

18.6.2013

Tilaaaja: OzoClean Oy y-tunnus: 10920716
Käsittelijä: Marko Hyttinen
040-355 3220

**Otsonin ja haihtuvien orgaanisten yhdisteiden mittaukset
Mikonpuiston päiväkot, Kauppakatu 26 Äänekoski**

Mittausaika: 4.6 ja 17.6 2013

Paikka: Mikonpuiston päiväkot
Kauppakatu 26
Äänekoski

Henkilöt: Marko Hyttinen

Marko Hyttinen

18.6.2013

1 Johdanto

Otsoni (O_3) on lämpötilasta riippuen väritön tai sinertävä kaasu tai neste. Se on voimakas hapetin ja sillä on ominainen, pistävä haju ja sen hajukynnykseksi on ilmoitettu 100g/m^3 (50 ppb) (Devos ym. 1990). Otsonin 8 tunnin haitalliseksi tunnetuksi pitoisuudeksi (HTP) on asetettu $100\mu\text{g/m}^3$ (50 ppb) ja 15 minuutin HTP-arvoksi $400\mu\text{g/m}^3$ (200 ppb).

VOC tulee englanninkielisestä sanasta Volatile Organic Compound joka tarkoittaa haihtuvaa orgaanista yhdistettä. VOC yhdisteet ovat huoneenlämmössä useimmiten nesteitä, mutta nämä nesteet haihtuvat höyrynpaineidensa mukaisesti ilmaan höyryiksi. VOC yhdisteiden kiehumispisteet vaihtelevat 50-250°C asteen välissä.

VOC yhdisteillä on lukuisia lähteitä. Niiden lähteitä ovat sisäilmassa mm. rakennus- ja sisustusmateriaalit, pesu- ja puhdistuskemikaalit, kosmeettiset tuotteet, ruuanlaitto, tupakointi jne. Esimerkkinä mainiten poikkeuksetta kaikki orgaaniset liuottimet (esim. asetoni, alkoholit, alifaattiset ja aromaattiset hiilivedyt) ovat VOC-yhdisteitä.

Normaalissa sisäilmassa voi esiintyä useita satoja VOC-yhdisteitä, joiden yhteispitoisuus (TVOC, total volatile organic compounds) on yleensä verrattain pieni, tavallisesti $10\text{--}600\mu\text{g/m}^3$. Yksittäisen yhdisteen pitoisuus on tavallisesti alle $15\mu\text{g/m}^3$. Työpaikkailmassa, jossa käytetään liuottimia, VOC-pitoisuustasot ovat useita kertaluokkia suurempia.

VOC-päästöihin ja pitoisuuksiin ilmassa vaikuttavat mm. käytetyn liuottimen määrä (pitoisuus), sen fysikaaliset ja kemialliset ominaisuudet (yhdisteen höyrynpaine (haihtuvuus), poolisuus) sekä olosuhteet (lämpötila ja ilman suhteellinen kosteus). VOC-yhdisteen haihtuminen ilmaan lisääntyy lämpötilan kasvaessa.

VOC-yhdisteiden laajasta kirjosta johtuen niistä löytyy hyvin haitallisia yhdisteitä, joilla voi olla merkittäviä terveys ja ympäristövaikutuksia. Ihmisten altistuminen VOC-yhdisteille tapahtuu pääsääntöisesti hengityksen kautta, mutta myös ihoaltistus voi olla hyvin merkittävä altistumisreitti, varsinkin käsiteltäessä liuottimia ilman asianmukaista suojavarustusta.

18.6.2013

2 Mittauskohde ja selvityksen sisältö

Työssä mitattiin otsonia, formaldehydiä sekä VOC yhdisteitä Mikonpuiston päiväkodista Äänekoskelta ennen puhdistusta sekä puhdistettaessa huonetta 143 otsonoidulla vedellä. Lisäksi otsonia mitattiin siivouskeskuksesta ennen otsoniveden tuottamista sekä otsoniveden tuottamisen/puhdistamisen aikana (huone 171). Huoneista mitattiin myös tulo- ja poistoilmamäärät sekä lämpötila, suhteellinen kosteus ja hiilidioksidipitoisuus.

