



Osaamista
ja oivallusta
tulevaisuuden
tekemiseen

Liisa Kerkelä

Fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän vaikutus hedelmi- en ja vihannesten säilyvyyteen

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Insinööri (AMK)

Bio- ja kemiantekniikka

Insinöörityö

10.10.2019

Tekijä Otsikko	Liisa Kerkelä Fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän vaikutus hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen
Sivumäärä Aika	58 sivua 10.10.2019
Tutkinto	Insinööri (AMK)
Tutkinto-ohjelma	Bio- ja kemiantekniikka
Ammatillinen pääaine	Bio- ja elintarviketekniikka
Ohjaajat	Lehtori Hannu Turunen Kehitysjohdaja Sanna Hokkanen
<p>Insinöörityössä tutkittiin fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen vaikuttaviin tekijöihin. Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistusjärjestelmä soveltuu parantamaan hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä erilaisissa tiloissa. Työn tilaajana toimi Energiakonsultit INSTO Oy ja se toteutettiin yhteistyössä Heimon Tukku Oy:n kanssa.</p> <p>Työ toteutettiin kahdessa osassa, josta ensimmäinen osa toteutettiin Heimon Tukku Oy:n hedelmä- ja vihannesosastolla ja toinen tutkimusta varten hankituissa mittauskammioissa. Mittaukset toistettiin samanlaisina ennen ilmanpuhdistimien asentamista ja sen jälkeen. Työssä mitattiin ilman mikrobipitoisuutta, suhteellista kosteutta, lämpötilaa sekä eteenipitoisuutta. Lisäksi hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä vertailtiin erilaisissa olosuhteissa.</p> <p>Insinöörityön tulosten perusteella fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä ilmanpuhdistin alentaa eteenipitoisuutta suljetussa tilassa, jossa säilytetään hedelmiä ja vihanneksia. Myös bakteeripitoisuudet laskivat hedelmä- ja vihannesosaston ilmassa ilmanpuhdistuksen käyttöönoton jälkeen. Homepitoisuuksien ei havaittu laskevan ilmassa merkittävästi tulosten perusteella. Säilyvyytsteissä taas hedelmät ja vihannekset eivät homehtuneet yhtä nopeasti, kun käytössä oli fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä ilmanpuhdistin.</p> <p>Työn tuloksia voivat hyödyntää esimerkiksi elintarvikealan yritykset, jotka etsivät ratkaisuja pidentää hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä. Jatkossa fotokatalyyttisen oksidaation tehoa voitaisiin tutkia tiloissa, joissa on haasteelliset säilytysolosuhteet tai havaittu hedelmien ja vihannesten ennenaikaista pilaantumista. Tarkempia tuloksia voitaisiin saada, jos mittauksia suoritettaisiin laboratorio-olosuhteissa ja tarkemmilla mittausvälineillä.</p>	
Avainsanat	eteeni, etyleeni, fotokatalyyttinen oksidaatio, ilmanpuhdistus, hedelmä, vihannes

Author Title	Liisa Kerkelä Effect of a Photocatalytic Oxidation Air Purification System on Fruit and Vegetable Shelf Life
Number of Pages Date	58 pages 10 October 2019
Degree	Bachelor of Engineering
Degree Programme	Biotechnology and Chemical Engineering
Professional Major	Biotechnology and Food Engineering
Instructors	Hannu Turunen, lecturer Sanna Hokkanen, development director
<p>In this thesis it was researched how a photocatalytic oxidation based an air purification system factors into the shelf life of fruit and vegetables. The main goal of the thesis was to examine how well a photocatalytic oxidation based air purification system would improve the shelf life of fruits and vegetables under different conditions. The thesis project was commissioned by Energiakonsultit INSTO Oy and it was conducted in co-operation with Heinon Tukku Oy.</p> <p>The thesis project was carried out in two parts: first at the premises of Heinon Tukku Oy, and then in a measuring chamber ordered for the project. The measurements were taken in similar fashion before and after the installation of the air purifiers. The concentration of microorganisms, relative humidity, temperature and ethylene content were measured in the thesis, in addition the shelf life of fruits and vegetables was compared under different conditions.</p> <p>The results indicate that an air purifier which utilises photocatalytic oxidation reduces the proportion of ethylene in a closed space storing fruits and vegetables. The concentration of bacteria decreased in the air of fruit and vegetable department following the insertion of an air purifier. The concentration of any mould in the air was not significantly reduced. However, additional shelf life storage tests indicate that the growth rate of mould reduced after the installation of an air purifier.</p> <p>The results from the thesis can be utilized, for example by companies in the food industry who are looking for solutions in improving the shelf life of fruits and vegetables. Further studies are required to determine the efficacy of photocatalytic oxidation in facilities with challenging storage conditions or facilities suffering from premature spoilage. More accurate results could be obtained if measurements were made under laboratory conditions and with more accurate measuring instruments.</p>	
Keywords	ethene, ethylene, photocatalytic oxidation, air purification, fruit, vegetable

Sisällys

Lyhenteet

1	Johdanto	1
2	Hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen vaikuttavat tekijät	2
2.1	Varastointiaika ja ilman suhteellinen kosteus	2
2.2	Eteeni	3
2.3	Lämpötila	5
2.4	Mikrobit ilmassa	6
2.5	Kasvitaudit	7
2.6	Bakteerit ja bakteerien aiheuttamat kasvitaudit	7
2.7	Ruokamyrkytysbakteereja hedelmissä ja vihanneksissa	8
2.7.1	<i>Bacillus cereus</i>	8
2.7.2	<i>Yersinia pseudotuberculosis</i>	9
2.7.3	<i>Listeria</i>	9
2.8	Sienet ja sienten aiheuttamat kasvitaudit	9
2.8.1	Harmaahome	10
2.8.2	Pahkahome	10
2.9	Muita ilmassa ja kasveissa esiintyviä homeita	11
2.9.1	<i>Alternaria</i> -suvun homeet	12
2.9.2	<i>Aspergillus</i> -suvun homeet	12
2.9.3	<i>Cladosporium</i> -suvun homeet	12
2.9.4	<i>Penicillium</i> -suvun homeet	13
3	Hedelmien ja vihannesten säilytysolosuhteiden hallinta	13
3.1	Eteeni- ja mikrobipitoisuuksien hallinta	13
3.2	Fotokatalyyttinen oksidaatio säilytysolosuhteiden hallintamenetelmänä	14
4	Mittausmenetelmät ja mittauslaitteet	17
4.1	Eteenin määrittäminen ilmasta	17
4.2	Mikrobien määrittäminen ilmasta	20
5	Kokeellinen osa	21
5.1	Mittaukset tukussa	21
5.1.1	Tutkimusolosuhteet	21
5.1.2	Mittauspisteiden valinta	22

5.1.3	Mittausten toteutus	25
5.1.4	Ilmanpuhdistuslaitteet	26
5.2	Kammiomittaukset ja säilyvyytestit	28
6	Tulokset ja tulosten tarkastelu	30
6.1	Suhteellinen kosteus ja lämpötila tukussa	30
6.2	Eteenipitoisuudet tukussa	32
6.3	Bakteeripitoisuudet tukussa	39
6.4	Sienipitoisuudet tukussa	42
6.5	Suhteellinen kosteus ja lämpötila kammiossa	46
6.6	Eteenipitoisuudet hedelmäkammiossa	47
6.7	Säilyvyytestin tulokset	49
7	Yhteenveto	51
	Lähteet	53

Lyhenteet

HEPA	High Efficiency Particulate Air filter, hiukkassuodatin
Hevi	Hedelmä ja vihannes
PCO	Photocatalytic Oxidation, fotokatalyyttinen oksidaatio
PCR	Polymerase chain reaction, polymeraasiketjureaktio
PID	Photoionization detector, fotoionisaatiidetektori
PP	Polypropeeni
ppb	parts per billion, miljardisosa
ppm	parts per million, miljoonasosa
RH	Relative humidity, suhteellinen kosteus
THG	Tryptoni-hiivauute-glukoosiagar
TVOC	Total volatile organic compounds, kaikki haihtuvat orgaaniset yhdisteet
UV	Ultravioletti
VOC	Volatile organic compound, haihtuva orgaaninen yhdiste

1 Johdanto

Tuoreiden hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen vaikuttavat merkittävästi varastointiolosuhteet, kuten lämpötila, suhteellinen kosteus ja säilytystilan ilman mikrobit. Hedelmiä ja vihanneksia voi pilata varastointiolosuhteissa myös eteeni. Eteeni on kasvihormoni, jota hedelmät ja vihannekset tuottavat etenkin kypsyessään. Useat hedelmät ja vihannekset kärsivät suurista eteenipitoisuuksista ilmassa, sen aiheuttaessa niiden vanhenemista. Hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä voidaan parantaa optimaalisilla säilytysolosuhteilla, tehokkaalla ilmanvaihdolla sekä pyrkimällä pitämään ilma säilytystilassa mahdollisimman puhtaana. Fotokatalyyttinen oksidaatio on yksi ilmanpuhdistuslaitteissa käytetyistä tekniikoista. Tekniikka perustuu kemialliseen reaktioon, jossa happiradikaalit hajottavat ilman kaasumaisia epäpuhtauksia. Tekniikan on todettu vähentävän ilmasta tehokkaasti myös mikrobeja. [Keller ym. 2013: 5051, 5059.]

Tässä insinööriyössä tutkittiin fotokatalyyttisen oksidaation perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen ja säilyvyyteen vaikuttaviin tekijöihin. Työn tavoitteena oli selvittää, kuinka hyvin fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistusjärjestelmä soveltuu parantamaan hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä erilaisissa tiloissa. Tavoitteena oli myös selvittää, kuinka tehokkaasti fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistin vähentää hedelmien ja vihannesten tuottamaa eteenipitoisuutta suljetussa tilassa. Lisäksi hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä vertailtiin säilyvyystesteissä erillisissä säilytyskammiossa, jossa toisessa oli käytössä fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistin ja toisessa ei. Työn tilaajana toimi Energiakonsultit Insto Oy. Energiakonsultit Insto Oy on vuonna 2012 perustettu yritys, joka toimii sisäilman ja energiatehokkuuden alalla. Se tarjoaa ilmanpuhdistusratkaisuja, joiden avulla sisäilmasta voidaan poistaa haihtuvia epäorgaanisia ja orgaanisia yhdisteitä, mikrobeja ja pienhiukkasia. [Energiakonsultit.] Työ tehtiin yhteistyössä Heinon Tukku Oy:n kanssa, joka tarjosi tilat ja tarvittavat dokumentit työn toteuttamista varten. Heinon Tukku Oy:n toimialaa on päivittäistavaroiden tukkukauppa ja maahantuonti [Heino-konserni].

Mittaukset tehtiin kahdessa vaiheessa, joista ensimmäinen toteutettiin Heinon Tukku Oy:n hedelmä- ja vihannesosastolla. Tukussa kerättiin ilman mikrobinäytteitä, sekä mitattiin fotoionisaatiodetektorilla ilman kaasumaisia orgaanisia yhdisteitä, jonka perusteella mittari ilmoitti korjauskertoimen avulla suuntaa antavan eteenipitoisuuden. Lisäksi

mitattiin ilman lämpötilaa ja suhteellista kosteutta. Toisessa vaiheessa tutkittiin fotokatalyyttisen oksidaation vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen suljetussa mittauskammiossa. Lisäksi mittauskammiossa tutkittiin hedelmien ja vihannesten tuottamaa eteenipitoisuutta. Suljetussa tilassa säilytysolosuhteita pystyttiin hallitsemaan ja sulkemaan pois mittauksia häiritsevät tekijät, kuten ihmiset, kemikaalit ja ilmanvaihto.

2 Hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen vaikuttavat tekijät

2.1 Varastointiaika ja ilman suhteellinen kosteus

Tässä luvussa käsitellään poimittuja ja syötäväksi kelpaavia hedelmiä ja vihanneksia. Hedelmien ja vihannesten optimaaliset varastointiolosuhteet riippuvat hyvin paljon lajikkeesta. Myös eri lajien kyky säilyä varastossa vaihtelee paljon, riippuen mikä hedelmä tai vihannes on kyseessä. Vihanneksista esimerkiksi eri salaateilla, pinaatilla, kurkulla ja tomaatilla on rajoitettu varastointiaika (noin 2–4 viikkoa). Sipuleita, porkkanoita ja perunoita taas voidaan varastoida jopa kuukausia, jos lämpötila ja suhteellinen kosteus ovat sopivia. Hedelmistä esimerkiksi omenat ja päärynät säilyvät kylmässä varastossa (–1–2 °C) useita kuukausia, kun taas marjojen säilymisaika on vain muutamia päiviä. [Belitz ym. 2009: 799, 847.]

Hedelmien ja vihannesten odotetut säilyvyysajat riippuvat siis pitkälti lämpötilasta ja varaston ilman suhteellisesta kosteudesta. Taulukossa 1 näkyy erilaisten hedelmien ja vihannesten säilyvyysaikoja optimaalisissa olosuhteissa.

Taulukko 1. Kasvisten säilyvyysaikoja optimaalisissa olosuhteissa. [Pascall 2011: 405; Mokkila ym. 1999; Liberty ym. 2013: 2261, muokattu.]

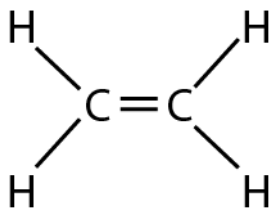
Hedelmä/ vihannes	Lämpötila (°C)	Suhteellinen kosteus (%)	Odotettu säilyvyysaika
Sipuli	1–2	70–75	4–5 kuukautta
Porkkana	0	90–95	4–5 kuukautta
Salaatti	0	90–95	2–3 kuukautta
Tomaatti	12,5–13	85–90	2 viikkoa
Kurkku	10–13	95	10–14 päivää
Mansikka	2	>85	1–10 päivää, riippuen lajikkeesta
Omena	1–4,4	85–90	3–8 kuukautta
Avokado	4,4–12,5	85–90	2–4 viikkoa

Suhteellinen kosteus (RH) on ilman vesihöyrymäärän suhde siihen määrään, joka ilmaan mahtuu tietyssä lämpötilassa, ennen kuin se tiivistyy vedeksi. Suhteellinen kosteus ilmoitetaan prosentteina (%). Mitä matalampi lämpötila on, sitä korkeammaksi suhteellinen kosteus nousee. Suurin osa suhteellisen kosteuden vaihtelusta johtuukin lämpötilan muutoksista. [Ilmankosteus; Ilman kosteus.] Hedelmät ja vihannekset säilyvät parhaiten, kun varastotilan suhteellinen kosteus on korkea, noin 85–95%, kuten taulukko 1 osoittaa.

Matala suhteellinen kosteus aiheuttaa hedelmien ja vihannesten nahistumista, koska kuivassa ilmassa ne haihduttavat paljon vettä. Kuivumisesta kärsivät etenkin salaattit, yrtit, ohutkuoriset varhaisvihannekset, parsat ja kukkakaalit sekä sienet. [Suosituslämpötilat.]

2.2 Eteeni

Eteeni C_2H_4 , käytetään myös nimeä etyleeni, on kaikkein yksinkertaisin alkeeni, joka muodostuu kahdesta hiiliatomista ja neljästä vetyatomista (kuva 1). Hiiliatomeja yhdistää kaksoissidos. Eteeni esiintyy normaalissa ilmanpaineessa ja huoneenlämmössä värittömänä kaasuna, ja sillä on tunnusomainen makea haju. Eteeni on ilmaa kevyempi, erittäin helposti syttyvä kaasu, ja sen reagoiessa ilman kanssa syntyy hyvin räjähdysherkkä seos. Eteeniä saadaan öljynjalostuksen jatkojalostustuotteena, ja sitä käytetään runsaasti muoviteollisuuden raaka-aineena. Eteeni on myös kasvihormoni, joka vaikuttaa hedelmien kypsymiseen ja pilaantumiseen. [OVA-ohje: Eteeni 2017; Hänninen ym. 2018: 187.] Eteeniä voi syntyä kaikissa elävissä kasvisoluissa. Kasvit syntetisoivat eteeniä varsinkin erilaisissa stressitilanteissa, ja ne reagoivat myös toisista kasveista ja vanhenevista kasvinjätteistä erittyvään eteeniin. Eteeni aktivoi hedelmien soluseinien pektiiniä ja selluloosaa hajottavia entsyymejä. Kun soluseinät ja tärkkelys hajoavat, hedelmä pehmenee. [Fagerstedt ym. 2008: 103–104.]



Kuva 1. Eteenin rakennekaava.

Hedelmät ja vihannekset voidaan jakaa kahteen ryhmään niiden eteenituoton ja hengitysaktiivisuuden perusteella. Niin sanottujen klimakteeristen hedelmien soluhengitys ja eteenituotanto lisääntyvät voimakkaasti niiden kypsyessä. Klimakteerisiin hedelmiin kuuluvat esimerkiksi avokado, banaani, omena ja tomaatti. Toiseen ryhmään kuuluvat niin sanotut ei-klimakteeriset hedelmät ja vihannekset, joiden eteenituotanto säilyy muuttumattomina hedelmien kypsymisen aikana. Ei-klimakteerisia hedelmiä ja vihanneksia ovat muun muassa ananas, kurkku ja sitruuna. Ne myös reagoivat eteeniin herkemmin, kuin klimakteeriset hedelmät ja vihannekset. Verrattaessa esimerkiksi avokadon ja sitruunan eteenin tuotantoa on osoitettu että avokado tuottaa eteeniä 500 µg/l, kun taas sitruunan eteenin tuotto on 0,2 µg/l. [Belitz ym. 2009: 847; Fagerstedt ym. 2008: 104.] Taulukossa 2 on esitetty esimerkkejä eri tuotteiden eteenin tuotantomääristä sekä tärkeimpiä reaktioita eteeniin.

Taulukko 2. Eteenin tuotantopitoisuudet sekä tärkeimmät reaktiot esimerkkituotteisiin. [Keller ym. 2013: 5033].

Tuore tuote	Eteenin tuotanto (µL kg ⁻¹ h ⁻¹)	Pääasiallinen reaktio eteeniin
Peruna	<0,1	Itäminen
Kurkku	0,1–1,0	Kellastuminen
Banaani	1,0–10	Hajoaminen, ruskistuminen
Tomaatti	1,0–10	Kutistuminen, hajoaminen
Avokado	10–100	Hajoaminen
Omena	>100	Pehmentyminen, ruskistuminen

Hedelmiä ja vihanneksia varastoidessa tulee ottaa huomioon, tuottavatko ne paljon eteeniä vai ovatko ne sille arkoja. Eteeniä erittävät ja eteenistä kärsivät tuotteet tulee pitää erillään. Varastotilojen eteenipitoisuutta voidaan pyrkiä kontrolloimaan, koska runsas eteenipitoisuus ilmassa nopeuttaa monien hedelmien ja vihannesten vanheneamista. Laadun heikkeneminen ja vauriot näkyvät vihreiden osien kellastumisena, pehmenemisenä sekä maun muutoksina. [Fagerstedt ym. 2008: 104; Etyleeni.]

Varastojen eteenipitoisuuksista on vain vähän julkaistua tietoa. Australialaisessa tutkimuksessa on osoitettu, että eteenipitoisuudet vaihtelevat varastoinnin eri vaiheissa. Tutkimuksessa suurimmat eteenipitoisuudet olivat hedelmien kypsytystilassa ja myyntiin menevien hedelmien varastossa. Avokadovarastoissa todettiin olevan suuret eteenipitoisuudet, pitoisuuksien ollessa noin 1,4 ppm. Paljon eteeniä tuottavien omenoiden jakelukeskuksen välivaraston eteenipitoisuuden todettiin olevan 0,25 ppm, kun lämpötila oli 0 °C. Keskimäärin tutkimuksessa varastotilojen eteenipitoisuuden todettiin

olevan 0,021–0,047 ppm. Myynnissä olevien kasvien ympärillä olevassa kaasutilassa taas eteenipitoisuudet havaittiin olevan matalampia kuin varastossa, ollen 0,012–0,023 ppm. Pientenkin eteenipitoisuuksien (0,01–0,05 ppm) on todettu aiheuttavan säilyvyyden lyhenemistä useilla kasviksilla. [Nykänen 2009: 27–28.]

2.3 Lämpötila

Kotimaiset kasvikset suosittelevat eri vihanneksille ja hedelmille erilaisia säilytyslämpötiloja. Hedelmistä ja marjoista matalissa lämpötiloissa (+1–2 °C) säilyvät parhaiten muun muassa aprikoosit, omenat, persikat, päärynät ja monet marjat. Useiden eksoottisten hedelmien, kuten karambolan ja papaijan optimaalinen säilytyslämpötila on noin +8–12 °C. Korkea lämpötila (+14–18 °C) on optimaalisin banaanille. [Suosituslämpötilat.]

Iso osa vihanneksista säilyy parhaiten suhteellisen matalissa lämpötiloissa (+2–5 °C). Esimerkiksi kaalit, salaattit ja sienet suositellaan säilyttämään tällä lämpötila-alueella. Kurkku, kesäkurpitsa ja tomaatti taas säilyvät parhaiten +10–12 °C:ssa. [Suosituslämpötilat.] Taulukossa 1 on esitetty joidenkin hedelmien ja vihannesten optimaalisia säilytyslämpötiloja.

Lämpötilalla on vaikutusta myös hedelmien ja vihannesten eteenin tuotantoon. Mitä korkeammassa lämpötilassa hedelmiä ja vihanneksia säilytetään, sitä voimakkaammin ne tuottavat eteeniä. Alhainen lämpötila vähentää eteenin biosynteesiä ja hidastaa soluhengitystä. [Fagerstedt ym. 2008: 104.] Japanilaisessa tutkimuksessa tutkittiin varastointilämpötilan vaikutuksia lokvatin (*Eriobotrya japonica*) fysiologiseen laatuun. Tutkimuksessa lokvattia varastoitettiin viidessä eri lämpötilassa (1, 5, 10, 20 ja 30 °C), jolloin huomattiin että hedelmät tuottivat eteeniä sitä vähemmän, mitä matalampi lämpötila oli. [Ding ym. 1998.] Myös tutkimuksessa, jossa altistettiin vasta poimittuja päärynöitä eteenille, todettiin että eteeni ei nopeuta päärynöiden kypsymistä yhtä paljon matalissa, kuin korkeissa lämpötiloissa. Päärynöiden kypsyminen eteenille altistettaessa kesti 96 tuntia +5 °C:ssa, kun taas +20 °C:ssa kypsyminen kesti 24 tuntia. [Agar ym. 2000.] Myös omenoiden eteenin tuotannon on osoitettu nousevan merkittävästi kun lämpötila nostetaan 0 °C:sta +20 °C:seen [Keller ym. 2013: 5034].

