit Rev Toxicol*. 41(4):339-68.

NIOSH (1995) Chemical Listing and Documentation of Revised IDLH Values (as of 3/1/95). <http://www.cdc.gov/niosh/idlh/intridl4.html>

O'Brien K, Selanikio J, Hecdivert C, Placide F, Louis M, Barr B, Barr J, Hospedales C, Lewis M, Schwartz B, Philen R, St. Victor S, Espindola J, Needham L, Denerville K. (1998). Epidemic of pediatric deaths from acute renal failure caused by diethylene glycol poisoning. *JAMA*. 279:1175-80

Olsen Y, Karottki D, Jensen D, Bekö G, Uldahl Kjeldsen B, Clausen G, Hersoug L, Holst G, Wierzbicka A, Sigsgaard T, Linneberg A, Møller P, Loft S. (2014) Vascular and lung function related to ultrafine and fine particles exposure assessed by personal and indoor monitoring: a cross-sectional study. *Environ Health*. 2014; 13: 112. Published online 2014 December 15. doi: 10.1186/1476-069X-13-112 PMCID: PMC4290094

Palmer WG. (1990). Exposure standard for fog oil. AD-A255 479/8INZ. 11-15-1990. Fort Detrick, MD, Army Biomedical Research and Development Lab

Pott P, Cancer scroti. (1775). The Chirurgical Works of Percival Pott, London: Hawes, Clarke and Collins 734-736

Russell S. (2001). Voices fading in the fog: Performers say chemicals in synthetic mists on stage are health risk. San Francisco Chronicle Sect. A1. 1-2-2001.

Rossol M, Hinkamp D. (2001) Hazards in the theater. Occup Med. 16(4):595-608.

Schermer T, Malbon W, Newbury W, Holton C, Smith M, Morgan M, Crockett A. (2010) Spirometry and impulse oscillometry (IOS) for detection of respiratory abnormalities in metropolitan firefighters. Respirology 15: 975-85.

Schwarz-Miller J, Rom WN, Brandt-Rauf PW. (1992). Polycyclic aromatic hydrocarbons. In Rom WN, editor. Environmental and Occupational Medicine. Little Brown and Company

Skaare A, Kjaerheim V, Barkvoll P, et. al. (1997) Skin reactions and irritation of four commercial toothpastes. Acta Odontol Scand 55:133–6.

Sovijärvi A, Kainu A, Malmberg P, Pekkanen L, Piirilä P. (2011) Spirometria- ja PEF- mittauksen suoritus ja tulkinta. MOODI 3/2011, Labquality Oy.

Squatriglia C. (2001). Singer sues opera over fake fog machine triggered asthma diva claims. San Francisco Chronicle Sect. A26. 5-12-2001.

Sosiaali- ja terveysministeriö (2014). HTP-arvot 2014. Haitalliseksi tunnetut pitoisuudet. Julkaisuja 2014:2. Sosiaali- ja terveysministeriö, Helsinki.

Svensden K, Bjorn, H. (1997). Exposure to mineral oil mist and respiratory symptoms in marine engineers. *American Journal of Industrial Medicine* 32:84-89

Swiston JR, Davidson W, Attridge S, Li GT, Brauer M, van Eeden SF. (2008). Wood smoke exposure induces a pulmonary and systemic inflammatory response in firefighters. *European Respiratory Journal* 32 (1),129–138.

Teschke K, Chow Y, Brauer M, van Netten C, Varughese S, Kennedy S. (2003). "Atmospheric effects in the entertainment industry: Constituents, exposures, and health effects," University of British Columbia, School of Occupational and Environmental Hygiene, Vancouver, Research Report, Mar. 2003, available at http://www.worksafebc.com/about_us/history/historical_reports/finding_solutions/assets/pdf/99FS-18.pdf

Teschke K, Chow Y, van Netten C, Varughese S, Kennedy SM, Brauer M. (2005) Exposures to atmospheric effects in the entertainment industry. (2005) *J Occup Environ Hyg.* 2: 277-284.

Tuomi, T., Lappalainen, L., Laaja, T., Hovi, H., Svinhuvud, J. (2012). Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden tavoitetasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Perustelumuiotio. Työterveyslaitos, Helsinki

Turunen M. Pyroteknisten suojasavujen hengitystieärsyttävyyt. (2003) Pro Gradu -työ. Kuopion yliopiston Ympäristötieteiden laitosten monistesarja 12/2003.

Ward EM, Schulte PA, Straif K, Hopf NB, Caldwell JC, Carreon T, et al. (2010). Research recommendations for selected IARC-classified agents. *Environmental Health Perspectives* 118 (10), 1355–1362.

Varughese S, Teschke K, Brauer M, Chow Y, van Netten C, Kennedy SM. (2005) Effects of theatrical smokes and fogs on respiratory health in the entertainment industry. *Am J Ind Med.* 47: 411-8.

Wieslander G, Norbäck D, Lindgren T. (2001) Experimental exposure to propylene glycol mist in aviation emergency training: acute ocular and respiratory effects. *Occup Environ Med.* 58: 649-55.

Willman D. (2003). Broadway's 'Beauty' leaves some performers feeling beastly. *CNN Showbiz News* .1-1-1998. 1-9-2003.