3 Mittausmenetelmät

Otsonipitoisuudet mitattiin Thermo Scientific Model 49i otsonianalysaattorilla joka oli yhdistetty tiedontallentimeen (National Instruments Ni cDAQ-9174 data logger). Laitteisto vähensi automaattisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden aiheuttaman vasteen mittaamalla välillä valon intensiteettiä ilman otsonin vaikutusta. Lopussa liitteenä on esitetty kuvia tilojen otsonimittauksesta.

Formaldehysinäytteet kerättiin 2,4-dinitrofenyylihydratsiini (DNPH)-keräimeen. Kerätty näyte uutettiin asetonitriliin ja analysoitiin nestekromatografilla.

Ilmanäytteet kerättiin Tenax GR adsorbenttiin, joka soveltuu haihtuvien orgaanisten yhdisteiden keräämiseen (soveltuvuus heksaani - heksadekaani). Analyysit tehtiin kaasukromatografilaitteistolla, johon oli yhdistetty massaselektiivinen detektori (TCT-GC-MS). Yhdisteet tunnistettiin ja niiden pitoisuustasot laskettiin ns. tolueeniekvivalenttina jota käytetään yleisesti haihtuvien orgaanisten yhdisteiden sisäilmamittauksissa (ISO 16000-6).

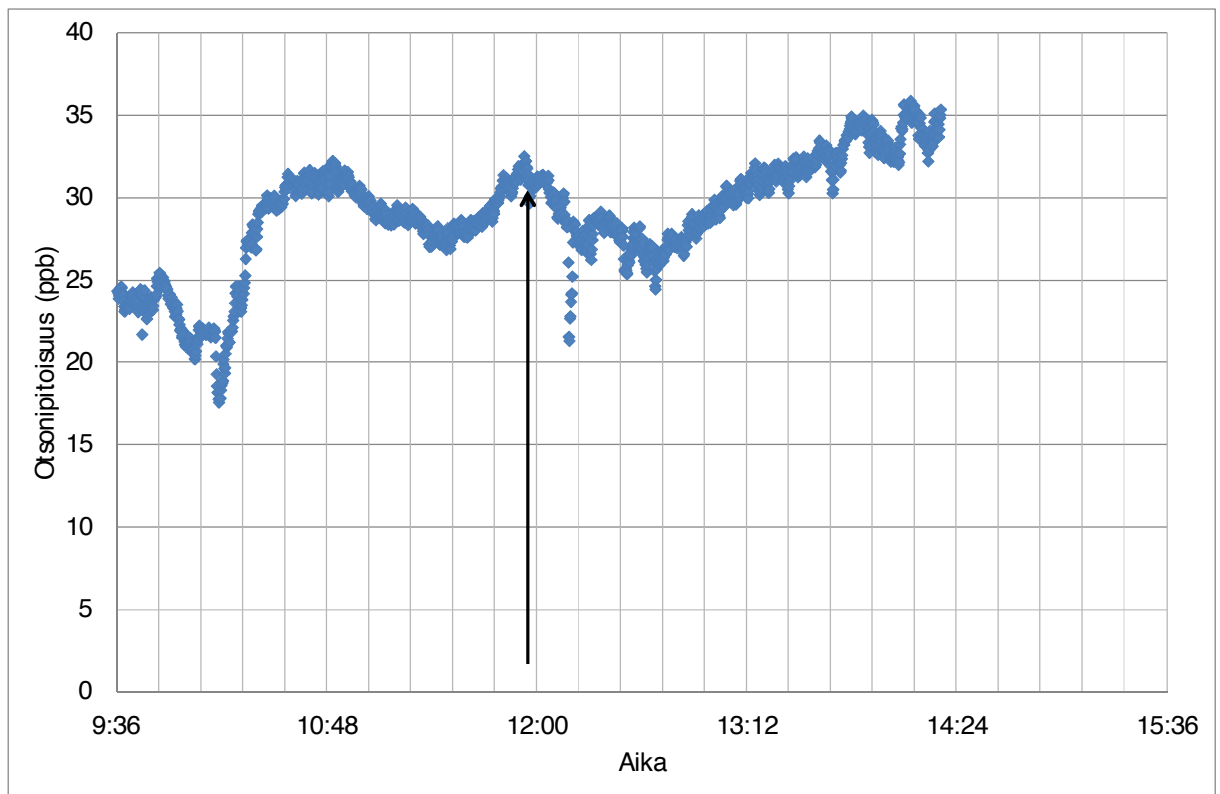
Ilmamäärät mitattiin Swema 3000 yleismittarilla joka oli yhdistetty Swema 125 Flow balometriin.