Liian kylmät säilytysolosuhteet aiheuttavat hedelmissä ja vihanneksissa vettymistä ja paleltumista. Esimerkiksi kurkun säilytys reilussa +2 °C:ssa aiheuttaa kurkun pinnalla vaurioita, kuten pistemäisiä vettyneitä kuoppia. [Nykänen 2009: 23.] Alhaiset lämpötilat aiheuttavat myös värin muutoksia. Banaanissa sekä munakoison ja avokadon hedelmälihassa liian matala säilytyslämpötila aiheuttaa harmaantumista, kun taas joissain yrteissä kuten basilikassa ja sitruunamelissassa mustumista. [Yleistä kasvien säilytyksestä.]

2.4 Mikrobit ilmassa

Bioaerosolit ovat ilman mukana kulkeutuvia hiukkasia, jotka sisältävät eläviä organismeja tai biologista alkuperää olevaa materiaaleja, kuten siitepölyä, pölypunkkeja, mikrobeja, mikrobien osia tai niiden aineenvaihdunnan tuotteita. Halkaisijaltaan bioaerosolit ovat noin 0,5–30 µm kokoisia partikkeleita, ja hiukkaset voivat olla joko nestemäisiä tai kiinteitä. Tavallisia bioaerosolien lähteitä ovat maaperä, vesistöt ja kasvit. [Lindsley ym. 2017: 2.]

Sisäilma sisältää aina mikrobeja, ja sisäilmasta löytyy samoja mikrobeja kuin ulkoilmastakin. Ulkoilman lisäksi mikrobeja tulee sisäilmaan esimerkiksi ihmisistä, kotieläimistä, huonekasveista ja elintarvikkeista. Osa mikrobeista tarttuu myös rakenteiden pinnoille, erityisesti silloin kun mikrobeille on tarjolla kosteutta. [Asumisterveysopas 2009: 146; Salkinoja-Salonen 2016.] Myös rakennuksen ilmanvaihdolla on merkitystä siihen, kuinka paljon bioaerosoleja kulkeutuu ulkoilmasta sisäilmaan. Rakennuksien ilmassa, joissa on luonnollinen eli niin sanottu paine-eroihin perustuva ilmanvaihtojärjestelmä on todettu olevan 2–7 kertaa enemmän mikrobipitoisuuksia, kuin rakennuksissa joissa on käytössä koneellinen ilmanvaihto. Eri mikrobeille ilmassa on määritetty erilaisia pitoisuusrajoja, riippuen siitä mistä kohteesta ja mihin vuodenaikaan ilmanäytteitä tutkitaan. Esimerkiksi toimistorakennuksissa korkein normaalitaso sieni-itiöille talvisin on tutkittu olevan 50 pmy/m³ ja bakteereille 600 pmy/m³. Nämä raja-arvot pätevät silloin, kun ilmamikroninäytteet on otettu 6-vaihekeräimellä. Suomessa mikrobipitoisuudet sekä ulkona että sisällä ovat korkeampia kesällä ja keväällä, kuin talvella, jolloin maa on lumen ja jään peitossa. [Salonen 2009: 28.]

Sisäilman mikrobinäytteitä kerätään yleensä silloin, kun rakennuksessa epäillään kosteusvaurioita. Sisäilmamittausten tarkoitus on selvittää, ovatko rakennuksen mikrobi-

toisuudet ja mikrobisuku tavanomaisia sijaintiin, ikään ja vuodenaikaan nähden. Sisäilman mikrobinäytteet tulee ottaa ajankohtana, joka edustaa mahdollisimman hyvin tilan normaalia käyttötilannetta. Rakennuksessa tapahtuvat toiminnot, kuten tekstiilien ja elintarvikkeiden käsittely voivat tilapäisesti kohottaa sisäilman sieni-itiöpitoisuutta, joka tulee ottaa huomioon tuloksia tulkittaessa. [Asumisterveysopas 2009: 157.]

2.5 Kasvitaudit

Kasvitaudit ovat bakteerien, sienten ja virusten aiheuttamia tauteja, joilta kasvit pyrkivät suojautumaan erilaisilla puolustusmekanismeilla. Kasvitaudit leviävät ilman, veden, saastuneen kasvimateriaalin, maan ja työvälineiden kautta. Kasvien pintakerrokset kestävät yleensä hyvin eri taudinaiheuttajien hyökkäyksiä. Niiden pinnan vahamainen kerros ja paksut soluseinät estävät tehokkaasti bakteerien ja sienten tunkeutumista syvälle solukkoon. Kasvi voi sairastua silloin, kun taudinaiheuttaja on erikoistunut infektoimaan juuri kyseistä kasvia. Infektoituneelle kasville kehittyy tyypillisiä taudille ominaisia oireita. Kasvisolujen soluliman pH on lähellä neutraalia, mikä on otollinen kasvuympäristö useille bakteereilla ja sienille. [Fagerstedt 2008: 92–93; Kasvitaudit ja tuhoeläimet.]

Kasvit estävät monien taudinaiheuttajien leviämisen solukoissaan tappamalla infektioituneet solut. Näin kasvi eristää taudinaiheuttajat. Kasvien itsensä aiheuttamaa solukuolemaa kutsutaan ohjelmoiduksi solukuolemaksi, joita tapahtuu myös kasvin normaalissa kehityksessä. Kasvit pystyvät myös valmistamaan joukon yhdisteitä, jotka estävät bakteerien ja sienten kasvua. Tällainen yhdiste on esimerkiksi pihlajanmarjan bentsoehappo. Eri kasvilajien tuottamia puolustusyhdisteitä on satojatuhansia, ja useita niistä käytetään myös lääkeaineina. [Fagerstedt 2008: 93.]

2.6 Bakteerit ja bakteerien aiheuttamat kasvitaudit

Bakteerit ovat mikroskooppisen pieniä yksisoluisia eliöitä, joita on kaikkialla elinympäristössä. Bakteerit lisääntyvät jakautumalla kahtia, joten niiden kasvuvauhti voi olla eksponentiaalinen. Lisääntymisnopeus riippuu kuitenkin ympäristöolosuhteista, pääasiassa kosteudesta, lämpötilasta ja happamuudesta. Bakteerit tarvitsevat elääkseen muita mikrobeja enemmän vettä, ja mitä kosteampi ympäristö on, sitä paremmin bak-

teerit viihtyvät. Bakteereille optimaalinen ympäristö on happamuudeltaan neutraali. [Salkinoja-Salonen 2002: 92; Yleistä mikrobeista.]

Tuoreet kasvikset saattavat sisältää tautia aiheuttavia mikrobeja, joiden leviämistä ei aina pystytä estämään. Bakteerit voivat joutua kasviksiin kasvatuksen aikana ympäristöstä tai esimerkiksi kasteluveden välityksellä. Bakteerit voivat lisääntyä kasviksissa myös varastoinnin aikana. Bakteerit, virukset ja bakteerien tuottamat myrkylliset toksiin nit voivat levitä hedelmien ja vihannesten välityksellä aiheuttaen ruokamyrkytyksen. [Kasvikset ja hedelmät.] Ruokamyrkytyksiä aiheuttavat bakteerit eivät kuitenkaan aina aiheuta mikrobiologisia muutoksia elintarvikkeisiin, vaan aistinvaraisesti moitteetonkin elintarvike voi aiheuttaa ihmisen sairastumisen. Toisaalta taas pilaantumismuutoksia aiheuttavat bakteerit ovat harvoin yhteydessä ruokamyrkytyksiin. Käytännössä voidaan ajatella, että pilaajabakteerit ja ruokamyrkytyksiä aiheuttavat bakteerit ovat kaksi eri ryhmää, vaikka ryhmitys ei olekaan tieteelliseen järjestelmään perustuva. [Björkroth 2009.]

Perunan vaalea rengasmätä (*Clavibacter michiganensis subsp. sepedonicus*) on vaarallinen bakteeritauti, joka pilaa perunan mukuloita. Se leviää mukuloissa piilevänä sekä saastuneessa maa-aineksessa. Vaalean rengasmädän oireet havaitaan selvimmin varastoiduissa mukuloissa keväällä, kun halkaistussa mukulassa näkyy johtojännekehä kellertävänä renkaana. [Elintarviketurvallisuusvirasto Evira.]

Perunan tumma rengasmätä (*Ralstonia solanacearum*) on perunan mukuloita pilaava bakteeritauti, jonka oireet muistuttavat vaalean rengasmädän oireita. Toisin kuin vaaleassa rengasmädässä, tummassa rengasmädässä taudin pilaamassa mukulassa johtojännekehä näkyy ruskeaksi värjäytyneenä. Tautia ei ole tavattu Suomessa. [Ruokavirasto 2019.]

2.7 Ruokamyrkytysbakteereja hedelmissä ja vihanneksissa

2.7.1 *Bacillus cereus*

Bacillus cereus bakteerit ovat yleisiä maaperässä, vesistöissä, kasveissa, ilmassa ja pölyssä. Bakteerit kasvavat sekä hapellisissa että hapettomissa olosuhteissa. Itiömuodossaan ne kestävät hyvin korkeita lämpötiloja, kuivuutta sekä ravinnon puutetta. Elin-

tarvikkeisiin joutuessaan itiöt kestävät kuumennuksen ja pysyvät lisääntymään ruoassa jäähtymisen aikana. *Bacillus cereuksen* aiheuttama ruokamyrkytys saa aikaan suolisto-oireita. [*Bacillus cereus*.]

2.7.2 *Yersinia pseudotuberculosis*

Yersinia pseudotuberculosis -bakteeria esiintyy kasviksissa, kuten jäävuorisalaatissa, kiinankaaleissa ja porkkanassa. Suomessa bakteeri on aiheuttanut ruokamyrkytystapauksia, jotka ovat levinneet varastoidun porkkanan välityksellä. Bakteeri pystyy lisääntymään kylmässä 0–5 °C:ssa, joten se on elintarvikehygienian kannalta ongelmallinen bakteeri. *Y. pseudotuberculosis* -ruokamyrkytyksen taudinkuva vaihtelee suolitulehduksesta hengenvaaralliseen yleisinfektioon. [*Yersiniabakteerit*.]

2.7.3 *Listeria*

Listeria on yleinen ympäristöbakteeri, jota voi esiintyä maidossa, lihassa, kalassa ja kasviksissa. *Listeria* pystyy kasvamaan ainakin 10 %:n suolapitoisuudessa ja se säilyy pakastetuissa ja kuivatuissa elintarvikkeissa pitkiä aikoja, jopa useita vuosia. Se pystyy lisääntymään myös jääkaappilämpötiloissa. *Listeria* tuhoutuu +72 °C:ssa pastörintilämpötilassa. *Listerian* aiheuttama ruokamyrkytys on harvinainen, mutta kuolleisuus siihen on korkea (20–40 %). Erityisen alttiita tartunnalle ovat vastustuskyvyltään heikentyneet henkilöt, kuten raskaana olevat, vastasyntyneet ja vanhukset. *Listeria* voi ilmetä aivokalvontulehduksena, verenmyrkytyksenä (sepsis), tai molempina. Raskaana oleville se voi aiheuttaa keskenmenon tai vastasyntyneellä aivokalvontulehduksen. [*Listeria monocytogenes*.]

2.8 Sienet ja sienten aiheuttamat kasvitaudit

Sienet ovat aiotumaisiin kuuluva runsaslajinen kunta. Ne erittävä kasvualustaansa entsyymejä, joiden pilkkomat ravintoaineet imeytyvät sienisolujen sisälle. Eri sienilajeja on kuvattu olevan yli 100 000. Todellista lajimäärää ei tiedetä, mutta arviot vaihtelevat 700 000 lajista jopa 5,1 miljoonaan lajiin. Sieniä, joiden rihmasto on nopeakasvuista kutsutaan homeiksi. Homeet tuottavat runsaasti ilman kautta leviäviä suvuttomia itiöitä. Runsaas homekasvusto muodostaa paljain silmin nähtävää nukkamaista peitettä. Homeet käyttävät ravinnokseen puuta, paperia ja kaikkia elintarvikkeita. Ilman happi on

ehdoton edellytys homeiden kasvulle, joten ne kasvavat elintarvikkeiden pinnoilla. [Timonen & Valkonen 2013: 11, 311–312; Yleistä mikrobeista.]

Homeita eristettäessä käytetään usein ravinteetonta vesialustaa sekä maissijauhoja tai mallasta sisältäviä kasvualustoja. Suurin osa homeista kasvaa +15–25 °C:n lämpötilassa, ja niiden itiöt tuhoutuvat +70–80 °C:ssa. Homeet ovat melko vaatimattomia ympäristön suhteen, joten ne pystyvät kasvamaan myös kuivissa ja happamissa (pH 3–5) olosuhteissa. Valo aktivoi homeiden itiöintiä ja pigmentin muodostusta. Homesieniä kasvatetaan yleensä noin 5–10 päivää tunnistamista ja pesäkkeiden laskemista varten. [Timonen & Valkonen 2013: 315; Yleistä mikrobeista.]

2.8.1 Harmaahome

Harmaahome (*Botrytis cinerea*) on tyypillinen heikentyneiden kasvien tauti, mutta määrissä olosuhteissa se vaurioittaa myös hyväkuntoisia kasveja. Se voi lisääntyä myös erilaisissa kuolleissa kasvinjätteissä. Harmaahome vioittaa useimpia vihanniskasveja sekä pellolla että sadonkorjuun jälkeen. Yleisesti sitä esiintyy erilaisten varastoitavien vihannesten, kuten kaalin ja porkkanan varastotautina etenkin varastokauden loppupuolella. Tyypillisesti tartunnan saaneiden kasvien pinnalle ilmestyy ruskeanharmaata sienikasvustoa ja itiöitä. Muita oireita ovat teräväräjäiset laikut lehdissä ja varsissa. Harmaahomeen tuhoja voidaan pyrkiä estämään hellävaraisella sadonkorjuulla, hyvällä hygienialla ja varastoitavan sadon nopealla jäädyttämisellä. [Hannukkala 2011.]

2.8.2 Pahkahome

Pahkahome (*Sclerotinia sclerotiorum*) on yleinen monia ruohovartisia kasvilajeja vioittava tauti. Usein pahkahomeen isäntäkasveja ovat heinät ja viljat, mutta taudinaiheuttaja on löydetty ainakin 350 eri kasvilajista. Kasvukaudella tauti vaurioittaa kasvien varsia ja syötäväksi tarkoitettuja kasvinosia, mutta se pilaa satotuotteita myös sadonkorjuun jälkeen ja varastoinnin aikana. Pahkahomeen aiheuttamia tuhoja esiintyy varsinkin saateisina kesinä, sen aiheuttaessa sato- ja varastotappioita ristikukkaisille öljykasveille, perunalle, keräsalaatille ja monille muille vihanniskasveille. Varastoissa se pilaa erityisesti kaalia ja porkkanaa. [Hannukkala 2011.] Kuvassa 2 näkyy pahkahomeen aiheuttamaa tuhoa porkkanan pinnalla.



Kuva 2. Pahkahomeen rihmastoa ja mustia rihmastopahkoja porkkanan pinnalla [Hannukkala 2016].

Pahkahome kasvaa eri kasvinosissa vetistävinä laikkuina, jotka ruskettuvat nopeasti. Kosteissa oloissa ja vauriokohdissa kasvaa valkoista pumpulimaista sienirihmastoa, joka hajottaa kasvisolukot nopeasti. Kasvien varsiin iskeytyneen homeen vaikutuksesta solukot hajoavat kuitumaisiksi ja varret katkeavat herkästi. Useat kasvikset, kuten salaattit, porkkanat ja kaalinkerät hajoavat kokonaan vetiseksi massaksi. Vauriokohtiin kehittyä mustia tai tummanruskeita rihmastopahkoja. Rihmastopahkat ovat pyöreäköjä tai epämuotoisia ja niiden läpimitta on noin kahdesta millimetristä jopa pariin senttimetriin. [Hannukkala 2011.]

2.9 Muita ilmassa ja kasveissa esiintyviä homeita

Tärkeimmät mykotoksiinia tuottavat homeet hedelmien ja vihannesten säilytyksen kannalta ovat *Aspergillus*-, *Penicillium*- ja *Alternaria*-suvun homeet. Ne ovat myös tyypillisiä sisäilman homeita, joten kontaminaatio on mahdollinen elintarvikkeen varastoinnin aikana. [Barkai-Golan & Paster 2008: vii–viii.] Rakennusten sisäilmassa esiintyy tavallisimmin taas *Penicillium*-, *Aspergillus*- ja *Cladosporium*-suvun homeita sekä hiivoja, jotka ovat myös ulkoilmassa tavallisia. Yleisimmin nämä sienisuvut kulkeutuvatkin ulkoilmasta sisäilmaan. [Salonen 2009: 26–27.]

2.9.1 *Alternaria*-suvun homeet

Alternaria on yleinen ulkohome, joka kasvaa kasvien pinnalla. Eräät *Alternaria*-lajit aiheuttavat perunoiden lehtiin lehtipoltetta, josta voi syntyä merkittäviä satotappioita. Lehtipoltteen tunnistaa ruskeista laikuista perunoiden lehtien pinnalla. Tautia voi esiintyä myös tomaateilla. [Hannukkala.] *Alternariaa* pidetään tärkeimpänä astmaa aiheuttavana homeena. Sitä on todettu rakenteissa kosteusvaurion yhteydessä sekä Suomessa että muissa maissa. [Homeet.]

2.9.2 *Aspergillus*-suvun homeet

Aspergillus-homeita esiintyy kaikkialla elinympäristössä, ja sukuun kuuluu yli 200 lajia. Suvun homeet ovat erittäin yleisiä sisäilmassa ja niitä löytyy myös kohteista, joissa ei ole todettu kosteusvauriota. Syy *Aspergillus*-homeen kasvuun on yleisimmin lisääntynyt kosteus, joka on seurausta jonkinlaisesta vuodosta tai vesivahingosta. *Aspergillus* on *Penicilliumin* ohella nopeakasvuinen ja tietyt kasvualustat suosivat sen kasvua hitaammin kasvavien homeiden kustannuksella. Ihmisille *Aspergillus*-homeet aiheuttavat paljon erilaisia terveyshaittoja, kuten allergiasairauksia ja infektioita esimerkiksi leikkaushaavoissa, keuhkoputkissa tai luussa. [Putus 2014: 22–25.]

Aspergillus-homeet viihtyvät happipitoisissa ympäristöissä. Ne kasvavat erityisen hyvin materiaaleilla, josta ne saavat energiakseen hiiltä. Osa lajeista selviytyy myös ympäristössä, jossa on hyvin vähän ravinteita. Myös hedelmät ja vihannekset tuottavat *Aspergillus*-suvun homeita. *Aspergillusta* esiintyy runsaasti maaperässä ja kasveissa ja se aiheuttaa hedelmien ja vihannesten pilaantumista. Rakennuksissa *Aspergilluksen* yleisin kasvupaikka on likaisten ilmastointilaitteiden sisällä. Se kasvaa myös erilaisilla rakennusmateriaaleilla, ja sitä esiintyy niin rakenteiden sisällä kuin ulkopuolellakin. [Bar-kai-Golan & Paster 2008.]

2.9.3 *Cladosporium*-suvun homeet

Cladosporium on todettu olevan yleisin homesuku ulkoilmassa sekä sisäilmassa ympäri maailmaa kaikkina vuodenaikoina [Salonen 2009: 27]. Suvun homelajeja esiintyy muun muassa maaperässä ja lahoavissa kasveissa. Jotkut suvun lajit ovat myös yleisiä kasvipatogeeneja, pilaten esimerkiksi marjoja. Niiden aiheuttamaa samettisenvihreää kasvustoa voidaan nähdä lähinnä ylikypsien ja vaurioituneiden marjojen pinnalla. Ra-

kennuksissa *Cladosporium*-homeet kasvavat kostuneissa rakennusmateriaaleissa, kuten kipsilevyssä, puussa tai tapetissa. *Cladosporium*-homeet aiheuttavat ihmisille myös allergisia oireita, varsinkin jos homeelle on altistunut pitkään. [Kung'u; Kokko ym. 2012: 16.]

2.9.4 *Penicillium*-suvun homeet

Penicillium on yksi tavallisimmista sisäilmassa esiintyvistä homesuvuista. Sitä esiintyy pieninä pitoisuuksina lähes kaikissa rakennuksissa. *Penicillium*-suvun alalajeja tunnetaan yli 500 ja alalajien tunnistus viljelmästä on hyvin vaikeaa, ilman PCR-tekniikkaa lähes mahdotonta. *Penicillium* on nopeakasvuinen ja sillä on pienet itiöt, jotka irtoavat helposti rihmastosta ja leijuvat pitkään ilmassa. *Penicillium* on yleinen elintarvikkeiden homehduttaja ja se kasvaa helposti muun muassa leivässä ja kasviksissa. Se käyttää hyväkseen kasvualustan sokereita ja hiilihydraatteja ja kasvatusaljalla se saattaa peittää alleen hidaskasvuisempia lajeja. [Putus 2014: 16–17.]

Hedelmissä ja vihanneksissa *Penicillium*-homeet aiheuttavat sinistä, vihreää tai sinivihreää näkyvää kasvustoa, joka pilaa tuotteet syömäkelvottomiksi. Siniset homepesäkkeet esiintyvät kylmemmissä olosuhteissa ja levittäytyvät helpommin pakkausmateriaalien läpi. Vihreät pesäkkeet taas ovat yleisempiä huoneenlämmössä, ja niissä on usein mukana myös muita homelajeja. Home aiheuttaa hedelmissä ja vihanneksissa pehmenemistä, sekä maku- ja hajuhaittoja. *Penicillium*-lajin homeet erittävät runsaasti mykotoksiineja eli sienimyrkkyjä, joten isot homepesäkkeet voivat aiheuttaa syötynä ruokamyrkytyksen. [Penicillium 2019.]

3 Hedelmien ja vihannesten säilytysolosuhteiden hallinta

3.1 Eteeni- ja mikrobipitoisuuksien hallinta

Eteeniä poistetaan yleisesti erilaisista varastotiloista mekaanisen ilmanvaihdon avulla. Mekaanisen ilmanvaihdon etuna on se, ettei siihen tarvita erillisiä normaalista ilmanpoistosta poikkeavia laitteita. Mekaaninen ilmanvaihto poistaa myös hedelmien ja vihannesten soluhengityksessä tuottamaa hiilidioksidia, joten ilmanvaihto on välttämätön niiden varastointitiloissa. [Nykänen 2009: 33.]