4 Tulokset

4.1 OTSONI

Kuvassa 1 on esitetty otsonipitoisuudet päiväkotihuoneessa ennen puhdistusta sekä sen aikana. Musta nuoliviiva esittää ajanhetken jolloin siivous alkoi. Tuloksista nähdään että huoneen otsonipitoisuus noudatti ulkoilman otsonipitoisuutta. O₃-pitoisuus vaihteli välillä 25-35ppb:tä.

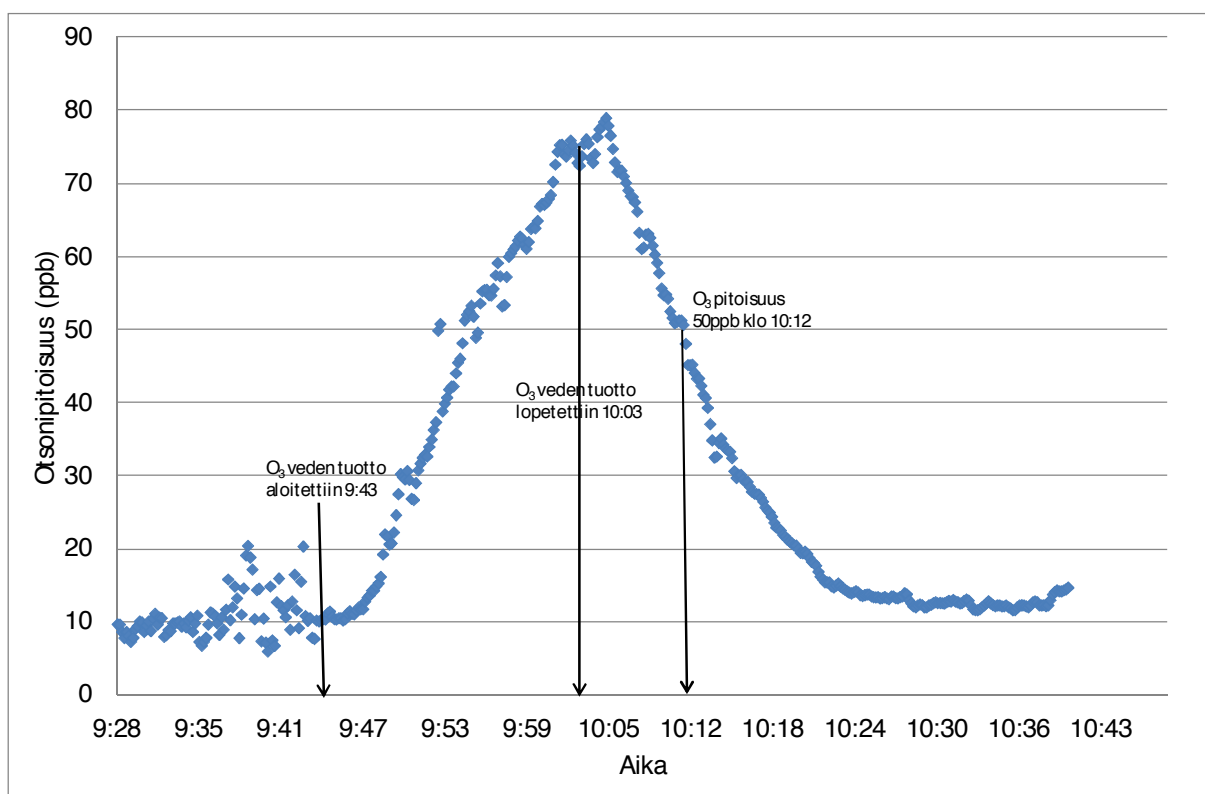
18.6.2013



Kuva 1. Otsonipitoisuuden vaihtelu päiväkotihuoneessa 143 ennen siivousta ja siivouksen aikana. Siivous aloitettiin n. klo 12 (musta nuoli)

Kuvassa 2 on esitetty otsonipitoisuudet päiväkodin siivouskeskuksessa ennen otsoniveden tuottamista sekä sen aikana. Tuotettu otsonivesi ohjattiin lattiakaivoon. Otsoniveden tuotto kesti 20 minuuttia. Musta nuoliviiva esittää ajanhetken jolloin otsoniveden tuotto alkoi ja milloin se päättyi. Lisäksi kuvassa on esitetty nuolella ajanhetki jolloin otsonipitoisuus laski alle 50ppb:n. O₃ taustapitoisuus vaihteli välillä 8-20ppb:tä. O₃-veden tuoton aikana O₃ pitoisuus saavutti 50 ppb:tä n. kymmenessä minuutissa ja maksimipitoisuus oli otsoniveden tuoton päätty-mishetkellä n. 76-80 ppb:tä.

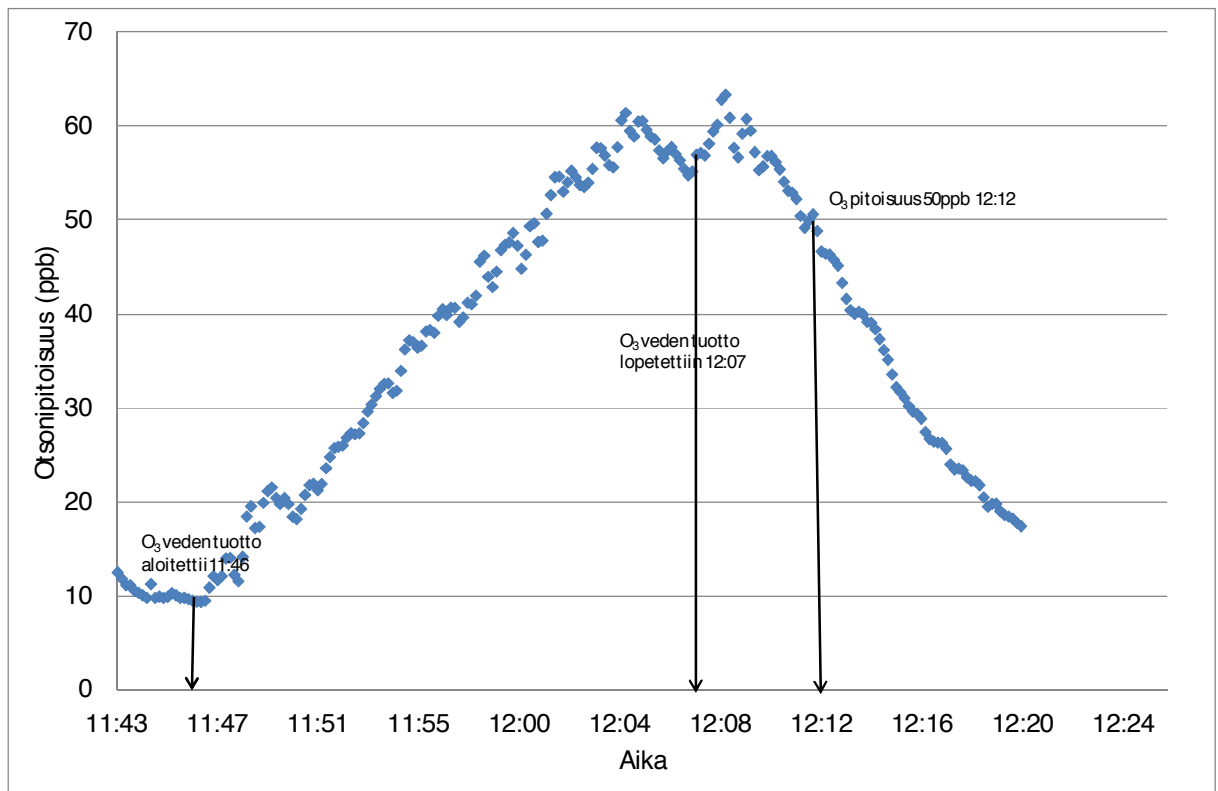
18.6.2013



Kuva 2. Otsonipitoisuuden vaihtelu päiväkodin siivouskeskussa h171 ennen O₃-veden tuottoa ja O₃-tuoton aikana

Mittaus toistettiin laskemalla tuotettu otsonivesi sankoihin ja pesemällä ko. vedellä puhdistusvälineitä. Kuvassa 3 on esitetty otsonipitoisuuden vaihtelu tuolloin (ennen tuottoa ja tuoton/puhdistuksen aikana). Otsonipitoisuus nousi n. 50ppb:hen n. 14 minuutissa. Maksimi otsonipitoisuus oli n. 60 ppb:tä. Otsonipitoisuus laski n. 50 ppb:hen 5 minuutissa.