Eteeniä voidaan poistaa tiloista myös kemiallisesti. Kemialliset poistomenetelmät perustuvat jonkun tietyn kemiallisen yhdisteen kykyyn muuttaa eteeni yhdeksi tai useaksi muuksi yhdisteeksi. Yksi tunnettu kemiallinen poistomenetelmä perustuu kaliumpermanganaatin eteeniä hapettavaan vaikutukseen. Kaliumpermanganaattiin perustuvat eteeninpoistajat ovat joko yksittäisiä pienikokoisia pusseja, isompia peittoja tai suodatimia. Ainetta voidaan laittaa myös suoraan ilmanvaihtokoneeseen. Muita eteenin poistokeinoja ovat muun muassa erilaiset biologiset poistomenetelmät, adsorbointi ja hapetus otsonilla. [Nykänen 2009: 33-37.] Eteeniä voidaan poistaa myös fotokatalyyttisesti, josta kerrotaan enemmän luvussa 3.2.

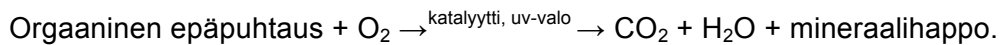
Mikrobien elinkykyyn ilmassa vaikuttavat suhteellinen kosteus, lämpötila, ilman happipitoisuus, valo, UV-säteily ja kemialliset tekijät. Näitä tekijöitä hallitsemalla voidaan vaikuttaa ilman mikrobipitoisuuteen ja sitä kautta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen. Kuten eteenipitoisuutta, myös ilman mikrobipitoisuutta voidaan hallita tarpeeksi tehokkaan ilmanvaihdon avulla. [Wirtanen ym. 2002: 12, 24.]

Tavallisia keinoja hallita mikrobipitoisuuksia hedelmien ja vihannesten säilytystiloissa ovat muun muassa tilojen asianmukainen siivous, tiloissa työskentelevien henkilöiden asianmukainen vaatetus ja suojarusteet, puhtaat työskentelyvälineet sekä hyvä käsihygienia. Elintarvikealan toimijat laativat omavalvontasuunnitelman, jonka avulla varmistetaan elintarvikemääräysten toteutumista. Kaikissa hedelmiä ja vihanneksia varastoitavissa tiloissa tulee noudattaa elintarvikemääräyksiä, jotka sisältävät myös mikrobiologiset vaatimukset. [Ohje ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen elintarvikehygieniasista 2018.]

3.2 Fotokatalyyttinen oksidaatio säilytysolosuhteiden hallintamenetelmänä

Fotokatalyyysi on spontaani kemiallinen reaktio, joka tapahtuu valon absorboituessa fotokatalyyttiseen materiaaliin. Fotokatalyyttisessä oksidaatiossa katalyytti aktivoidaan UV-valolla tai muulla valolla, jolloin syntyy hapettavia hydroksyyliiradikaaleja (OH), jotka hajottavat ilmassa olevia kaasumaisia epäpuhtauksia reagoimalla niiden kanssa. Reaktiossa syntyy hiilidioksidia (CO₂) ja vettä (H₂O). Fotokatalyyttisen oksidaation sivutuotteena voi syntyä kaasumaisia epäpuhtauksia, kuten formaldehydiä ja asetaldehydiä. [Hyvärinen 2017: 50, 92.] Fotokatalyyttinen kokonaisreaktio, joka tapahtuu orgaanisten

aineiden hajotuksessa, voidaan esittää yksinkertaistetusti seuraavalla kokonaisreaktiolla [Boyjoo ym. 2017: 547]:



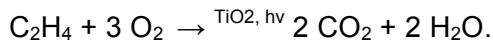
Reaktio tapahtuu joko materiaalin pinnalla tai sen välittömässä läheisyydessä, jolloin reaktiossa fotokatalyytti pysyy muuttumattomana. Fotokatalyyssi jaetaan homogeeniseen ja heterogeeniseen fotokatalyyysiin. Heterogeenisessä fotokatalyytissä kaasuista ja nesteistä poistetaan epäpuhtauksia kiinteällä fotokatalyytillä, kuten titaanioksidilla. [Tahvanainen 2015: 11.] Titaanioksidi (TiO₂) ja sinkkioksidi (ZnO) ovat yleisesti käytettyjä fotokatalyyttejä fotokatalyyttisessä reaktiossa, joista varsinkin TiO₂ on laajasti käytössä sen ominaisuuksien vuoksi. TiO₂ on edullinen, turvallinen, erittäin stabiili ja sillä on korkea fotokatalyyttinen tehokkuus. Heterogeenistä fotokatalyyttistä oksidaatiota (PCO) on tutkittu muutamia vuosikymmeniä, ja sen on osoitettu olevan tehokas keino sekä ilman että veden puhdistamiseen. [Yu & Brouwers 2009: 454.]

Fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän on todettu vähentävän eri tutkimusten mukaan tehokkaasti epäpuhtauksia huoneilmasta. Menetelmää vähentää ilmasta VOC-yhdisteitä (Volatile Organic Compounds). [Boyjoo ym. 2017: 539; Costarramone ym. 2017.] VOC-yhdisteet ovat kaasumaisia orgaanisia yhdisteitä, joiden kiehumispiste on 50–260 °C:ttä. Sisäilmassa VOC:t voivat esiintyä kaasun lisäksi hiukkasmuodossa tai partikkeleihin absorboituneina. [Rundt ym. 2005.] VOC-yhdisteiden mittaustulos ilmoitetaan terminä TVOC (Total Volatile Organic Compounds) eli kaikki haihtuvat orgaaniset yhdisteet. Kohonnut TVOC-pitoisuus (>600 µg/m³) kertoo kemiallisten aineiden epätavallisen suuresta määrästä sisäilmassa, jolloin lisäselvitykset yksittäisten aineiden tutkimiseksi ovat tarpeen. Tavanomaisena sisäilman TVOC-pitoisuutena voidaan pitää pitoisuutta 200–300 µg/m³. Tavanomaisen teollisuusilman TVOC-pitoisuudet ovat noin 80–6600 µg/m³, ja pitoisuuden ylittäessä 3000 µg/m³ suositellaan lisäselvityksiä. [Asumisterveysopas 2009: 136; Tuomi ym. 2012: 1.]

Myös bioaerosolien, kuten bakteerien, virusten, homeiden ja hiivojen on todettu vähenevän ilmasta fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvaa ilmanpuhdistusjärjestelmää käytettäessä. Reaktiot perustuvat hydroksyyli- ja peroksidien kykyyn hapettaa solun ulkokalvon fosfolipidejä sekä koentsyymi A:tta. Tämä johtaa soluhengityksen estymiseen ja

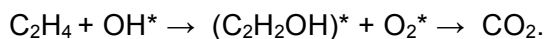
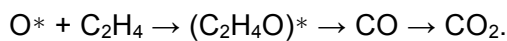
sitä kautta solukuolemaan. Viruksien, bakteerien ja sienien on todettu vähenevän jopa 80–99,9 % fotokatalyyttistä oksidaatiota käytettäessä. [Hyvärinen ym. 2017: 92.]

Tutkimuksissa on osoitettu, että myös eteeniä voidaan poistaa huoneilmasta fotokatalyyttisesti. Lyhyen hiiliketjuna vuoksi eteeni on erittäin herkkä fotokatalyyttiselle oksidaatiolle. Eteenin fotokatalyyttinen hapetus perustuu seuraavaan reaktioon [Keller ym. 2013: 5051.]:



Reaktiossa eteeni hapettuu hiilidioksidiksi ja vedeksi, kun ultraviolettisäteilyä, jonka aallonpituus on 100–400 nanometriä kohdistetaan titaanioksidin pintaan. UV-valon vaikutuksesta titaanioksidissa tapahtuu energiatilojen virittymistä, jonka vaikutuksesta eteeni hapettuu. Fotokatalyyttinen hapettuminen vaatii toimiakseen aina UV-valon, joten valon sammuttamisen jälkeen myös hapettumisreaktio pysähtyy. [Nykänen 2009: 35.]

Fotokatalyyttisen reaktion tuottamat aktiiviset hapettajat voivat vaikuttaa eteenimolekyyliin myös seuraavilla tavoilla. [Keller ym. 2013: 5051].



Fotokatalyyttisen menetelmän on todettu toimivan myös kosteissa olosuhteissa sekä alhaisissa lämpötiloissa. [Keller ym. 2013: 5059].

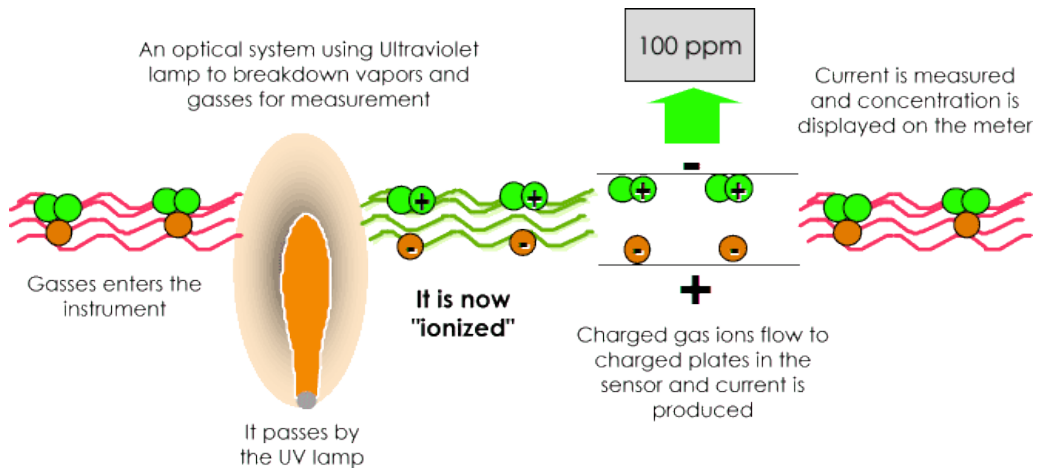
4 Mittausmenetelmät ja mittauslaitteet

4.1 Eteenin määrittäminen ilmasta

Tarkkoja eteenipitoisuuksia voidaan määrittää ilmasta esimerkiksi kaasukromatografilla. Sillä voidaan mitata hyvin pieniä, jopa 0,001 ppm eteenipitoisuuksia. Kaasukromatografi on kuitenkin kooltaan suuri, kallis ja melko hankalakäyttöinen määrittämenetelmä, jos halutaan selvittää nopeasti ilmantilan eteenipitoisuus. Kaasukromatografian korvaajaksi onkin kehitetty nopeampia ja helpompikäyttöisiä laitteita, joiden mittausmenetelmät perustuvat esimerkiksi elektrokemialliseen kennoon, infrapunasäätelyyn tai metallioksidien fotokatalyyttisiin reaktioihin. [Nykänen 2009: 29–30.]

Tässä työssä ei ollut tarkoitus tutkia ilman tarkkoja eteenipitoisuuksia, vaan selvittää miten fotokatalyyttinen oksidaatio ja siihen perustuva ilmanpuhdistusjärjestelmä vaikuttaa hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen. Tämän vuoksi eteenipitoisuuksia tutkittiin fotoionisaatiodetektorilla, koska mittaustuloksista pystyttiin määrittämään fotokatalyyttisen oksidaation vaikutusta eteenipitoisuuksien muutoksiin. Fotoionisaatio on havainnointimenetelmä, joka perustuu orgaanisten molekyylien ionisointiin käyttäen hyväksi ultraviolettisäteilyä. Fotoionisaatiodetektor (PID-mittari) mittaa laajasti haihtuvia orgaanisia yhdisteitä eli VOC-yhdisteitä, sekä joitain epäorgaanisia yhdisteitä. [Laird & Verhappen 2010.] PID-mittari käyttää valonlähteenä UV-valoa, joka toimii fotonien tuottajana. Fotonien energia ilmoitetaan elektronivolteina (eV). PID-mittari on hyvin herkkä orgaanisten yhdisteiden pitoisuuksille, oli se sitten mitattavaa ainetta tai ei. Laite ei erottele yksittäisiä yhdisteitä mittaustuloksista, tai niiden pitoisuuksista vaan kertoo tietyn yhdisteen kokonaispitoisuuden näytteessä. [Laird & Verhappen 2010.]

Kaasumolekyylin absorboidessa UV-valoa, UV-valo virittää molekyylin, jolloin molekyyli menettää hetkeksi negatiivisesti varautuneen elektronin. Tämän seurauksena syntyy positiivisesti varautunut ioni, eli kationi. Yhdiste muuttuu sähköisesti varautuneeksi, jolloin se tuottaa sähköisen signaalin. Tästä syntynyt sähkövirta toimii tällöin PID-mittarin mittalähteenä. Mitä enemmän sähkövirtaa syntyy, sitä suurempi yhdisteen pitoisuus on. Ionit yhdistyvät takaisin alkuperäiseksi kaasumolekyyliksi ionisaation jälkeen, eikä fotoionisaatiodetektor siis tuhoa tai muuta alkuperäisiä yhdisteitä. [Photoionization Detectors (PIDs); Photoionization Detectors (PIDs) 2015.] Kuvassa 3 näkyy kaasun matka fotoionisaatiodetektorissa.



Kuva 3. Kaasun mittauseriaate fotoionisaatiodektoressa [Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors].

Ionisaatiopotentiaali eli elektronin irrottamiseen vaadittava energia vaihtelee eri yhdisteiden välillä. Ionisaatio tapahtuu niillä yhdisteillä, joiden ionisaatiopotentiaali on pienempi kuin UV-lampun ionisaatioenergia. Yleisimmin käytössä on 10,6 eV:n lamppu, koska suurimmalla osalla VOC-yhdisteitä ionisaatiopotentiaali on vähemmän. Esimerkiksi vettä, hiilidioksidia, typpeä tai happea ei pystytä havaitsemaan PID-mittarilla, koska niiden ionisaatiopotentiaali on yli 10,6 eV. [Photoionization Detectors (PIDs).]

PID-mittari kalibroidaan useimmiten isobutyleenin avulla, jolloin yksittäisten kaasujen pitoisuudet saadaan korjauskertoimien avulla. Eri kaasuille on eri korjauskertoimet, riippuen miten herkästi laite reagoi kyseiseen kaasuun. Mitä pienempi korjauskerron on, sitä herkemmin laite reagoi kyseiseen yhdisteeseen. PID-mittarin ilmoittamat pitoisuudet ovat suuntaa antavia, eikä se ole spesifinen mittalaite. Fotoionisaatiodektoori reagoi herkästi 10,6 eV:n lampulla esimerkiksi tolueenin, sen korjauskertoimen ollessa 0,5. Tolueenille mittarin ilmoittama 20 ppb:n lukema vastaa todellisuudessa 10 ppb:n ($20 \text{ ppb} \cdot 0,5$) pitoisuutta. [Wennström 2013: 32–33.]

Työssä käytettävä mittari oli Gray Wolfn Direct Sense TVOCMulti-Gas PID-mittari; Toxic Gas TG-503. Laitteessa oli käytössä 10,6 eV:n uv-lamppu. Se mittaa haihtuvia orgaanisia yhdisteitä jopa ppb (parts per billion) pitoisuudessa. VOC-yhdisteille mitta-alue on valmistajan mukaan 0–20 000 ppb, ja oletustarkkuus on 5 ppb. [GrayWolf Specifications 2016.] Työssä käytetty Gray Wolfn fotoionisaatiodektoori ei reagoi kovin herkästi eteeniin, eteenin korjauskertoimen ollessa 8 [TVOC Compund list 2019]. Käytetyssä mittarissa on anturit myös lämpötilan ja ilmankosteuden mittaamiseen.

Eteenipitoisuutta voidaan määrittää ilmasta myös erilaisilla indikaattoreilla. Indikaattorit ilmaisevat, onko kaasutilassa eteeniä vai ei. Ne eivät siis kerro ilman absoluuttista eteenipitoisuutta. Indikaattori voi olla lasiputki, jonka läpi imetään riittävä määrä tutkittavaa ilmaa. Jos ilma sisältää eteeniä, reagenssien väri putkissa muuttuu. Reagenssi eteeniä tutkittaessa voivat olla palladiumsulfaatti ja ammoniummolybdaatti. Menetelmää käytettäessä tarvitaan riittävän suuri ilmatila sekä erillinen pumppu, joka imee tutkittavaa ilmaa indikaattoriputken läpi. [Nykänen 2009: 31–32.]

Työssä käytettiin Dräger-merkkisiä indikaattoriputkia sekä Accuro-pumppua (kuva 4). Pumppu on pieni, painoltaan noin 250 gramman käsikäyttöinen paljepumppu. Se soveltuu hyvin lyhytaikaisiin kenttämittauksiin. Pumppu imee kerrallaan 100 ml ($\pm 5\%$) kaasua, joka vastaa yhden pumppauksen tilavuutta. Pumppauksia voidaan joutua toistamaan useita kertoja, riippuen mitä kaasua ollaan mittaamassa. Pumpussa on laskuri, joka mittaa painalluksien määrän mittauksen helpottamiseksi. Mitattaessa pumpun palje painetaan kokonaan kasaan, minkä jälkeen pumppu imee tutkittavan kaasun indikaattoriputken läpi pumpun kammioon, kun palje vapautetaan. [Dräger-Tubes & CMS Handbook 2018: 28–29.]



Kuva 4. Dräger Accuro-pumppu sekä indikaattoriputki [Dräger-Tubes & CMS Handbook 2018: 29].

Indikaattoriputkina käytettiin eteenin ilmaisinputkia, joiden mittausalue on 200–5 000 ppb ($\pm 15\text{--}30\%$). Mittauksen kesto on noin 30 minuuttia ja putkien väri muuttuu vaaleankeltaisesta siniharmaaksi, jos tutkittavassa näytteessä on eteeniä. Reagenssi-

na putkissa on käytetty palladium(Pd)-molybdaattikompleksia. Reaktioperiaate on seuraavanlainen:



Putket toimivat 10–40 °C:n lämpötilassa, korkeintaan 90 %:n suhteellisessa kosteudessa. [Dräger-Tubes & CMS Handbook 2018: 163.]

4.2 Mikrobien määrittäminen ilmasta

Mikrobien määrää ilmasta voidaan tutkia keräimien avulla, joista yleisimpiä ovat impaktorikeräimet. Niiden toiminta perustuu ilman pumppaamiselle keräimessä reiitettyjen levyjen läpi sarjalle maljoja tai kuivakeräyslevyjä. Yleisesti ilman mikrobiologista laatua tutkitaan 6-vaiheisella Andersen-impaktorikeräimellä, joka koostuu kuudesta reikälevystä joiden alle asetetaan elatusainetta sisältävä petrimalja. Isoimmat hiukkaset paiskautuvat ylimpään keräinlevyyn, pienempien hiukkasten jatkaen matkaa alempiin keroksiin. Se mille alustalle mikrobit kiinnittyvät, riippuu siis hiukkasten koosta. [Salkinoja-Salonen 2002: 703–704.]

6-vaiheisen Andersen-impaktorikeräimen lisäksi on olemassa muitakin keräimiä, kuten 1-vaihekeräin, joka ei kuitenkaan ole kovin yleisesti käytössä ilmanlaatututkimuksissa. 1-vaihekeräimessä on yksi taso, joka vastaa 6-vaihekeräimen alinta tasoa. Yhdysvaltalaiset ja hollantilaiset tutkimukset ovat osoittaneet, että 1-vaihekeräinten havaittu vastaavan tarkkuudessaan tavallista 6-vaihekeräintä. [Herva & Hokkanen 2011: 15,18.] Myös Hervan ja Hokkasen [2011: 31] tutkimuksessa osoitettiin, että 1-vaihekeräin on tarkka ja käyttökelpoinen työkalu kenttätutkimuksissa tutkittaessa sisäilman mikrobiipitoisuutta.

Työssä käytettiin RGF® Environmental Groupin ilmamikrobikeräintä RGF Commercial Air Sampler. Laite toimii sähköllä, lähes samalla periaatteella, kuin Andersen-impaktorikeräimet, eli se imee tutkittavasta tilasta ilmaa, jolloin ilman mikrobit kiinnittyvät keräimeen asetettuun elatusainetta sisältävään petrimaljaan reiitetyn levyn läpi. Työssä käytetyssä keräimessä on yksi taso petrimaljalle, joten se on periaatteeltaan samankaltainen kuin 1-vaihekeräin. Erona 1-vaihekeräimeen on se, että laitteessa ei ole ulkoista pumppua ja tilavuusvirransäädintä.

Laitteen valmistaja ohjeistaa putsamaan alustan ja kannen denaturoidulla alkoholilla, jonka väliin petrimalja asetetaan. Alkoholilla annetaan haihtua kokonaan ennen keräyksen aloittamista. Petrimalja asetetaan laitteeseen aseptisesti, minkä jälkeen keräys voidaan aloittaa. Laite ottaa ilmaa 100 litraa/min ($\pm 5\%$) keräysajan ollessa 5 minuuttia. [Commercial Air Sampler Operation Manual 2003.]

5 Kokeellinen osa

5.1 Mittaukset tukussa

Mittaukset tehtiin hedelmä- ja vihannesosastolla (hevi-osastolla) Heinon pikatukun Koi-vuhaan toimipisteessä Vantaalla. Paikka valikoitui mittauspaikaksi, koska Heinon Tuku pystyi järjestämään mittauksille sopivat tilat. Mittaukset aloitettiin kesäkuun ensimmäisellä viikolla, yhteensä mittauksia tehtiin kolmen viikon ajan. Ensimmäisellä mittausviikolla kartoitettiin hevi-osaston ilmanlaatua mikrobihiukkaspitoisuuksien ja eteenipitoisuuden kannalta. Toisella mittausviikolla hevi-osastolla oli käytössä ilmanpuhdistimet, jolloin tiloissa suoritettiin samat mittaukset kuin ennen ilmanpuhdistimien asennusta. Kolmas mittausviikko oli vajaa kaksi kuukautta ensimmäisen mittausviikon jälkeen, jolloin haluttiin kontrolloida mikrobi- ja eteenipitoisuuksia ilmasta, kun ilmanpuhdistimet olivat olleet päällä vajaa kaksi kuukautta.

Hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen vaikuttavat myös ilman lämpötila ja suhteellinen kosteus, joten myös näitä arvoja seurattiin tutkimuksen ajan. Eteenipitoisuutta, lämpötilaa sekä suhteellista kosteutta mitattiin PID-mittarilla. Bakteeri- ja sieninäytteet kerättiin mikrobikeräimellä.

5.1.1 Tutkimusolosuhteet

Hevi-osastolla ei ollut havaittu varsinaisia sisäilmaongelmia, tai hedelmien ja vihannesten nopeaa pilaantumista. Hevi-osaston tilavuus oli noin 450 m^3 ja se koostui yhdestä nelikulmion muotoisesta alueesta, jonka sivut olivat noin 8 ja 18,5 metriä pitkiä. Tilassa oli kaksi noin 1,5 metriä leveää heiluriovea, jotka johtivat tukun lämpimiin tiloihin. Molemmat ovet olivat vapaasti tukun asiakkaiden ja henkilökunnan käytössä. Tilassa oli

käytössä koneellinen ilmanvaihto, jossa oli yksi kanava tuloilmalle. Tilan molemmissa päissä oli laitteistot, jotka jäähdyttivät hevi-osaston ilmaa.

Hevi-osaston tuotevalikoima koostui kattavasti erilaisista vihanneksista ja hedelmistä. Jotkut tuotteista, kuten salaattit, kurkut ja yrtit oltiin pakattu erillisiin muovipakkauksiin, iso osa hedelmistä ja vihanneksista oli irtonaisina pahvilaatikoissa. Tuotteet olivat alkuperämaaltaan suurimmaksi osaksi Suomesta ja Alankomaista. Valikoimaan kuului muun muassa tomaatteja, kurkkuja, sipuleita, perunoita, erilaisia juureksia, salaatteja, yrttejä, omenoita, päärynöitä, sitrushedelmiä, marjoja, kaaleja, paprikoita sekä eksoottisia hedelmiä. Tuotteet oli pyritty sijoittamaan tilaan niin, että eteenille herkat kasvikset eivät olleet paljon eteeniä tuottavien kasvisten lähellä. Hevi-osaston työntekijän mukaan myydyimmät tuotteet ovat myynnissä noin 1–3 päivää, harvinaisempien tuotteiden myyntiaika voi olla pidempi, riippuen tuotteiden menekistä.

5.1.2 Mittauspisteiden valinta

Eteenin, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittauspiste valittiin tomaattilaatikoiden läheisyydestä. Mittauksia varten tomaattilaatikoiden yläpuolinen asennettiin hylly (kuva 5). Mittauspisteen valintaan vaikuttivat tieto tomaatin suhteellisen runsaasta eteenin tuotannosta sekä hevi-osaston tilat. Laitteet ja sähköjohdot tuli sijoittaa turvallisesti, ja niin etteivät ne häiritse tilassa tapahtuvaa päivittäistä toimintaa. Eteenin ollessa ilmaa kevyempää kaasua, haluttiin mittauspiste asettaa mahdollisimman korkealle. Kuvassa 5 näkyy PID-mittarin paikka sijoitettuna tomaattien yläpuolelle. Kuvassa 5 näkyvät myös retikkalaatikot, joiden paikka oli mittauspisteen alla sekä vasemmalle sijoitetut kurkkulaatikot. PID-mittarin anturi suojattiin PID-mittarin maahantuojan suosituksesta kankaalla, sen ollessa lähellä hedelmiä ja vihanneksia, jotta ilmassa mahdollisesti oleva eteenikaasu ei vaurioittaisi mittarin anturia.



Kuva 5. Mittauspiste eteenin, lämpötilan ja suhteellisen kosteuden mittaamiseen.

Mikrobeille oli kaksi erillistä keräyspistettä. Molemmista pisteistä kerättiin erikseen sekä ilman bakteerit että sienet. Ensimmäinen keräyspiste oli tomaattien vieressä porrastikailla. Kuvasta 6 näkee, että mikrobikeräin oli sijoitettu heti PID-mittarin alapuolelle.



Kuva 6. Mikrobin keräyspiste tomaattien vieressä.

Toinen keräyspiste oli hyllyllä lähellä luomutuotteita. Kuvassa 7 näkyy lähimpänä keräintä olevat luomuparsakaalit ja -sitruunat, sekä hieman kauempana olevat luomuhedelmät, kuten omenat.



Kuva 7. Luomutuotevalikoima lähellä mikrobikeräintä.

Kuva 8 osoittaa, että hyllylle sijoitettu keräyspiste oli hyvin lähellä puntareita, joita asiakkaat käyttivät paljon myös keräyksen aikana.



Kuva 8. Vasemmalla mikrobikeräimen paikka luomuhyllyllä.

5.1.3 Mittausten toteutus

Eteenipitoisuutta, lämpötilaa ja suhteellista kosteutta mitattiin Gray Wolf-merkkisellä PID-mittarilla. Mittari asennettiin mittauspisteelle ensimmäisellä ja toisella mittaussiviikolla aamuisin klo 06–06.30 ja mittari oli päällä jokaisena mittauspäivänä keskimäärin 7 tuntia, noin klo 14.00 asti. Tietokone tallensi mittauservoja 10 minuutin välein, eli yhdestä päivästä mittauservoja saatiin reilu 40 kpl. Mittaustulokset siirrettiin Gray Wolf -sovelluksesta Excel-taulukkoon päivittäin. Toisella mittaussiviikolla PID-mittari oli päällä myös viikonlopun ajan, ja tuloksissa on esitetty lauantain ja sunnuntain mittaustuloksia klo 6–14 väliltä.

Kolmannella mittaussiviikolla PID-mittari oli päällä viitenä päivänä, koko vuorokauden. Mittaustulokset siirrettiin Excel-taulukkoon noin 24 tunnin välein. Tuloksissa käytettiin kuitenkin vain klo 6–14 mittauservoja, jotta tulokset olisivat verrattavissa ensimmäiseen ja toiseen mittaussiviikkoon.

Ennen mikrobikeräysten aloittamista mikrobeille määritettiin oikeanlaiset kasvuolosuhteet mikrobiologisia määrittämiä varten. Heinon Tukun hevi-osaston ilmasta tutkittiin kokonaisbakteeripitoisuus sekä sienten määrä. Määrittäminen tapahtui aikaisemmin esitellyl-

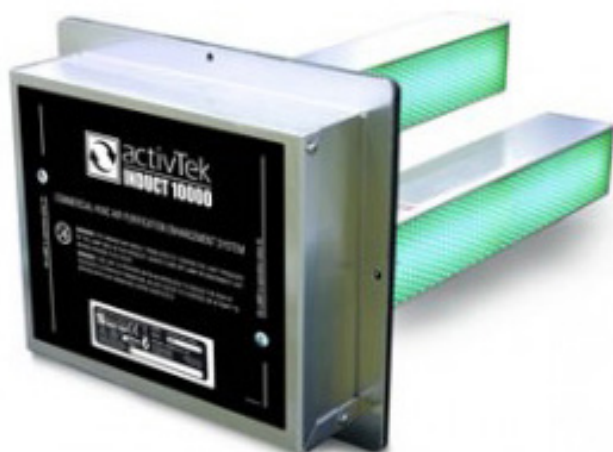
lä mikrobikeräimellä. Bakteereja kasvatettiin tryptoni-hiivauute-glukoosialustoilla (THG) ja sieniä mallasuuteagaralustoilla (M2). Alustat ostettiin valmiina Metropolilabista. Bakteereita ja sieniä kasvatettiin 7 vuorokautta noin +25 °C:ssa. Kasvatusolosuhteet eivät olleet täysin stabiilit, koska kasvatusmaljoja säilytettiin koko kasvatuksen ajan termokassissa. Kasvatustilapöytä pysyi kuitenkin noin 21–25 °C:ssa. Työssä päädyttiin edellä kuvattuun ratkaisuun, koska laboratorio-olosuhteita olisi ollut haasteellista järjestää tutkimusbudjetin ja -ajan puitteissa.

Mikrobinäytteiden keräys suoritettiin ensimmäisellä ja toisella mittausviikolla kaksi kertaa päivässä aamulla ja iltapäivällä. Aamumittaukset tehtiin klo 06–07 ja iltapäivämittaukset klo 12.30–14. Kolmannella mittausviikolla, vajaa kaksi kuukautta ensimmäisestä mittausviikosta, mikrobinäytteet kerättiin kerran päivässä aamuksi klo 06–07. Kaikki mikrobikeräykset tehtiin RGF[®] Environmental Groupin ilmapuhdistuslaitteella valmistajan ohjeen mukaisesti.

5.1.4 Ilmanpuhdistuslaitteet

Työssä käytettiin kahta erilaista ilmanpuhdistinta, ilmanvaihtokanavaan asennettavaa ilmanpuhdistinta sekä paikallispuhdistinta. Ilmanpuhdistimet asennettiin hedelmä- ja vihannesosastolle ensimmäisen mittausviikon jälkeen.

ActivTek on ilmanpuhdistimia valmistava yritys, jonka valmistamien ilmanpuhdistimien toiminta perustuu pääsääntöisesti fotokatalyyttiseen oksidaatioon. Yrityksen ActivTek Induct 10000 -ilmanpuhdistin asennetaan ilmanvaihtokanavaan ja se toimii verkkovirralla. Induct 10000 -ilmanpuhdistin poistaa puhdistettavasta ilmasta hajuja, VOC-yhdisteitä, pienhiukkasia sekä pintojen ja ilman mikrobeja. Valmistajan mukaan puhdistimessa käytetty tekniikka vähentää ilmasta myös viruksia, homeita, sekä terveydelle haitallisia allergeenejä. Puhdistimessa ei ole erillistä suodatinta. Ilmanvaihtokanavassa ilma kulkee tiiviin kennoston läpi, jossa voimakas 254 nanometrin UV-valo aktivoi reaktiiviset titaanioksidista valmistetut katalyytit, jolloin ilma puhdistuu fotokatalyyttisen oksidaation seurauksesta. Puhdas ilma ja myös fotokatalyyttisen oksidaation tuottamat aktiiviset hapettajat kulkeutuvat ilmanvaihdon kautta huonetilaan. Ilmanpuhdistimessa on kaksi vaihdettavaa UV-lamppua, muita kuluvia osia laitteessa ei ole. Valmistajan mukaan laite puhdistaa noin 3 000 m³:n alueen tunnissa. Kuvassa 9 on nähtävissä ActivTek Induct 10000 -ilmanpuhdistimen rakenne. [ActivTek.]



Kuva 9. ActivTek Induct 10000 -ilmanpuhdistin [ActivTek.]

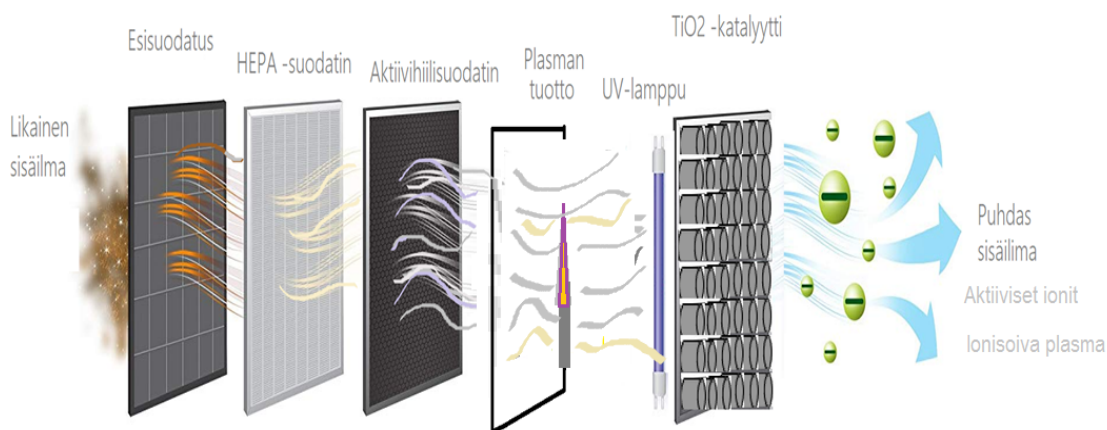
ActivTek Induct 10000 -ilmanpuhdistin asennettiin hevi-osaston ilmanvaihtokanavaan kuvan 10 mukaisesti. Puhdistettu ilma kulki ilmanvaihtokanavan läpi haluttuun tilaan.



Kuva 10. ActivTek Induct 10000 -ilmanpuhdistimen asennus ilmanvaihtokanavaan.

Toinen käytetty ilmanpuhdistin ActivTek AP3000 -yhdistelmäpuhdistin on tarkoitettu sijoitettavaksi esimerkiksi pöydälle tai hyllylle ja se toimii verkkovirralla. ActivTek AP3000 -yhdistelmäpuhdistimen teho perustuu useaan eri tekniikkaan. Laitteessa on

kolme erilaista suodatinta eri hiukkasko'oilte. Esisuodatin, joka kerää isoimmat hiukkaset, HEPA-suodatin eli hiukkassuodatin, joka suodattaa pienemmät hiukkaset sekä aktiivihiilisuodatin, joka suodattaa kaasuja ja hajuja. Lisäksi puhdistimen teho perustuu fotokatalyyttiseen oksidaatioon sekä plasmasuodatukseen. [ActivTek AP3000.] Tutkimuksissa plasmasuodatus yhdistettynä fotokatalyyttiseen oksidaatioon on osoitettu poistavan tehokkaasti ilman epäpuhtauksia, kuten pienhiukkasia [Hyvärinen ym. 2017: 50]. Fotokatalyyttisen oksidaation tekniikka on puhdistimessa samanlainen, kuin edellä esitettyssä ActivTek Induct 10000 -ilmanpuhdistimessa. Kuvassa 11 on esitetty puhdistimen eri tekniikat. Puhdistimessa on viisi eri puhdistusnopeutta, joista suurin nopeus kattaa puhdistamaan valmistajan mukaan noin 280 m²:n alueen. [ActivTek AP3000.]



Kuva 11. ActivTek AP3000 -yhdistelmäpuhdistimen eri tekniikat. [Yhdistelmäpuhdistin, Energia-konsultit].

ActivTek AP3000 -yhdistelmäpuhdistin asetettiin hevi-osastolla PID-mittarin kanssa samalle hyllylle. Yhdistelmäpuhdistin oli päällä suurimmalla puhdistusteholla.

5.2 Kammiomittaukset ja säilyvyytestit

Kammiomittauksissa tutkittiin, kuinka tehokkaasti fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistin laskee ilman eteenipitoisuutta suljetussa tilassa, jossa säilytetään hedelmiä ja vihanneksia. Eteenipitoisuuksia mitattiin erillisessä kammiossa, jossa pystyttiin kontrolloimaan mittausolosuhteita tukun olosuhteita tarkemmin. Kammiossa ei ollut erillistä ilmanvaihtoa, ihmisiä, ylimääräisiä kemikaaleja tai muita mittauksia häiritseviä tekijöitä. Kammioon tuotettiin eteeniä säilömällä siellä hedelmiä ja vihanneksia,

kuten omenoita, tomaatteja ja banaaneja. Omenoita oli keskimäärin 12, tomaatteja 5 ja banaaneja 2 kappaletta. Tuotteita ei vaihdettu kesken mittauksen, mutta homehtuneet tuotteet poistettiin tarvittaessa kammiosta, jotta homeitiöt eivät vaurioittaisi PID-mittarin sensoreita.

Kammiomittaukset toteutettiin polypropeenista (PP) valmistetussa muovilaatikoissa, jonka tilavuus oli 130 litraa. Kammiota säilytettiin toimistotiloissa, jonka lämpötila oli keskimäärin 22–25 °C. Kammion ilmanvaihtona toimi laatikon ja kannen välissä olevat ilma-aukot, jotka johtivat toimistohuoneen ilmatilaan.

Kammiosta mitattiin lämpötilaa, suhteellista kosteutta sekä eteenipitoisuutta. Kaikki mittaukset tehtiin PID-mittarilla. Kammion ilmasta ei tutkittu mikrobipitoisuuksia. Kaikki mittaukset suoritettiin ennen fotokatalyyttisen ilmanpuhdistuksen käyttöä sekä ilmanpuhdistinlaitteen ollessa käytössä. Käytetty laite oli ActivTek AP3000 -yhdistelmäpuhdistin. PID-mittari oli päällä koko vuorokauden ajan, arvot siirrettiin Excel-taulukkoon kerran vuorokaudessa. Tietokone tallensi mittausarvoja 10 minuutin välein.

Säilyvyydestä tehtiin, jotta saatiin tietoa siitä, miten fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistin vaikuttaa hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen ja laadullisiin ominaisuuksiin säilytyksen aikana. Säilyvyydestejä varten hankittiin kaksi tilavuudeltaan 60 litran muovista (PP) kannellista säilytyslaatikkoa. Toiseen säilytyslaatikkoon asennettiin ActivTeki AP 3000 -yhdistelmäpuhdistin. Laatikot puhdistettiin ennen käyttöönottoa desinfiointiaineella. Molemmissa laatikoissa säilöttiin omenoita, tomaatteja, banaaneja ja kurkkuja, joiden laatua seurattiin aistinvaraisesti. Kaikki tuotteet olivat ostettaessa laadultaan kunnossa, ehjiä ja syötäväksi kelpaavia. Hedelmät ja vihannekset kuvattiin joka arkipäivä, ja tuotteet tarkastettiin silmämääräisesti.

Koska laatikot olivat pieniä, tuotteet jouduttiin sijoittamaan laatikoihin osittain päällekkäin. Testien aikana kannet olivat hieman raollaan, jotta laatikoihin pääsee ilmaa ympäröivästä tilasta. Laatikot säilytettiin toimistotiloissa noin 23 °C:ssa.

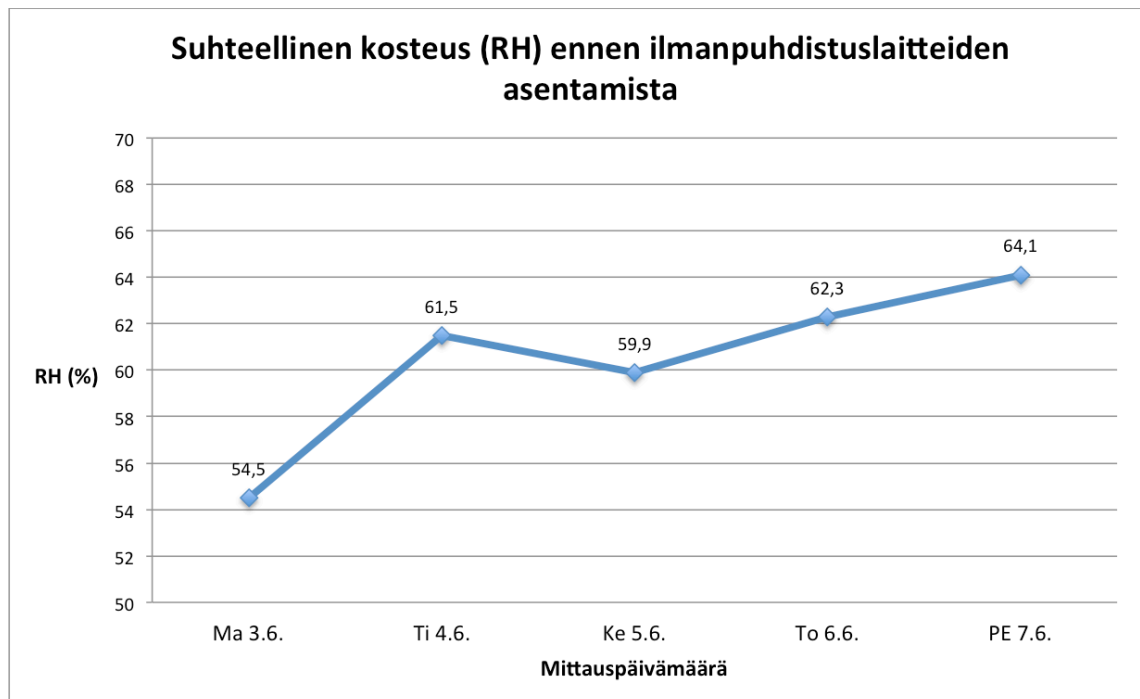
Lisäksi säilyvyydesteihin hankituista laatikoista mitattiin eteenipitoisuutta Drägerin indikaatioputkilla. Eteenipitoisuudet mitattiin valmistajan ohjeen mukaan. Mittauspäivänä hedelmiä ja vihanneksia oltiin säilytetty laatikossa seitsemän vuorokautta. Toisessa

laatikossa oli käytössä ActivTek AP3000 -yhdistelmäpuhdistin, jolla pyrittiin vähentämään hedelmien ja vihannesten tuottamaa eteenipitoisuutta ilmasta.

6 Tulokset ja tulosten tarkastelu

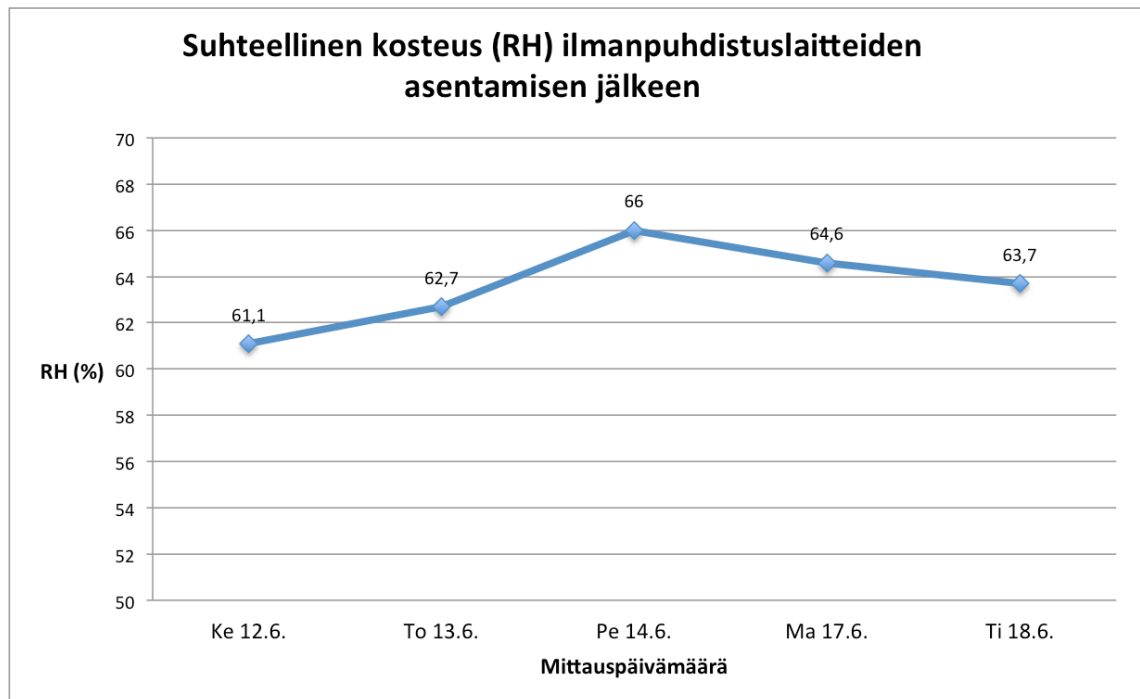
6.1 Suhteellinen kosteus ja lämpötila tukussa

Ensimmäisellä mittausviikolla hedelmä- ja vihannesosaston suhteellinen kosteus pysyi tasaisesti 54–65 %:ssa. Kuvassa 12 on esitetty hevi-osaston suhteellisen kosteuden vaihtelu eri mittauspäivinä.