18.6.2013



Kuva 3. Otsonipitoisuuden vaihtelu siivouskeskuksessa. Otsoniveden tuoton aikana maksimi otsonipitoisuus oli n. 65 ppb:tä.

Taulukossa 1 on esitetty huoneessa 143 mitatut formaldehydi sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ennen puhdistamista aamupäivällä (mittaukset M1 ja M2) sekä puhdistamisen aikana iltpäivällä (mittaukset M3 ja M4). Otsonoidulla vedellä tapahtuvalla pesulla ei havaittu olevan vaikutusta formaldehydipitoisuuksiin. Formaldehydipitoisuus vaihteli välillä 3,0-3,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudessa tapahtui selvä muutos pesun aikana: alkoholien pitoisuus nousi pesun yhteydessä. Pääkomponentteina olivat tuolloin etanoli, isopropanoli ja 2-metyyli-2-propanoli. Myös aldehydien pitoisuuksissa havaittiin pientä nousua pesun yhteydessä. Muiden yhdisteiden osalta pitoisuudet pysyivät sekä aamupäivän että iltpäivän mittauksissa samankaltaisina.

18.6.2013

Taulukko 1. Pääkomponenttien sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Yhdiste	M1	M2	M3	M4
Formaldehydi	3,0	3,5	3,2	3,9
TVOC (alue C6-C16)	41	47	60	44
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus	49	51	151	82
ALKOHOLIT/GLYKOLIT				
Isopropanoli*	-	-	56	23
Etanoli*	-	-	27	7,3
2-metyyli-2-propanoli*	-	-	4,6	5,4
2-etyyli-1-heksanoli*	2,3	2,5	1,6	1,4
HAPOT				
Etikkahappo*	2,1	-	2,0	-
TERPEENIT				
Alfa-pineeni	4,5	5,6	4,1	4,9
Delta-kareeni	1,9	2,0	1,6	1,5
Limoneeni	1,1	1,2	1,4	1,5
ALDEHYDIT				
Heksanaali	2,4	2,7	3,2	3,0
Oktanaali	2,3	2,4	3,5	2,1
Nonanaali	5,4	5,2	11,5	6,7
Dekanaali	4,4	3,2	12,3	3,9
AROMAATTISET HIILIVEDYT				
Bentseeni	1,1	1,1	2,1	1,0
Tolueeni	1,8	2,8	1,5	1,6
ALIFAATTISET HIILIVEDYT				
Heksaani	1,3	3,3	-	-
PIIYHDISTEET				
Dekametyyliisoklopentasiloksaani	1,2	2,4	1,3	1,3

*yhdisteet TVOC alueen ulkopuolella

Taulukossa 2 on esitetty siivouskeskuksessa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet ennen otsoniveden tuottoa ja sen aikana. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuus vaihteli välillä $41\text{--}74\mu\text{g}/\text{m}^3$. Yhdisteiden pitoisuudet olivat normaalilla tasolla eikä selkeää eroa havaittu ennen otsoniveden tuottamista ja sen aikana.

18.6.2013

Taulukko 2. Pääkomponenttien sekä haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuudet ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	ei O ₃ veden tuottoa		O ₃ veden tuotto käynnissä	
	M1	M2	M3	M4
TVOC (alue C6-C16)	40,5	61,9	60,8	73,8
Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuus	46,9	61,8	77,7	82,6
ALKOHOLIT/GLYKOLIT				
Isopropanoli*	-	-	-	
Etanoli*	-	-	-	
2-metyyli-1-propanoli*	0,2	-	-	0,3
2-etyyli-1-heksanoli*	1,5	2,7	2,6	2,9
HAPOT				
Etikkahappo*	1,4	6,4	10,8	4,2
TERPEENIT				
Alfa-pineeni	2,6	2,1	2,5	2,9
Delta-kareeni	1,0	1,0	1,0	1,1
Limoneeni	1,4	1,3	0,5	0,7
ALDEHYDIT				
Heksanaali	1,7	1,7	2,1	2,9
Nonanaali	2,6	4,2	4,8	5,8
Dekanaali	2,4	4,2	4,2	4,9
AROMAATTISET HIILIVEDYT				
Bentseeni	0,6	1,5	1,7	1,3
Tolueeni	1,5	1,6	2,1	2,5
Styreeni	1,3	1,5	1,2	
Naftaleeni	1,1	1,3	2,2	2,7
ALIFAATTISET HIILIVEDYT				
Heksaani	1,0	1,6	4,1	4,7
PIIYHDISTEET				
Dekametyylisyklopentasiloksaani	1,7	1,7	3,0	4,2

*yhdisteet TVOC alueen ulkopuolella

Taulukossa 3 on esitetty taustamittausten tulokset huoneesta H143 ennen pesua ja pesun aikana.