Kuva 12. Hevi-osaston suhteellisen kosteuden keskiarvot ensimmäisellä mittausviikolla.

Toisella mittausviikolla, ilmanpuhdistimien asennuksen jälkeen suhteellinen kosteus pysyi tasaisesti yli 60 %:ssa. Kuvassa 13 on esitetty toisen mittausviikon hevi-osaston suhteellisen kosteuden vaihtelun keskiarvot eri mittauspäivinä.



Kuva 13. Hevi-osaston suhteellisen kosteuden keskiarvot toisella mittausviikolla.

Mittauspäivinä mitatut suhteellisen kosteudet ovat hedelmien ja vihannesten optimaalisen säilytyksen kannalta melko matalia, tosin tuotteiden kierto tukussa on nopeaa. Esimerkiksi tomaatit ja kurkut ovat keskimäärin tukussa myynnissä muutamia päiviä ennen asiakkaille siirtymistä, joten voidaan olettaa että noin 60 %:n suhteellinen kosteus tilassa ei merkittävästi vaikuta tuotteiden säilyvyyteen.

Lämpötila pysyi sekä ennen ilmanpuhdistimien asentamista että asentamisen jälkeen tasaisesti 11–13 °C:ssa. Lämpötila on optimaalinen isolle osalle hedelmistä ja vihanneksista. Ilmanpuhdistimien käyttö tilassa ei vaikuttanut lämpötilaan. Myös heinäkuussa suoritetuissa kontrollimittauksissa suhteellinen kosteus pysyi keskimäärin 60–70 %:ssa ja lämpötila 11–13 °C:ssa.

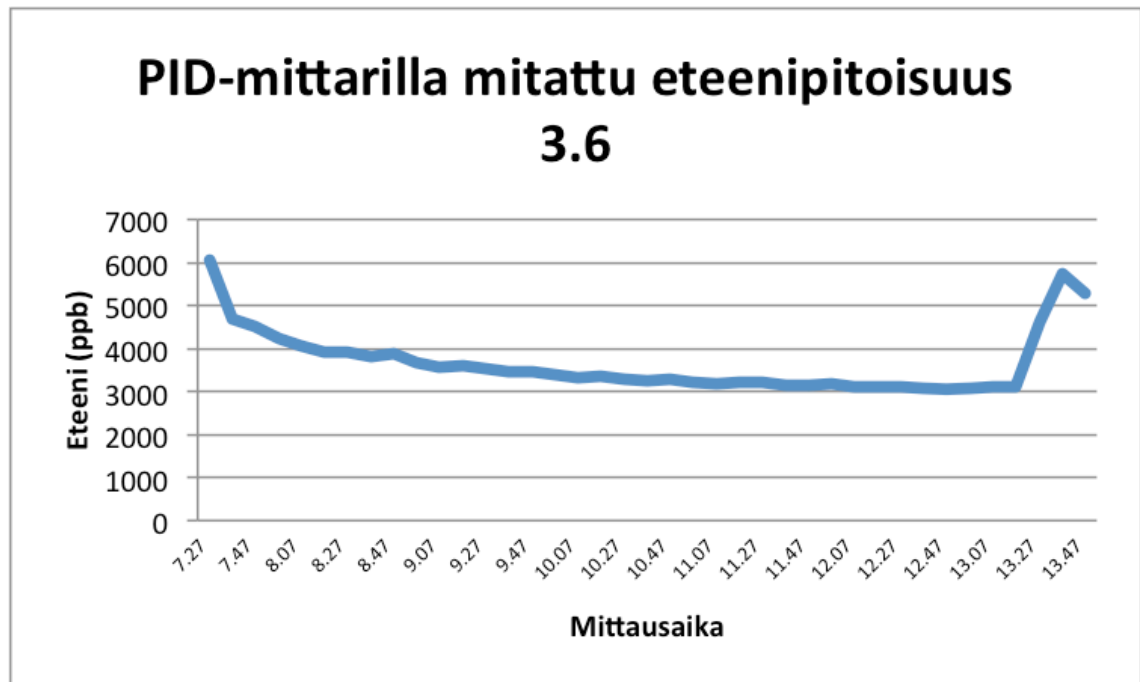
Kirjallisuudesta tiedetään, että korkea yli 90 %:n suhteellinen kosteus on optimaalinen useille hedelmille ja vihanneksille niiden säilyvyyden kannalta [Pascall 200: 405]. Tulosten mukaan hevi-osaston suhteellinen kosteus ei noussut eikä laskenut fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän vaikutuksesta, joten sillä ei tulosten mukaan pystytä vaikuttamaan suhteellisen kosteuteen. Jos tilan ongelmana on liian matala suhteellinen kosteus, ei fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä ilman-

puhdistusjärjestelmä ole optimaalinen ratkaisu parantaa hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä, toisaalta taas se ei myöskään lyhennä tuotteiden säilytysaikaa laskemalla suhteellista kosteutta.

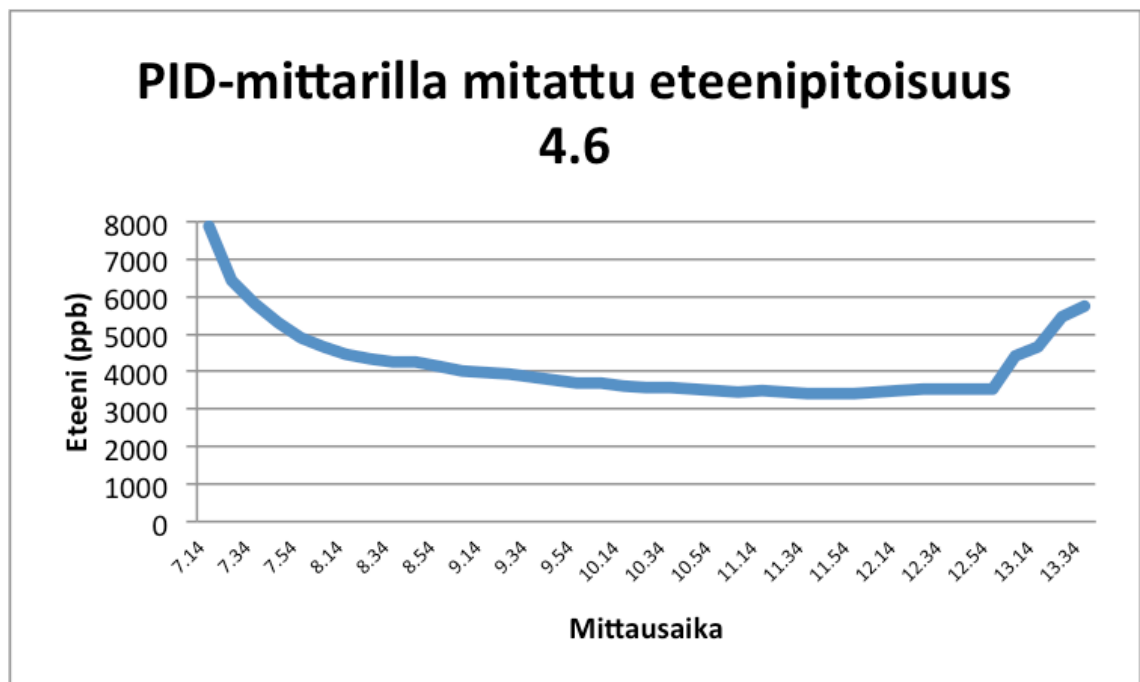
6.2 Eteenipitoisuudet tukussa

Ennen ilmanpuhdistimien asentamista PID-mittarilla mitatut eteenipitoisuudet pysyivät mittauspäivästä riippumatta noin 3 000–4 000 ppb:ssä. Koska PID-mittari on hyvin herkkä, nousivat tulokset mittausta aloittaessa ja lopetettaessa, jonka voidaan olettaa johtuneen mittaajan läsnäolosta. Kuvat 14, 15, 16, 17 ja 18 osoittavat, että mittauspäivien erot eteenipitoisuuksien suhteet olivat hyvin pienet PID-mittarilla mitattaessa.

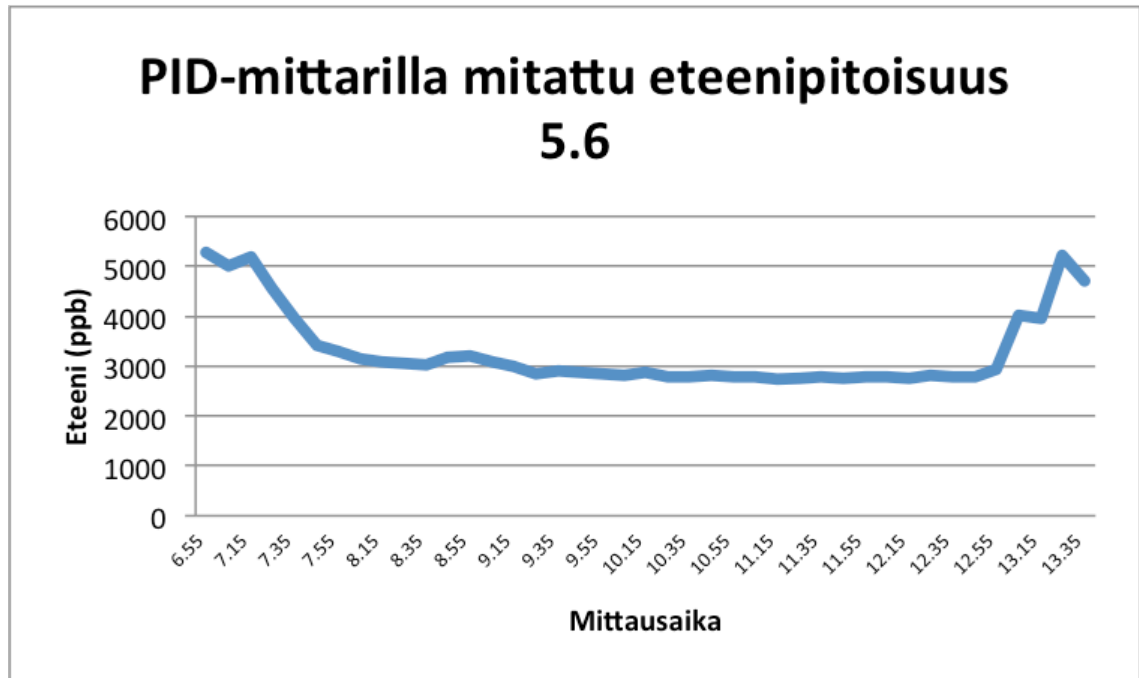
Vaikka tulokset onkin ilmoitettu tarkkoina ppb-arvoina, tulee mittaustuloksia tulkitessa huomioida, että menetelmä ei mittaa tietyn kaasun pitoisuuksia, vaan saatu ppb-arvo muodostuu käytetyn kalibrointikaasun isobutyleenin vasteen mukaan, korjauskertoimen antaessa suuntaa antavan tuloksen. Mittausmenetelmällä saadut tulokset ovat kuitenkin soveltuvia tätä työtä varten, koska työssä oli tarkoitus tutkia fotokatalyyttisestä oksidaatiosta johtuvaa muutosta ilman eteenipitoisuudessa, ei tarkkoja pitoisuuksia.



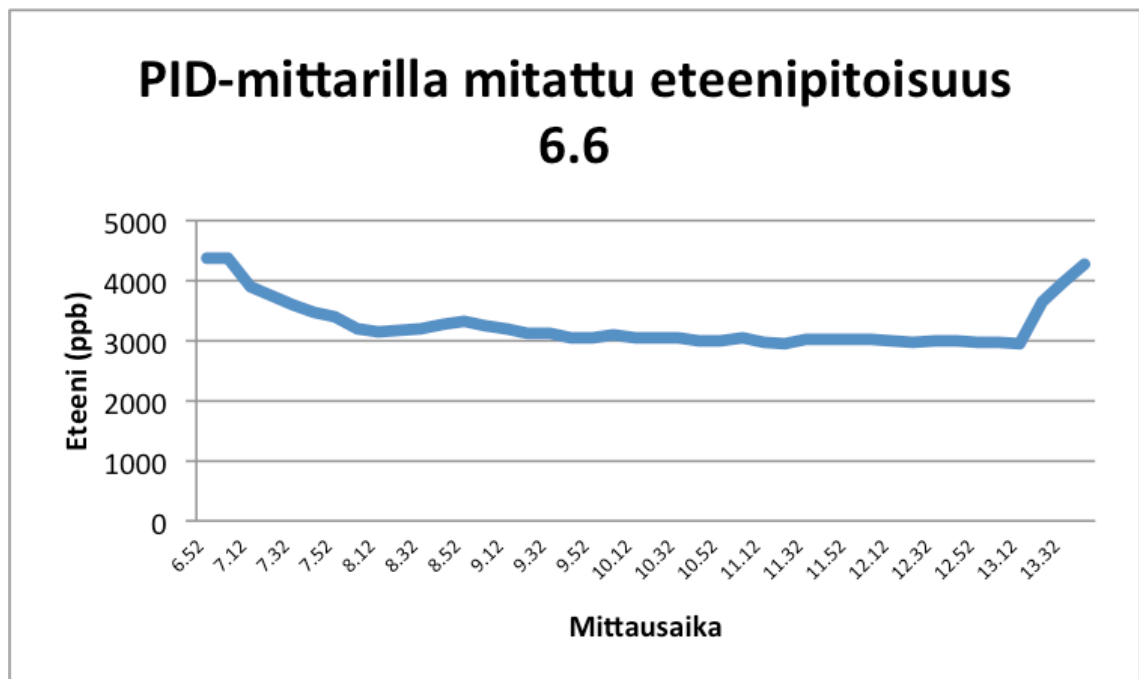
Kuva 14. Hevi-osaston eteenipitoisuus maanantaina 3.6.2019 klo 7–14 ennen ilmanpuhdistimien asentamista.



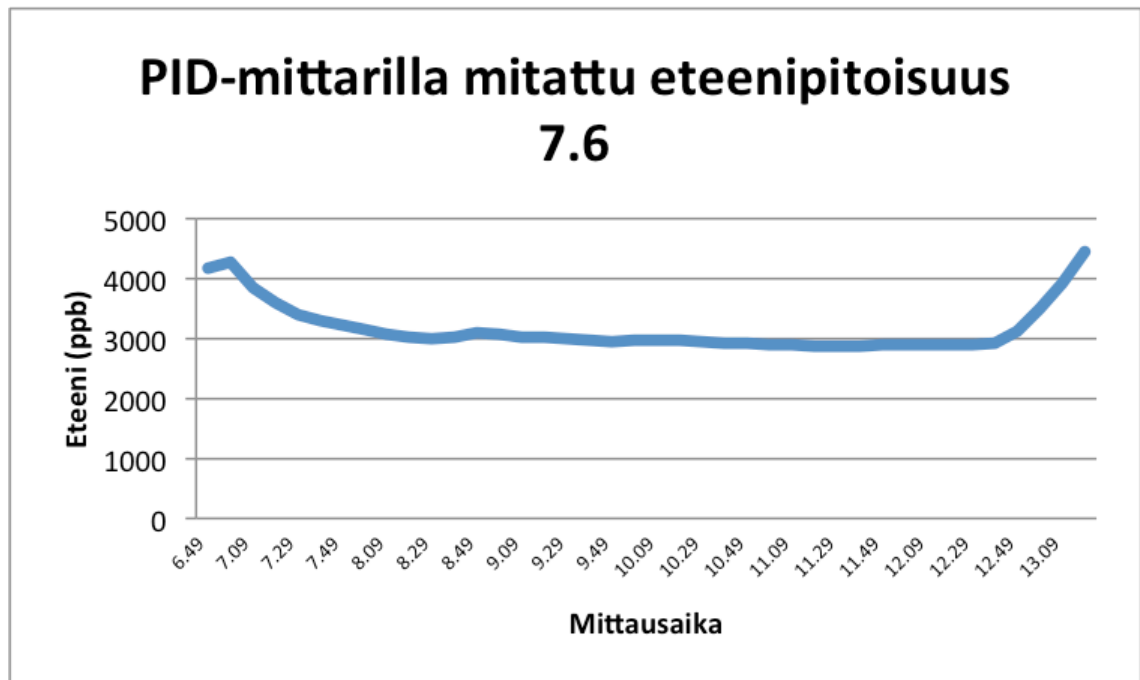
Kuva 15. Hevi-osaston eteenipitoisuus tiistaina 4.6.2019 klo 7–14 ennen ilmanpuhdistimien asentamista.



Kuva 16. Hevi-osaston eteenipitoisuus keskiviikkona 5.6.2019 klo 6–14 ennen ilmanpuhdistimien asentamista.

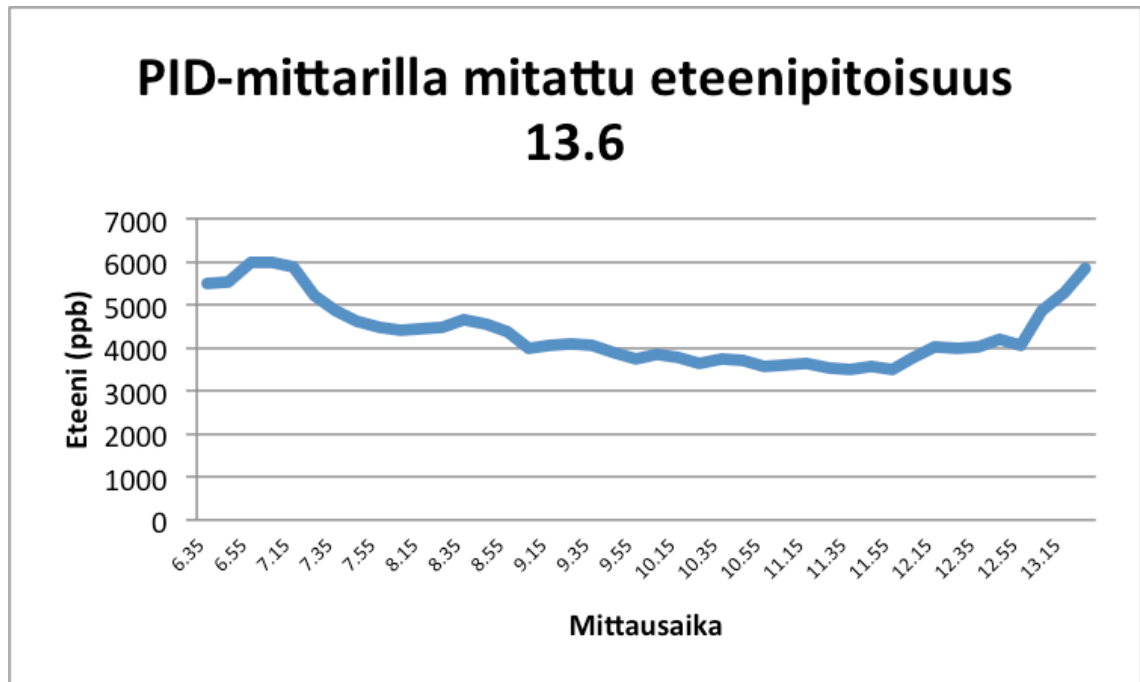


Kuva 17. Hevi-osaston eteenipitoisuus torstaina 6.6.2019 klo 6–14 ennen ilmanpuhdistimien asentamista.

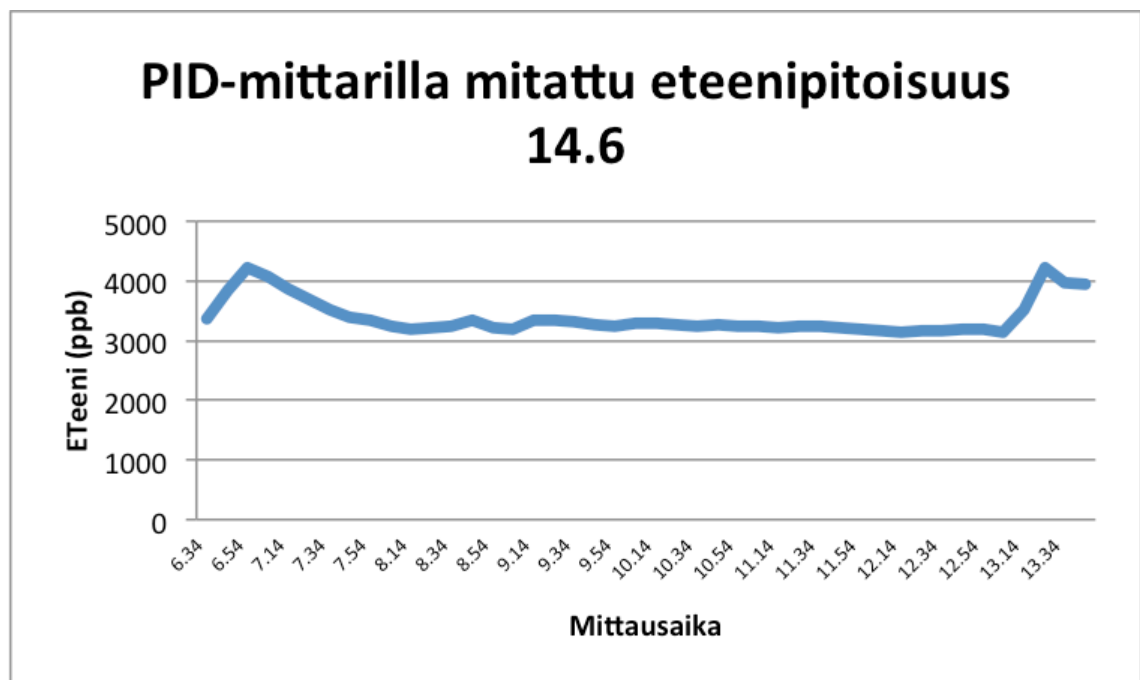


Kuva 18. Hevi-osaston eteenipitoisuus perjantaina 7.6.2019 klo 6–14 ennen ilmanpuhdistimien asentamista.

Ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen PID-mittarin mitaamat eteenipitoisuudet pysyivät lähes samalla tasolla, kuin ennen ilmanpuhdistimien asentamista. Pitoisuudet pysyivät melko tasaisesti 3 000–4 000 ppb:ssä. Mittausten alituksessa ja lopetuksessa ilmeni taas pitoisuuspiikki, kuten kuvat 19, 20, 23 ja 24 osoittavat. Piikin voidaan olettaa johtuneen PID-mittarin herkästä reagoinnista mittaajan läsnäoloon.



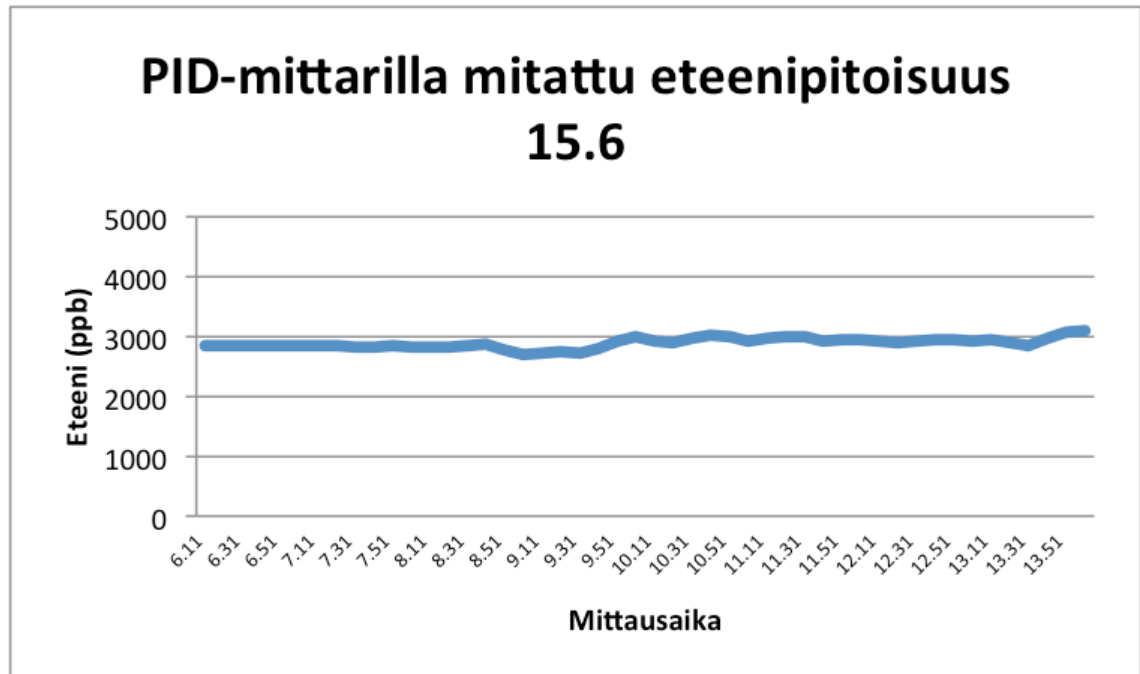
Kuva 19. Hevi-osaston eteenipitoisuus torstaina 13.6.2019 klo 6–14 ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen.



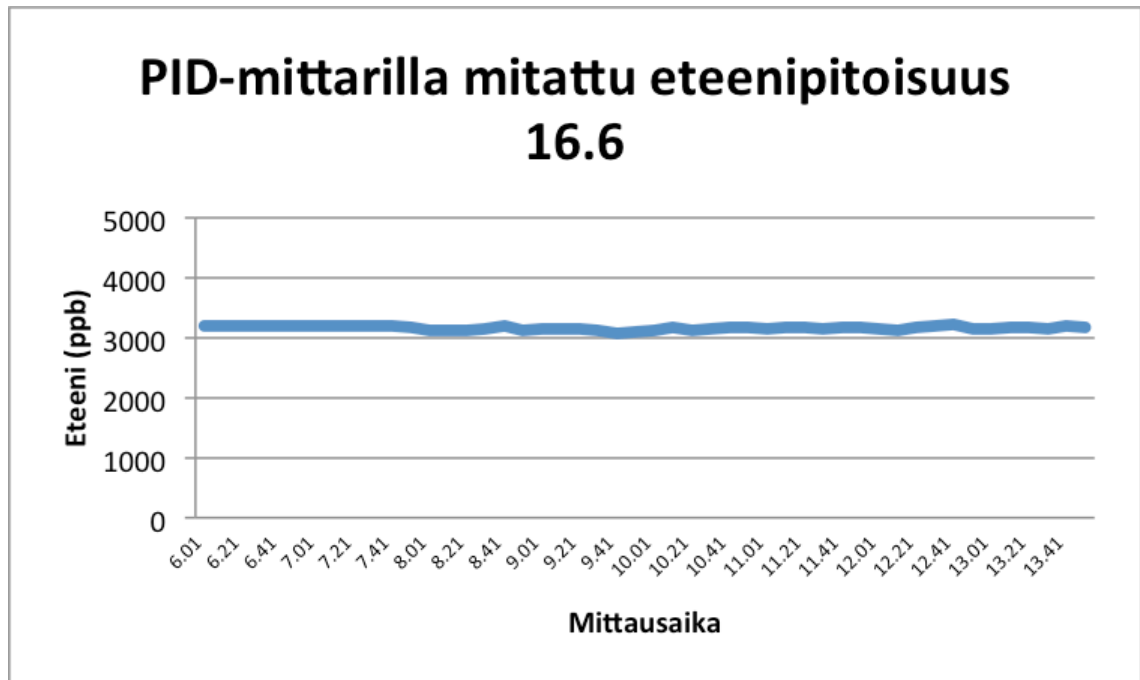
Kuva 20. Hevi-osaston eteenipitoisuus perjantaina 14.6.2019 klo 6–14 ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen.

Viikonloppuna mitatut eteenipitoisuudet pysyivät todella tasaisina, arvojen ollessa tasanaisesti noin 3 000 ppb, kuten kuvat 21 ja 22 osoittavat. Viikonloppuna mitatuissa ar-

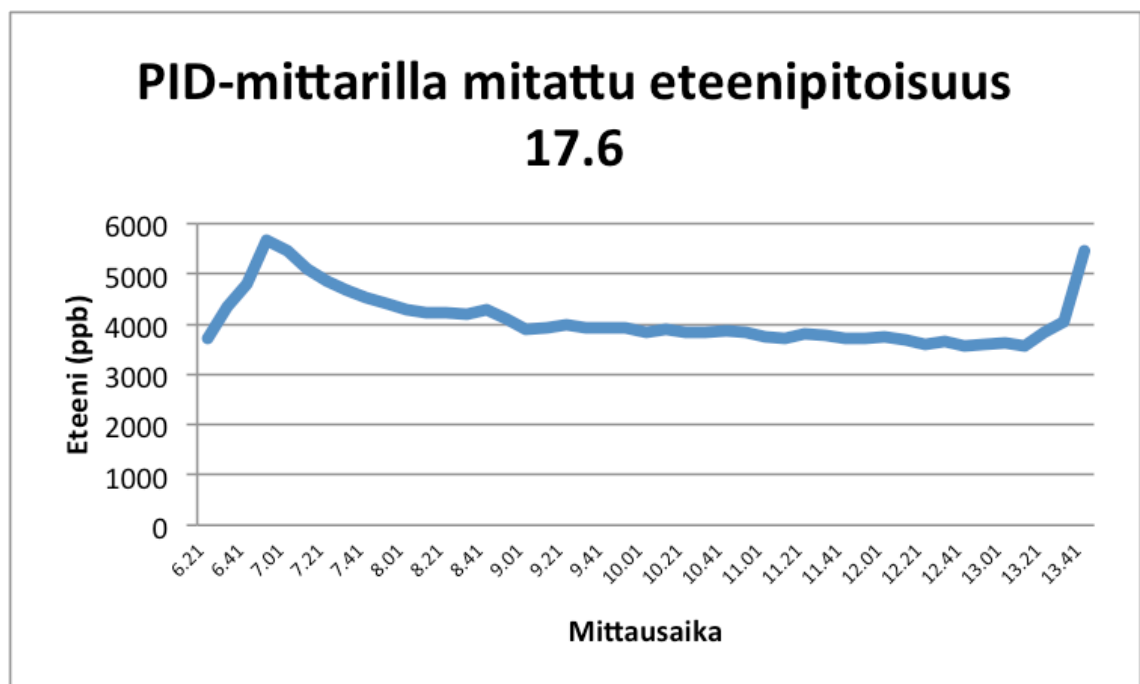
voissa ei näkynyt pitoisuuksien nousuja, joka johtunee siitä, ettei mittarin lähellä ollut ihmisiä mittausten aikana.



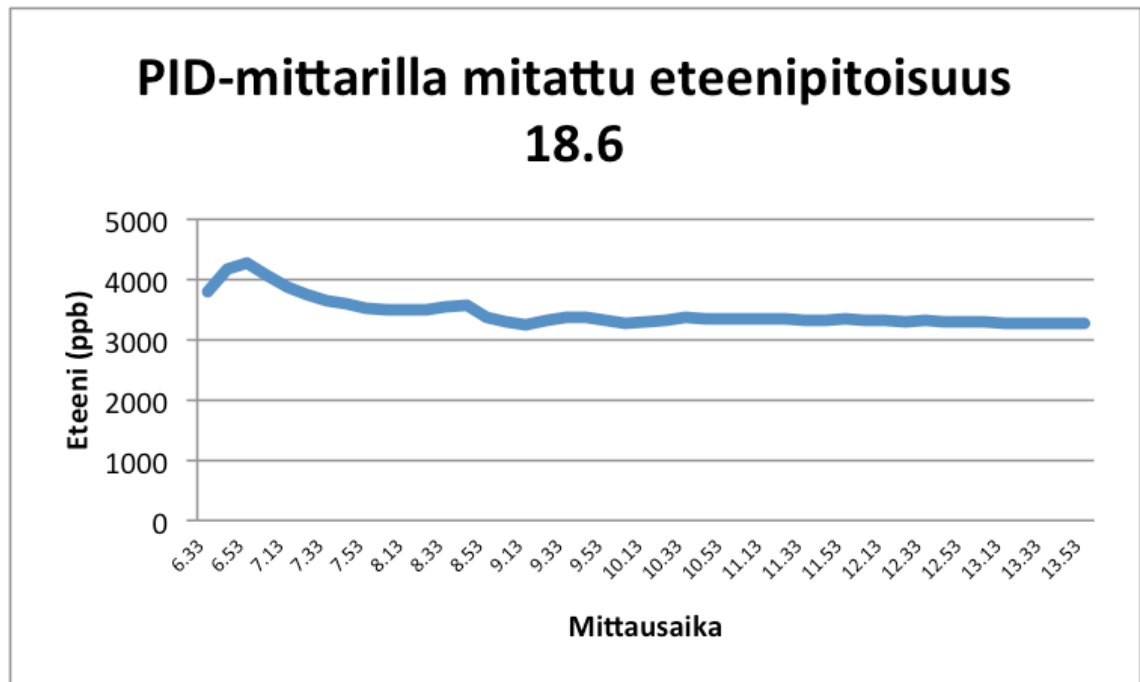
Kuva 21. Hevi-osaston eteenipitoisuus lauantaina 15.6.2019 klo 6–14 ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen.



Kuva 22. Hevi-osaston eteenipitoisuus sunnuntaina 16.6.2019 klo 6–14 ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen.



Kuva 23. Hevi-osaston eteenipitoisuus maanantaina 17.6.2019 klo 6–14 ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen.



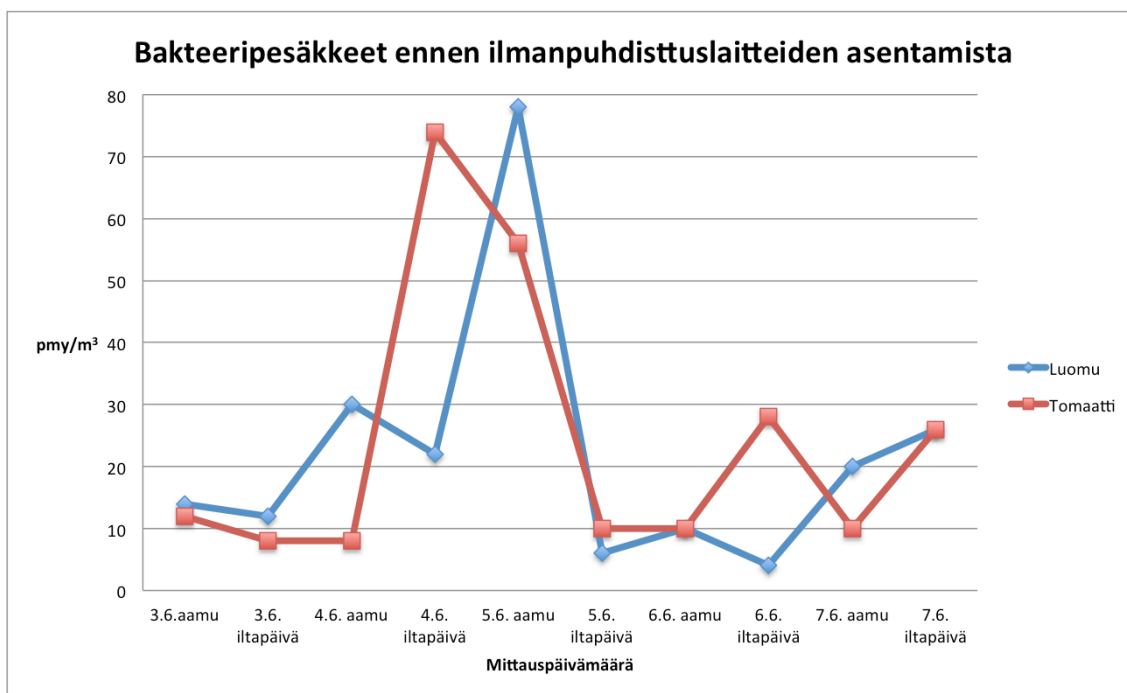
Kuva 24. Hevi-osaston eteenipitoisuus tiistaina 18.6.2019 klo 6–14 ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen.

Hedelmä- ja vihannesosastolla tehtiin kontrollimittauksia heinäkuun puolessa välissä. Myös kontrollimittauksissa eteenipitoisuudet pysyivät hyvin tasaisesti noin 3000 ppb:ssä. Teollisuusilman ja muiden kuin toimistotyyppisten sisäympäristöjen TVOC-pitoisuuden ollessa $>300\text{--}1000\ \mu\text{g}/\text{m}^3$, voidaan pitoisuutta pitää kohtuullisena [Tuomi ym. 2012: 4]. Tukussa mitattu TVOC-pitoisuus oli keskimäärin $600\text{--}800\ \mu\text{g}/\text{m}^3$ sekä ennen että jälkeen ilmapuhdistimen asennusta. Koska TVOC- ja eteenipitoisuudet olivat kohtuullisen alhaisia koko tutkimusjakson aikana, voidaan todeta, että tilassa oli riittävä ilmanvaihto ja näin ollen fotokatalyyttisen oksidaation vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen ei voitu osoittaa.

6.3 Bakteeripitoisuudet tukussa

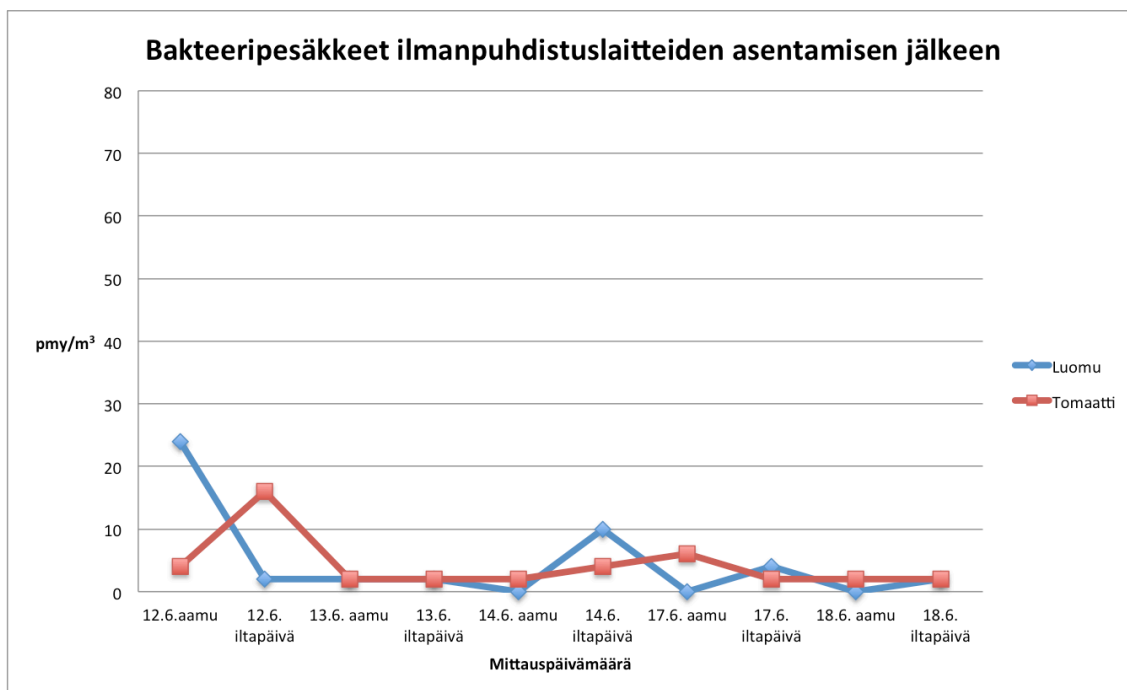
Bakteeripesäkkeet laskettiin THG-kasvatusalustoilta 7 vuorokauden kasvatuksen jälkeen. Keräyspisteet sijaitsivat tomaattien vieressä porrastikkailta, sekä erillisellä hyllyllä lähellä luomutuotteita. Kokonaisbakteeripitoisuudet vaihtelivat ennen ilmanpuhdistimien asentamista, ollen pääsääntöisesti $10\text{--}30\ \text{pmy}/\text{m}^3$. Mukana oli muutama korkeampi pitoisuuspiikki, jolloin pitoisuudet olivat $50\text{--}80\ \text{pmy}/\text{m}^3$. Kuva 25 osoittaa, että mittauspaikalla ei ollut merkittävää eroa bakteeripitoisuuksiin. Aamu- ja iltapäivän pitoisuudet

vaihtelivat niin ikään jonkin verran. Bakteereita oli päivästä riippuen välillä enemmän aamulla, välillä iltapäivällä.



Kuva 25. Hevi-osaston ilman bakteeripitoisuudet ensimmäisellä mittausviikolla.

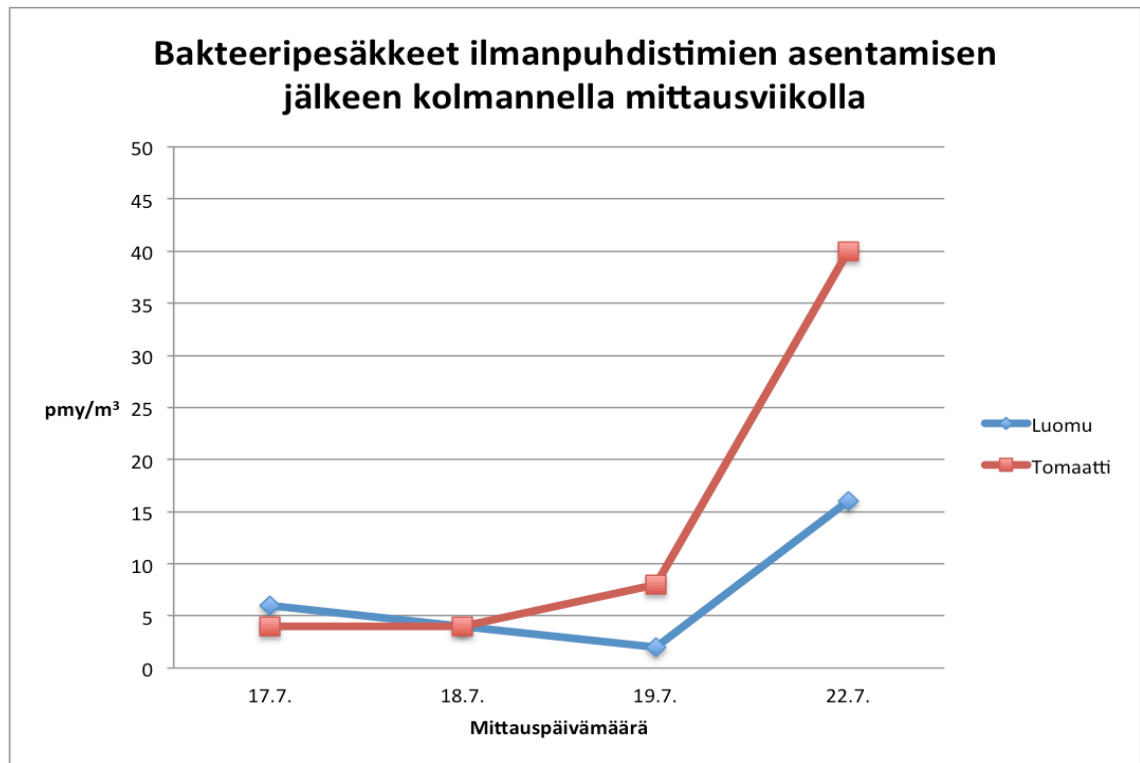
Ilmanpuhdistimien ollessa käytössä kokonaisbakteeripitoisuudet jäivät hyvin pieniksi, kuten kuva 26 osoittaa. Lähes jokaisena mittauspäivänä bakteeripitoisuudet olivat alle 10 pmy/m³. Aamun ja iltapäivän pitoisuudet liikkuvat samalla tasolla, eikä mittauspaikalla ollut juurikaan merkitystä pitoisuuksiin. Tuloksen perusteella voidaan päätellä, että fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän käyttöönotto vähensi ilman bakteeripitoisuutta.



Kuva 26. Hevi-osaston ilman bakteeripitoisuudet toisella mittausviikolla.

Käytetyllä mikrobikeräimellä kerätyt bakteeripitoisuudet jäivät hyvin pieniksi hevi-osastolla. Tukussa on käytössä koneellinen ilmanvaihto ja tuotteet hevi-osastolla ovat laadukkaita, eikä niissä ole havaittu pilaantumisongelmia. Ensimmäisen ja toisen mittausviikkojen tulosten perustella voidaan todeta, että fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistusjärjestelmä alentaa ilman bakteeripitoisuutta, kuten tutkimukset aiheesta ovat osoittaneet. [Hyvärinen ym. 2017: 92].