Taulukko 3. Taustamittaukset (H143) A=41m²

	ennen pesua		pesun aikana	
	ka.	minimi-maksimi	ka.	minimi-maksimi
Lämpötila (°C)	22,9	22,5-22,3	24,1	23,5-24,4
Ilman suhteellinen kosteus (%)	58,8	56,9-61,6	57,2	53,7-61
Hiilidioksidi (ppm)	440	399-511	507	452-611
Ilmavirrat				
Tuloilmavirta (l/s)	T1=75	T2=73	T3=75	yht. 223
Poistoilmavirta (l/s)	P1=141,1	P2=119,5	-	yht. 260,6
viereinen pikkuhuone (ovi auki) 8,75m ²				
Tuloilmavirta (l/s)	T1=30			yht. 30
Poistoilmavirta (l/s)	P1=23,6	P2=21,1		yht. 44,7

18.6.2013

Taulukossa 4 on esitetty taustamittausten tulokset siivouskeskuksesta (huone 171)

Taulukko 4. Siivouskeskuksen taustamittaukset

	ka.	minimi-maksimi
Lämpötila (°C)	23	22,2-23,9
Ilman suhteellinen kosteus (%)	43,7	41,2-47,1
Hiilidioksidi (ppm)	588	475-814
Poistoilmamäärä	23,3 l/s	ei tuloa

5 Tulosten tarkastelu

Otsonipitoisuus pysyi pesun aikana huoneessa 143 alhaisena seuraten ulkoilman otsonipitoisuutta. Huoneen tuloilmavirtamäärät olivat suuria (yht. n. 220 l/s).

Otsonipitoisuus nousi siivouskeskuksessa otsoniveden tuoton aikana n. kymmenessä minuutissa yli 50 ppb:n. Otsonia haihtuu luultavasti ilman otsonoidusta vedestä ja sen pitoisuus kasvaa vähitellen. Otsonipitoisuus laski tilassa ilmanvaihdon poistoilmaventtiilin kautta. Yhdisteen pieneneminen oli samaa suuruusluokkaa kuin sen pitoisuuden kasvu otsoniveden tuoton aikana. Tilassa missä tuotetaan otsonoitua vettä tulisi olla riittävä ilmanvaihto.

Alkoholiyhdisteiden pitoisuudet nousivat huoneessa 143 käytetäessä otsonoitua vettä. Selkeää syytä tähän ei esim. puhdistuslaitteista löytynyt. Muiden orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet pysyivät samalla tasolla ennen siivousta ja siivouksen aikana.

Siivouskeskuksessa tehdyissä mittauksissa haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuudet olivat normaalilla tasolla koko mittauksen ajan. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksissa ei havaittu merkittäviä eroja ennen otsoniveden tuottoa ja/tai sen aikana.

Huomioitavaa on että tolueenivasteella laskettaessa erityisesti alkoholien pitoisuudet ovat todellisia pitoisuuksia pienempiä. Todelliset alkoholipitoisuudet voivat olla 1,5-2,3 kertaa suurempia kuin tolueenivasteella laskettaessa.

Tulokset edustavat mittausajankohdan tilannetta. Liitteenä on kuvia mittauksesta.

18.6.2013

Lähteet

Devos, M., Patte, F., Rouault, J., Laffort, P., Van Gemert, L.J., 1990, Standardized human olfactory thresholds, New York, Oxford university press, 1-165

ISO 16000-6, 2004, Indoor air - Part 6: Determination of volatile organic compounds in indoor and test chamber air by active sampling on Tenax TA sorbent, thermal desorption and gas chromatography using MS/FID, 1-25.

Saarela, K., ym., TVOC-haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaisemissio ja sen eri laskentatavat, Sisäilmastoseminaari 2005, Sisäilmayhdistys raportti 23.

Villberg, K., ym., Sisäilman laadun hallinta, VTT publications 540, Espoo 2004.



Kuva 1. Otsoni- ja VOC-mittaus (4.6) päiväkotihuoneesta H143

18.6.2013



Kuva 2. Otsonimittaus (17.6.2013) siivouskeskuksesta H171