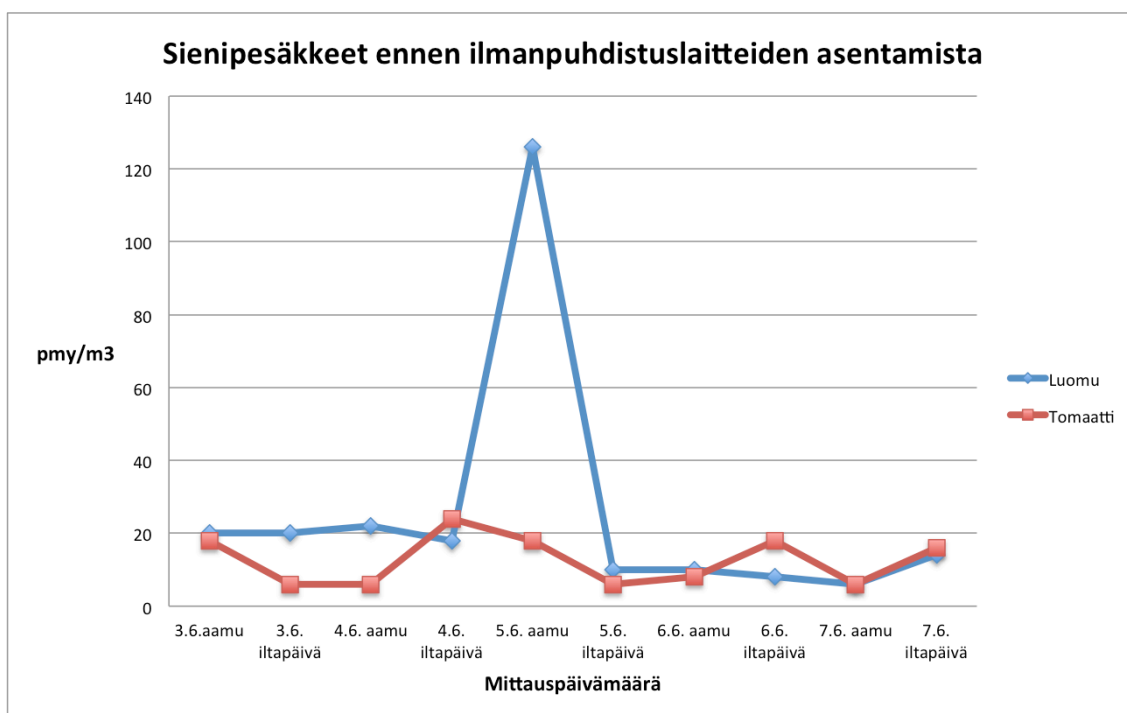
Myös kolmannen mittausviikon bakteeripitoisuudet hevi-osastolla jäivät pieneksi, kuten kuva 27 osoittaa. Ilmanpuhdistimien pidempiaikainen käyttö tilassa ei vaikuttanut mitausten tulosten perusteella bakteeripitoisuuksiin, joten voidaan päätellä, että bakteereita hajottavien aktiivisten hapettajien määrä huoneilmassa oli saavuttanut riittävän tason pitämään bakteeripitoisuudet alhaisina jo hyvin nopeasti puhdistimien asennuksen jälkeen.



Kuva 27. Hevi-osaston ilman bakteeripitoisuudet kolmannella mittausviikolla.

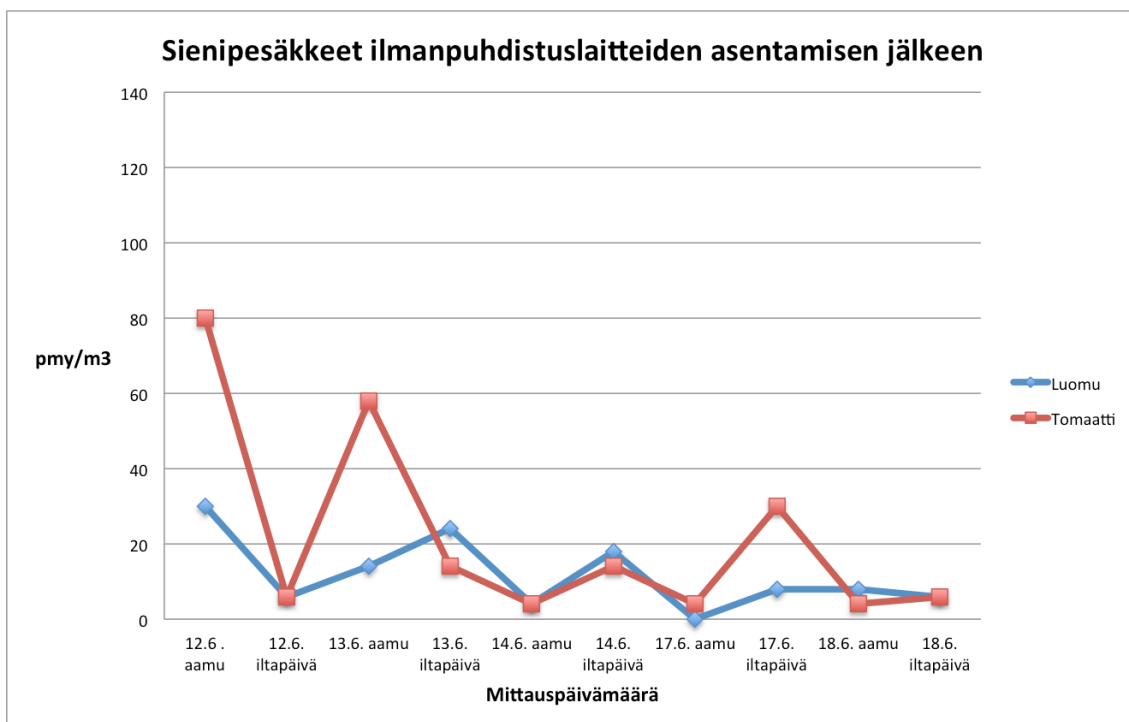
6.4 Sienipitoisuudet tukussa

Sienipesäkkeet laskettiin 2 %:n mallasagarkasvatusalustoilta seitsemän vuorokauden kasvatuksen jälkeen. Keräyspisteet olivat samat, kuin bakteereja kerättäessä. Sienipitoisuudet eivät nousseet korkealle muutamia pitoisuuspiikkejä lukuun ottamatta. Kuva 28 osoittaa, että ennen ilmanpuhdistimien asentamista sienipitoisuudet eri mittauspäivinä olivat pääsääntöisesti 4–20 pmy/m³. Vuorokaudenaika tai keräyspisteen paikka eivät merkittävästi vaikuttaneet sienipitoisuuksiin.



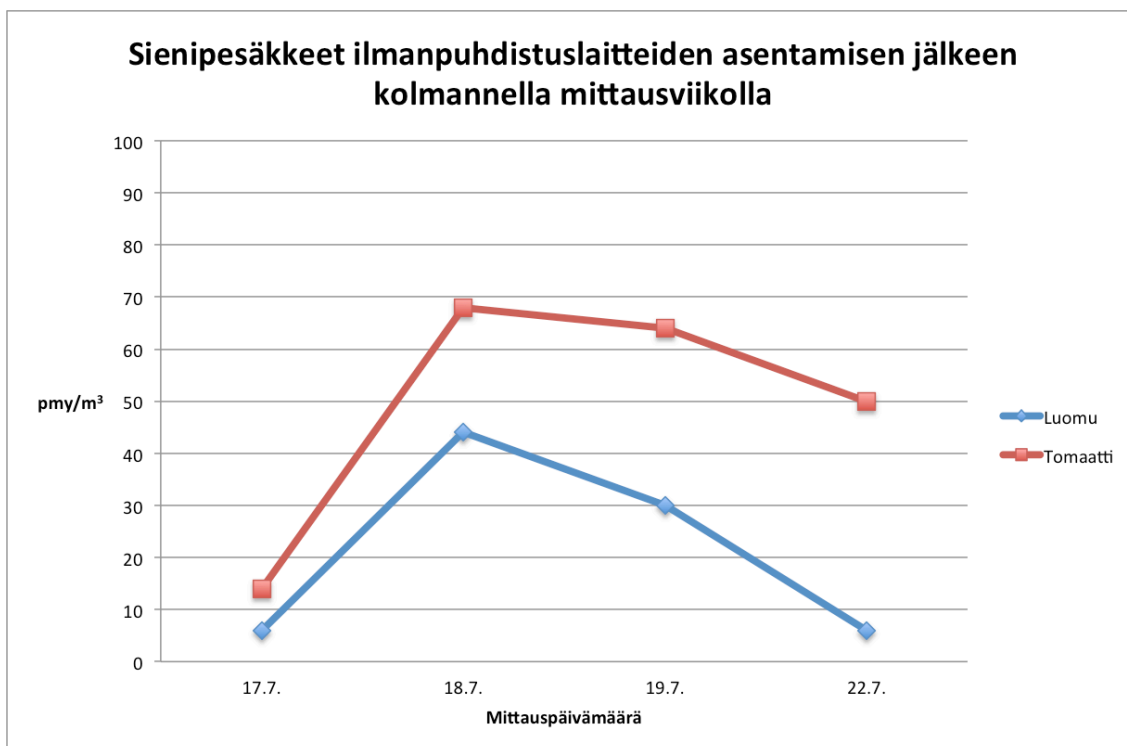
Kuva 28. Hevi-osaston ilman sienipitoisuudet ensimmäisellä mittausviikolla.

Ilmanpuhdistimien asentamisen jälkeen sienipitoisuudet olivat 0–30 pmy/m³ paria pitoisuuspiikkiä lukuun ottamatta, kuten kuva 29 osoittaa.



Kuva 29. Hevi-osaston ilman sienipitoisuudet toisella mittausviikolla.

Kolmannella mittausviikolla sienipesäkkeiden määrät olivat samankaltaisia kuin aikaisemmillä mittausviikoilla. Pesäkkeiden lukumäärä oli 6–70 pmy/m³. Tomaattipisteen lähellä olevan keräyspisteen pesäkemäärät olivat hieman korkeammat kuin luomuhyllyn pesäkemäärä, kuten kuvasta 30 voi nähdä.



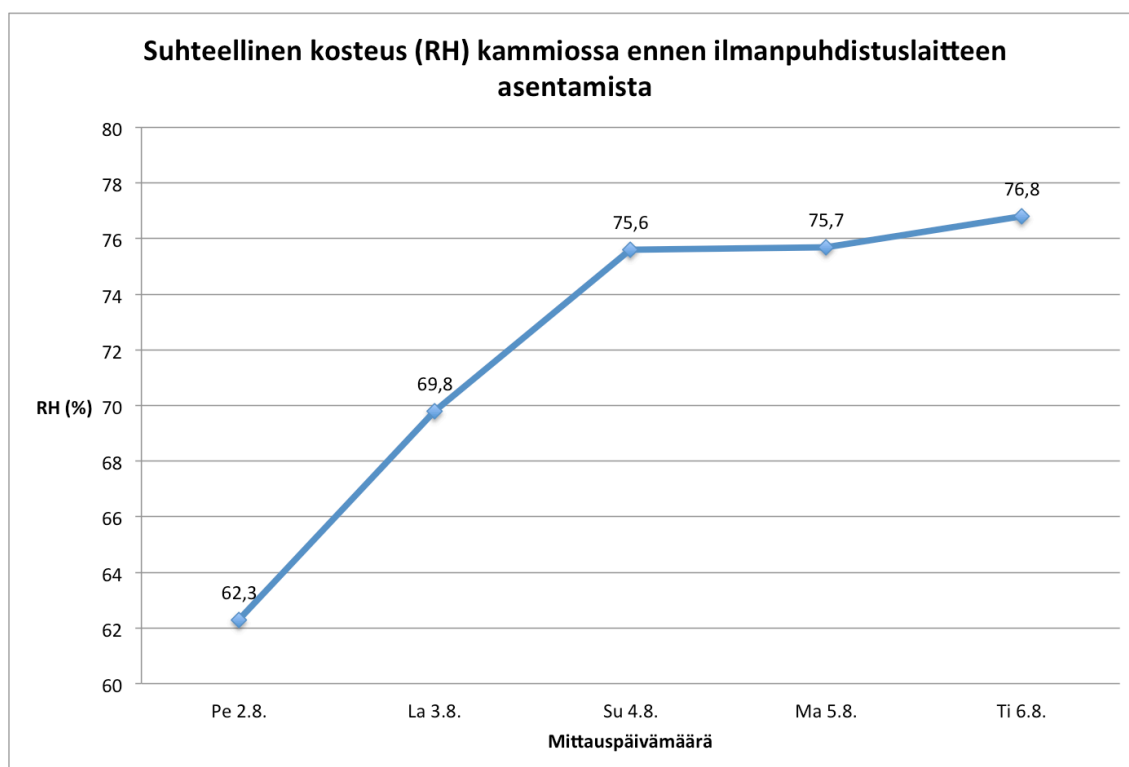
Kuva 30. Hevi-osaston ilman sienipitoisuudet kolmannella mittausviikolla.

Myös sienipitoisuudet jäivät melko pieniksi hevi-osastolla bakteeripitoisuuksien tapaan. Muutamia korkeampia pitoisuuspiikkejä on saattanut aiheutua esimerkiksi siitä, jos tilaan on jäänyt huomaamatta homeisia tuotteita. Tosin ilman sienipitoisuuksiin voi vaikuttaa esimerkiksi ulkoilman sienipitoisuus ja tilassa tapahtuva toiminta ennen mittausa ja sen aikana. Suurin osa sienipitoisuuksista eri mittauspäivinä oli alle 50 pmy/m³, minkä on tutkittu olevan korkein normaalitaso toimistorakennuksissa sieni-itiöille talvisin [Salonen 2009: 28].

Saadut tulokset ovat linjassa hevi-osaston tuotteiden silmin havaittavan laadun kanssa. Tuotteet tukussa eivät kärsi yleisesti näkyvistä homevaurioista. Myös koneellisen ilmanvaihdon voidaan olettaa pitävän ilman sienipitoisuudet hyvin maltillisina. Koska sienipitoisuudet olivat hyvin matalia koko tutkimuksen ajan, voidaan ajatella että sienipitoisuus ei missään vaiheessa ollut niin korkea, että se olisi vaikuttanut hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen. Jos sienipitoisuudet olisivat nousseet suuremmaksi, olisi pitoisuuksilla voinut olla enemmän vaikutusta tuotteiden laatuun ja sitä kautta säilyvyyteen. Fotokatalyyttisen oksidaation perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän tehokkuutta vähentää ilman sienipitoisuutta ei pystytty näiden tulosten perusteella osoittamaan.

6.5 Suhteellinen kosteus ja lämpötila kammiossa

Kammion suhteellinen kosteus ennen ilmanpuhdistimien asentamista nousi kolmena ensimmäisenä mittauspäivänä tasaisesti. Nousun selittää osin hedelmien ja vihannes-ten kosteuden haihtuminen. Kolmena viimeisenä mittauspäivänä suhteellinen kosteus jäi noin 75 %:n, kuten kuva 31 osoittaa. Lämpötila pysyi kammiossa mittausten ajan tasaisena noin 24–27 °C:ssa, joten lämpötilan lasku ei selitä suhteellisen kosteuden nousua. Kammiossa olevien kasvien haihuttama kosteus ja se, että kammioon pääsi melko vähän ulkopuolista ilmaa vaikuttivat mahdollisesti arvon nousuun.

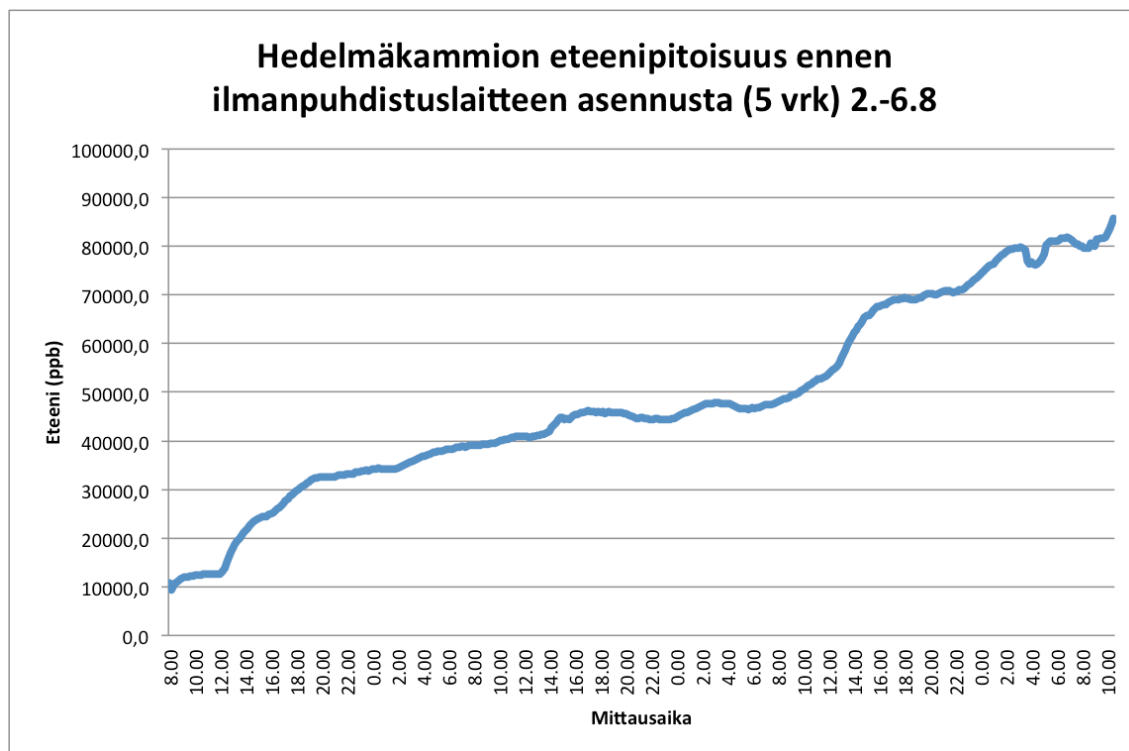


Kuva 31. Kammion suhteellisen kosteuden keskiarvot eri mittauspäivinä.

Ilmanpuhdistimen asentamisen jälkeen suhteellinen kosteus pysyi jokaisena mittauspäivänä tasaisesti noin 40 %:ssa. Fotokatalyyttinen oksidaatio käyttää ilman veden happea muodostaessaan puhdistavia happiradikaaleja, joten suhteellisen kosteuden voidaan olettaa laskeneen ilmanpuhdistimen asennuksen takia. Syy suhteellisen kosteuden laskuun johtui mitä ilmeisemmin pienestä tilasta sekä ilmanvaihdon puutteesta kammiossa. Lämpötila kammiossa oli noin 24–30 °C:tta ilmanpuhdistimen ollessa käytössä.

6.6 Eteenipitoisuudet hedelmäkammiossa

Ennen ilmanpuhdistimen asentamista PID-mittarin mittaama laskennallinen eteenipitoisuus nousi hyvin tasaisesti (kuva 32), käyden korkeimmillaan noin 85 000 ppb:ssä. Keskimäärin eteenipitoisuus nousi mittauksien mukaan 15 000 ppb vuorokaudessa.

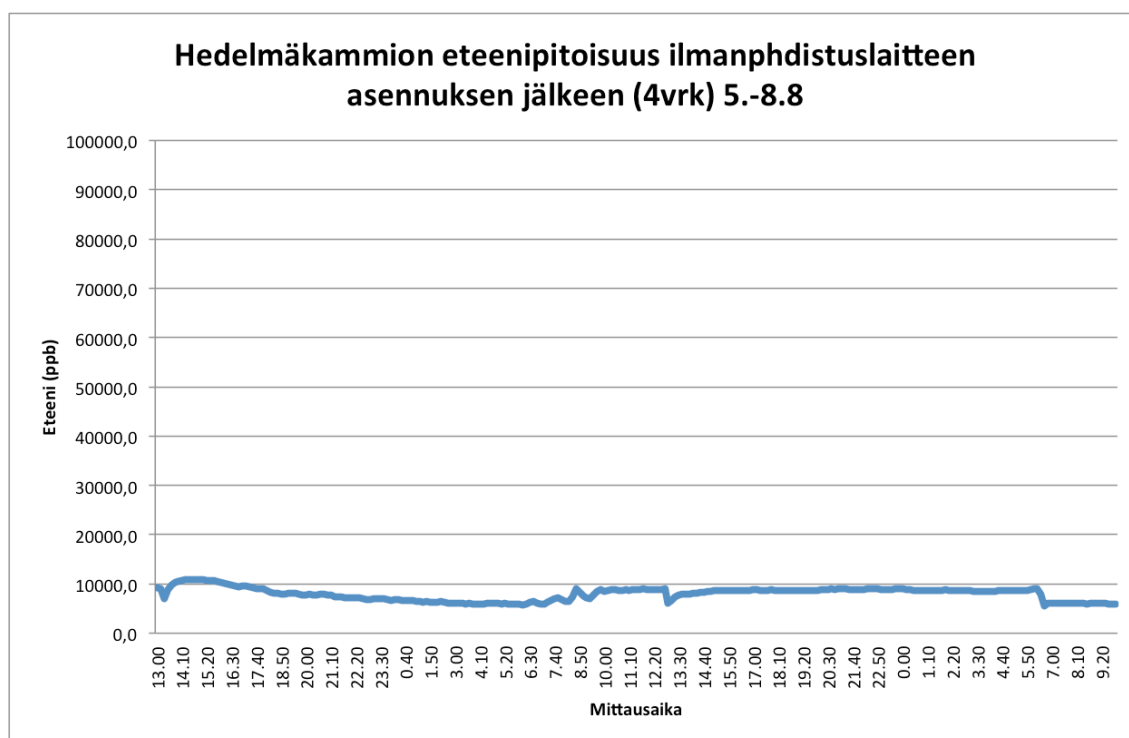


Kuva 32. PID-mittarilla mitatut eteenipitoisuudet kammiossa ennen ilmanpuhdistimen asentamista.

Kuten luvussa 2.2 todettiin, on tutkimuksissa osoitettu erilaisten hedelmävarastojen eteenipitoisuuksien olevan noin 21–1 400 ppb [Nykänen 2009: 27–28]. PID-mittarin antama 10 000–85 000 ppb:n tulos voidaan olettaa olevan todellista arvoa huomattavasti korkeampi. Tuloksesta kuitenkin nähdään, että eteenipitoisuus kasvaa mitä kauemmin hedelmät ja vihannekset kammiossa säilytetään. Myös suhteellisen korkea, noin 20 °C:n lämpötila nostaa tutkimusten mukaan eteenipitoisuutta [Agar ym. 2000; Keller ym. 2013: 5034].

Ilmanpuhdistimen asentamisen jälkeen PID-mittarin mittaama laskennallinen eteenipitoisuus pysyi alhaisena, keskimäärin 5 000–10 000 ppb:ssä, kuten kuva 33 osoittaa. Pitoisuus ei lähtenyt missään vaiheessa jyrkkään nousuun. Mittaustulos on hyvin matala verrattuna puhdistamattoman ilman tulokseen. Eteenipitoisuus laski enimmillään

lähes 90 prosenttiyksikköä ilmanpuhdistimen ollessa käytössä, verrattuna puhdistamattomaan ilmaan.



Kuva 33. PID-mittarilla mitatut eteenipitoisuudet kammiossa ilmanpuhdistimen asentamisen jälkeen.

Myös eteeniä mittaavilla indikaattoriputkilla saatujen tulosten mukaan fotokatalyyttinen oksidaatio vähentää eteenipitoisuutta suljetussa tilassa, jossa on säilytetty hedelmiä ja vihanneksia. Tilassa jossa ei ollut käytetty fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävää ilmanpuhdistinta, indikaattoriputken antama eteenipitoisuus oli noin 500 ppb. Puhdistetun tilan eteenipitoisuus ei yltänyt indikaattoriputkella mitattavalle tasolle.

PID-mittarin ja indikaattoriputkien antamien eteenipitoisuuksien lukuarvojen erot olivat hyvin suuret, PID-mittarin antaessa korkeimmillaan jopa 85 000 ppb:n eteenipitoisuuden, indikaattoriputken mittaaman suurimman eteenipitoisuuden ollessa 500 ppb. Saatut tulokset eivät ole näin ollen vertailukelpoisia.

Sekä PID-mittarin että indikaattoriputkien antamien tuloksien perusteella voidaan todeta, että fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuva ilmanpuhdistin vähentää ilman eteenipitoisuutta tiloissa, joissa säilytetään hedelmiä ja vihanneksia ja näin ollen pidentää hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä.

6.7 Säilyvyydestestin tulokset

Hedelmien ja vihannesten säilyvyydestestit lopetettiin 8 vuorokauden säilytyksen jälkeen. Säilytyslaatikossa, jossa ei ollut käytössä ilmanpuhdistinta osa tuotteista säilyi laadukaina. Omenat säilyivät kiinteinä, ehjinä ja normaalin värisinä. Osassa tomaateista alkoi kasvamaan runsaasti hometta, osa taas säilyi ehjinä ja kiinteinä. Myös kurkun pinnalla kasvoi jonkin verran hometta ja kurkun väri kellastui kauttaaltaan.

Omenat ja tomaatit säilyivät aistinvaraisesti arvioituna laadukkaina säilytyslaatikossa, jossa oli käytössä fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä puhdistin. Ne säilyivät kiinteinä, ehjinä ja ne säilyttivät normaalin värinsä. Banaanit ja kurkut kärsivät pitkästä säilytysajasta ja yli 20 °C:n säilytyslämpötilasta, ja niiden väri sekä koostumus muuttuivat. Banaanit pehmenivät ja ruskistuivat sekä kurkku kellastui. Tuoksu säilytyslaatikoissa säilyi raikkaana koko testin ajan, eikä laatikosta päässyt ulkopuoliseen ilmaan epämiellyttäviä hajuja. Missään tuotteissa ei ollut silminnähtävää hometta. Kuvassa 34 vasemmalla on puhdistamattoman laatikon hedelmät ja vihannekset 8 vuorokauden säilytyksen jälkeen. Oikealla kuvassa 34 näkyy laatikon hedelmät 8 vuorokauden säilytystestin jälkeen, kun käytössä on ollut fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä ilmanpuhdistin.



Kuva 34. Säilyvyydestien hedelmät 8 vuorokauden säilytyksen jälkeen.

Tuloksien perustella fotokatalyyttisellä oksidaatiolla on vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen suljetussa tilassa. Laadullisesti hedelmät ja vihannekset säilyivät melko tasalaatuisina molemmissa säilytyslaatikoissa. Suurin ero puhdistetun ja puhdistamattoman laatikon välillä oli tuoksussa ja homeen määrässä. Puhdistamattoman laatikon ilman tuoksu oli voimakas ja epämiellyttävä, kun taas puhdistetussa laatikossa ei esiintynyt epämiellyttävää hajua. Säilyvyydestissä todettiin näkyvää homeita olevan vähemmän tilassa, jossa on käytetty fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvaa ilmanpuhdistinta. Myös tutkimustulokset aiheesta ovat osoittaneet että fotokatalyyttinen oksidaatio vähentää ilman homepitoisuuksia [Hyvärinen ym. 2017: 92].

7 Yhteenveto

Insinööriyössä tutkittiin fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvan ilmanpuhdistusjärjestelmän vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen vaikuttaviin tekijöihin. Mittauksia tehtiin sekä Heinin tukun hedelmä- ja vihannesosastolla sekä pienissä suljetuissa mittauskammiossa. Kammiomittauksia tehtiin, koska kammiossa pystyttiin kontrolloimaan paremmin mittausolosuhteita, kuin hedelmä- ja vihannesosastolla. Kammioidessa tehtiin myös säilyvyyttestejä, joissa pystyttiin vertailemaan hedelmien ja vihannesten säilyvyyttä puhdistamattoman ja puhdistetun tilan välillä.

Kammiomittausten tulosten perusteella fotokatalyyttiseen oksidaatioon perustuvalla ilmanpuhdistimella on vaikutusta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen ja säilyvyyteen vaikuttaviin tekijöihin. Ilman eteenipitoisuus pysyi selvästi matalammalla suljetussa tilassa, jossa säilytettiin hedelmiä ja vihanneksia, kun käytössä oli fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä ilmanpuhdistin. Eteenipitoisuus oli matalampi myös indikaattori-putkilla mitattaessa, ilmanpuhdistimen ollessa käytössä. Myöskään silminnähtävää hometta ei kasvanut hedelmien ja vihannesten pinnalla, kun ilmanpuhdistin oli käytössä, kun taas puhdistamattomassa kammiossa hometta oli selkeästi nähtävillä.

Heinin tukussa tehtyjen mittausten perustella todettiin, että bakteeripitoisuus ilmassa laski fotokatalyyttisen oksidaation vaikutuksesta. On kuitenkin muistettava, että ilmanäytteenoton aikana olosuhteet muuttuivat eri mittauskerroilla jonkin verran. Esimerkiksi ihmisten määrä tukussa saattoi vaikuttaa bakteeripitoisuuksien määrään mittaushetkellä. Myöskään bakteerien kasvatusolosuhteet eivät vastanneet laboratorioolosuhteita, mutta olivat kuitenkin niin stabiilit, kun tätä tutkimusta varten oli tarkoituksenmukaista järjestää. Toisaalta taas mikrobikeräykset toistettiin useana eri päivänä, mikä lisää tulosten luotettavuutta.

Heinin tukun hedelmä- ja vihannesosasto osoittautui tutkimuksen kannalta melko haastavaksi mittauspaikaksi, koska mitatut eteeni- ja mikrobipitoisuudet olivat koko tutkimuksen ajan jo melko matalia. Todennäköistä on, että tukun oma ilmastointijärjestelmä riitti pitämään tilan ilman hyvin puhtaana, eikä mikrobi- ja eteenipitoisuudet sen takia nousseet mittausten missään vaiheessa korkealle. Jos mittaukset olisi tehty tilassa, jossa on tiedossa hedelmien ja vihannesten säilyvyysongelmia, olisivat tulokset voineet antaa selkeämpää näyttöä fotokatalyyttisen oksidaation tehosta hedelmien ja vihannesten säilyvyyteen.

Tulosten perusteella fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävää ilmanpuhdistusjärjestelmää voitaisiin käyttää esimerkiksi tiloissa, joissa hedelmien ja vihannesten säilytysolosuhteet eivät ole niiden säilymisen kannalta täysin optimaaliset. Tällaisia paikkoja voisi olla esimerkiksi pienemmät elintarvikkeita myyvät liikkeet, kahvilat ja ravintolat. Tämän kaltaisissa tiloissa voi olla rajatut säilytystilat, eikä säilytystilojen lämpötilaa ja suhteellista kosteutta voida pitää täysin optimaalisena hedelmille ja vihanneksille. Tulevaisuudessa fotokatalyyttisen oksidaation vaikutusta voitaisiinkin tutkia myös tämänkaltaisissa tiloissa. Myös tarkempien mittauslaitteiden, kuten kaasukromatografian käyttö voisi antaa mielenkiintoista tietoa eteenipitoisuuksista sekä hedelmien ja vihannesten säilyvyydestä, kun käytössä on fotokatalyyttistä oksidaatiota hyödyntävä ilmanpuhdistusjärjestelmä.

Lähteet

ActivTek. Verkkoaineisto. ActivTek Poland. <<http://activtek.pl/urzadzenia-activtek-2/induct-10000/?lang=en>>. Luettu 25.6.2019.

ActivTek AP3000. Verkkoaineisto. ActivTek Environmental. <https://www.activtek.net/support/owners_manuals/AP3000_OwnersManual.pdf>. Luettu 31.7.2019.

Agar, I. Tayfun; Biasi, William V. & Mitcham, Elizabeth J. 2000. Temperature and Exposure Time during Ethylene Conditioning Affect Ripening of Bartlett Pears. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. Vol. , s. 165-170.

Asumisterveysopas. 2009. 3. korjattu painos. Pori: Ympäristö ja Terveys-lehti.

Bacillus cereus. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia-aiheuttavia-bakteereja/bacillus-cereus/>>. Luettu 8.7.2019.

Barkai-Golan, Rivka & Paster, Nachman (toim.). 2008. *Mycotoxins in Fruits and Vegetables*. First edition. San Diego: Academic Press is an imprint of Elsevier.

Belitz, H.-D.; Grosch, W. & Schieberle. 2009. *Food Chemistry*. 4th revised and extended Edition. Leipzig: Springer.

Björkroth, Johanna. 2009. Elintarvikkeille ominaiset pilaajamikrobit. Verkkoaineisto. Lääketieteellinen aikakausikirja Duodecim. <<https://www.duodecimlehti.fi/lehti/2009/6/duo97940>>. Luettu 8.7.2019.

Boyjoo, Yash; Sun, Hongqi; Liu, Jian; Pareek, Vishnu K. & Wang, Shaobin. 2017. A review on photocatalysis for air treatment: From catalyst development to reactor design. *Chemical Engineering Journal*. Vol 310, Part 2, s. 537-559.

Commercial Air Sampler Operation Manual. 2003. RGF Environmental Group.

Costarramone, N; Cantau, C; Desauziers, V; Pécheyran, C; Pigot, T & Lacombe, S. 2017. Photocatalytic air purifiers for indoor air: European standard and pilot room experiments. *Environmental Science and Pollution Research International*. Vol 24, s. 12538-12546.

Ding, Chang-Kui; Chachin, Kazuo; Hamazu, Yasunori; Ueda, Yoshinori & Imahori, Yoshihiro. 1998. Effects of storage temperatures on physiology and quality of loquat fruit. *Postharvest Biology and Technology*. Vol. 14, s. 309-315.

Dräger-Tubes & CMS Handbook. 2018. 18th Edition. Lübeck: Dräger Safety AG & Co. KGaA Verkkoaineisto. Dräger. <<https://www.draeger.com/Products/Content/tubes-hb-9092086-en.pdf>>. Luettu 14.8.2019.

Elintarviketurvallisuusvirasto Evira. Perunan vaalea rengasmätä. Verkkoaineisto. Vieraslajit. <<https://www.vieraslajit.fi/lajit/MX.63266/show>>. Luettu 8.7.2019.

Energiakonsultit. Verkkoaineisto. <<https://energiakonsultit.fi/>>. Luettu 23.7.2019.

Etyleeni. Verkkoaineisto. Kotimaiset kasvikset. <<https://kasvikset.fi/kasvitieto/kasvistensailytyksesta/etyleeni>>. Luettu 13.6.2019.

Fagerstedt, Kurt; Koivunen, Taina; Lindén, Leena & Santanen, Arja. 2008. Kasvioppi. Siemenestä satoon. Helsinki: Edita Prima Oy.

GrayWolf Specifications. 2016. Verkkoaineisto. GrayWolf solutions. <<http://www.wolfsense.com/pdf/specs/electrochemicals.pdf>>. Luettu 11.6.2019.

Hannukkala, Asko. Lehtipolte. Verkkoaineisto. Vieraslajit. <<https://www.vieraslajit.fi/lajit/MX.52910/show>>. Luettu 5.7.2019.

Hannukkala, Asko. 2011. Kasvitautilien hallinta luomivihannesviljelyssä. Verkkoaineisto. Luomutietoverkko. <https://www.luomu.fi/materiaalit/01_Tietokortit/Hannukkala_Vihannesten_taudit.pdf>. Luettu 25.6.2019.

Hannukkala, Asko. 2016. Kasvitautilien torjunta. Verkkoaineisto. Luonnonvarakeskus. <<http://ipm-oppaat.luke.fi/porkkana/kasvitautilien-torjunta#pahka>>. Luettu 25.6.2019.

Heino-konserni. Verkkoaineisto. Heino. <<https://heinontukku.fi/heinokonserni/#>>. Luettu 3.7.2019.

Herva, Tommi & Hokkanen, Veli-Matti. 2011. N6-yksivaihekeräimen (Andersen) käyttöönotto sisäilman mikrobiutkimuksissa. Aducate Reports and Books 19/2011. Itä-Suomen yliopisto.

Homeet. Verkkoaineisto. IndoorAid. <http://indooraid.com/?page_id=27#alternaria>. Luettu 5.7.2019.

Hyvärinen, Anne; Marttila, Tero; Kero, Paavo; Pekkanen, Juha; Ung-Lanki, Sari; Lampi, Jussi; Leppänen, Hanna; Jalkanen, Kaisa; Turunen, Mari; Haverinen-Shaughnessy, Ulla; Annila, Petri; Suonketo, Jommi & Niemi, Jussi. 2017. Avaimet terveelliseen ja turvalliseen rakennukseen (AVATER) – Yhteenvetoraportti. 25.4.2017. Valtionneuvoston kanslia.

Hänninen, Hanna; Karppinen, Maarit; Leskelä, Markku & Pohjakallio, Maija. 2018. Tekniikan kemia. 14., uudistettu painos. Helsinki: Edita.

Ilmankosteus. Verkkoaineisto. Hiilipuu. <<http://www.hiilipuu.fi/fi/artikkelit/ilmankosteus>>. Luettu 20.6.2019.

Ilman kosteus. Verkkoaineisto. Ilmatieteen laitos. <<https://ilmatieteenlaitos.fi/ilman-kosteus>>. Luettu 20.6.2019.

Kasvikset ja hedelmät. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/kasittely-ja-sailyttaminen/hygienia-kotikeittiossa/kasvikset-ja-hedelmät>>. Luettu 1.7.2019.

Kasvitaudit ja tuhoeläimet. Verkkoaineisto. Martat <<https://www.martat.fi/marttakoulu/puutarha/kasvitaudit-ja-tuhoeläimet/>>. Luettu 1.7.2019.

Keller, Nicolas; Ducamp, Marie-Noëlle; Robert, Didier & Keller, Valérie. 2013. Ethylene Removal and Fresh Product Storage: A Challenge at the Frontiers of Chemistry. Toward an Approach by Photocatalytic Oxidation. Chemical Reviews. Vol 113, s. 5029–5070.

Kokko, Harri; Kostamo, Katri; Toijamo, Anna & Kärenlampi, Sirpa. 2012. Menestyvä mesimarjaverkosto – tieteestä käytäntöön. Kuopio: Itä-Suomen yliopisto.

Kung'u, Jackson. Significance of Airborne Cladosporium in Indoor Air Quality. Verkkoaineisto. Mold & Bacteria Consulting Laboratories. <<https://www.moldbacteria.com/mold/significance-of-airborne-cladosporium-in-indoor-air-quality.html>>. Luettu 11.7.2019.

Laird, C.K & Verhappen, I. 2010. Chapter 25: Chemical Analysis: Gas Analysis. Instrumentation Reference Book. Fourth Edition, s. 401-428.

Liberty, J.T.; Okonkwo, W.I.; & Echiegu, E. A. 2013. Evaporative Cooling: A Postharvest Technology for Fruits and Vegetables Preservation. International Journal of Scientific & Engineering Research. Volume 4, s. 2257-2266.

Lindsley, William G; Green, Brett J.; Blachere, Françoise M.; Martin, Stephen B.; Law, Brandon F.; Jensen, Paul A & Schafer, Millie P. 2017. Sampling and characterization of bioaerosols. NIOSH Manual of Analytical Methods. 5th edition, s. 2-115.

Listeria monocytogenes. Verkkoaineisto. Ruokavirasto. <<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia-aiheuttavia-bakteereja/listeria/>>. Luettu 8.7.2019.

Lower and Upper Explosive Limits for Flammable Gases and Vapors. Verkkoaineisto. Werner Sölken. <http://www.wermac.org/safety/safety_what_is_lcl_and_uel.html>. Luettu 22.5.2019.

Mokkila, Mirja; Sariola, Juha & Hägg, Margareta. 1999. Mansikan korjuun ja korjuunjälkeisen käsittelyn avaintekijät. VTT tiedotteita. Espoo: Valtion teknillinen tutkimuskeskus.

Nykänen, Heli. 2009. Pakatun kasvihuonekurkun säilyvyyden parantaminen estämällä eteenin haittavaikutukset. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto. Elintarviketeknologian laitos. Helda-tietokanta.

Ohje ilmoitettujen elintarvikehuoneistojen elintarvikehygieniasta. 2018. Verkkoaineisto. Evira. <<https://www.ruokavirasto.fi/globalassets/yritykset/elintarvikeala/elintarvikealan-yhteiset-vaatimukset/ohje-ilmoitettujen-elintarvikehuoneistojen-elintarvikehygieniasta.pdf>>. Luettu 15.8.2019.

OVA-ohje: Eteeni. 2017. Verkkoaineisto. Työterveyslaitos. <<https://www.ttl.fi/ova/eteeni.html>>. Päivitetty 6.11.2017. Luettu 26.5.2019.

Pascall, Melvin A. 2011. Packaging for Fresh Vegetables and Vegetable Products. Teoksessa Sinha, Nirmal K (toim.). Handbook of Vegetables & Vegetable Processing. Iowa: Wiley-Blackwell.

Penicillium. 2019. Verkkoaineisto. Science Direct. <<https://www.sciencedirect.com/topics/food-science/penicillium>>. Luettu 25.6.2019.

Photoionization Detectors (PIDs). Theory, Uses and Applications for First Responders, Law Enforcement Agents, HazMat and Fire Service Professionals. Verkkoaineisto. MSA. <<http://www.approvedgasmasks.com/sirius-PIDwhitepaper.pdf>>. Luettu 22.5.2019.

Photoionization Detectors (PIDs). 2005. Technology for Detection of Volatile Organic Compounds. Verkkoaineisto. MSA. <<http://media.msanet.com/NA/USA/PermanentInstruments/GasSensorsTransmitters/SaveToxSafeVOC/07-2092WhitePaperPID.pdf>>. Luettu 10.6.2019.

Putus, Tuula. 2014. Home ja terveys. Uudistettu painos. Pori: Suomen ympäristö- ja Terveysalan Kustannus Oy.

Rundt, Anne-Rita; Backlund, Peter & Paakkola, Katja. 2005. Sisäilman hajut ja orgaaniset epäpuhtaudet. Verkkoaineisto. Työterveyslääkäri 2005; 23(2), s.156-163. <https://www.ebm-guidelines.com/dtk/shk/avaa?p_artikkeli=tll00208>. Luettu 11.6.2019.

Ruokavirasto. 2019. Perunan tumma rengasmätä. Verkkoaineisto. Vieraslajit. <<https://www.vieraslajit.fi/lajit/MX.63264/show>>. Päivitetty 5.2.2019. Luettu 8.7.2019.

Salkinoja-Salonen, Mirja (toim.). 2002. Mikrobiologian perusteita. Helsinki: Soveltavan kemian ja mikrobiologian laitos.

Salkinoja-Salonen, Mirja. 2016. Mikrobeja ja sisäilmaa? Verkkoaineisto. Helsingin yliopisto.
<https://tuhat.helsinki.fi/ws/portalfiles/portal/67709636/Mikrob_Sis_ilmaSalkinoja20160817b.pdf>. Luettu 8.7.2019.

Salonen, Heidi. 2009. Indoor air contaminants in office buildings. People and Work-Research Reports 87. Department of Environmental Science, University of Kuopio.

Suosituslämpötilat. Verkkoaineisto. Kotimaiset kasvikset. <<https://kasvikset.fi/48-sisalto/kasvisten-sailytykset?layout=>>>. Luettu 7.6.2019.

Tahvanainen, Ria. 2015. Fotokatalyyttisten materiaalien käyttö kobolttin erottamisessa ydinvoimalaitosten jätevesistä. Pro gradu –tutkielma. Helsingin yliopisto. Kemian laitos. Helda-tietokanta.

Timonen, Sari & Valkonen, Jari (toim.). 2013. Sienten biologia. Helsinki: Gaudeamus.

Tuomi, Tapani; Lappalainen, Liisa; Laaja, Timo; Hovi, Hanna & Svinhufvud Juha (toim.). 2012. Haihtuvien orgaanisten yhdisteiden kokonaispitoisuuden (TVOC) tavoite-
tasot teollisten työympäristöjen yleisilmassa. Helsinki: Työterveyslaitos.

TVOC Compund list. 2019. Yrityksen sisäinen dokumentti. GrayWolf solutions.

Wennström, Henri. 2013. PID-laitteen sovellusmahdollisuudet rakennusten kunto- ja sisäilmatutkimuksessa. Opinnäytetyö. Vaasan ammattikorkeakoulu. Theseus-tietokanta.

Wirtanen, Gun; Miettinen, Hanna; Pahkala, Satu; Enbom, Seppo & Vanne, Liisa. 2002. Clean air solutions in food processing. VTT publications 482. Espoo: VTT Biotekniikka.

Yersiniabakteerit. Verkkoaineisto. Ruokavirasto.
<<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/ruokamyrkytykset/ruokamyrkytyksia-aiheuttavia-bakteereja/yersiniabakteerit/>>>. Luettu 1.7.2019.

Yhdistelmäpuhdistin, Energiakonsultit. Yrityksen sisäinen dokumentti. Energiakonsultit insto Oy.

Yleistä kasvisten säilytyksestä. Verkkoaineisto. Kotimaiset kasvikset.
<<https://www.kasvikset.fi/kasvitieto/kasvisten-sailytyksesta>>. Luettu 20.6.2019.

Yleistä mikrobeista. Verkkoaineisto. Ruokavirasto.
<<https://www.ruokavirasto.fi/henkiloasiakkaat/tietoa-elintarvikkeista/elintarvikkeiden-turvallisen-kayton-ohjeet/ruokamyrkytykset/yleista-mikrobeista/>>>. Luettu 25.6.2019.

Yu, Q.L & Brouwers, H.J.H. 2009. Indoor air purification using heterogeneous photocatalytic oxidation. Part I: Experimental study. *Applied Catalysis B: Environmental*. Vol. 92, s. 454–461.