

LAPPEENRANNAN TEKNILLINEN YLIOPISTO  
Teknillinen tiedekunta  
Ympäristötekniikan koulutusohjelma  
Kandidaatintyö

## **RASVASUODATUS UV-VALON AVULLA**

### **Grease filtering with UV-light**

Työntarkastaja:           Professori, TkT Mika Sillanpää  
Työnohjaaja:            Nuorempi tutkija, FM Mikko Rantalankila

Lappeenrannassa 23.4.2013

Helmi Holopainen

# SISÄLLYSLUETTELO

SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO .....	2
1 JOHDANTO .....	3
2 RASVAN KERTYMINEN LIESITUULETTIMEEN .....	4
2.1 Rasvan käyttäytyminen ja haitallisuus.....	4
2.1.1 Tutkimukset .....	5
2.1.2 Tulokset .....	7
2.2 Liesituulettimen merkitys rasvansuodatuksessa .....	9
3 TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT .....	11
3.1 Suodattaminen .....	11
3.2 UV/TiO <sub>2</sub> menetelmä .....	12
3.4 Ulkoinen standardi .....	14
4 LABORATORIOTYÖ.....	16
4.1 Materiaalit ja menetelmät .....	16
4.1.1 Laitteet ja kemikaalit .....	17
4.1.2 Ultraäänihaude .....	18
4.1.3 Säteilylähteet ja voimakkuudet .....	18
4.1.3 Kaasumaisten yhdisteiden ja aerosolien muodostus .....	19
4.1.4 Koeajot.....	21
4.2 Näytteenotto ja analysointi .....	23
4.2.1 Kalibrointi.....	23
4.2.2 Näytteen kerääminen ja ultraäänihaude .....	27
4.2.3 Näytteiden analysointi FTIR-laitteella.....	28
4.3 Tulokset ja havainnot.....	29
5 JOHTOPÄÄTÖKSET .....	32

6 YHTEENVETO.....	35
7 KIITOKSET.....	37
LÄHTEET .....	38

## LIITTEET

Liite 1. Koeajojen mittauspöytäkirja

Liite 2. FTIR-laitteella analysoidujen näytteiden spektrit

Liite 3. Nestemäisen rasvan kulumisen seuranta

## SYMBOLI- JA LYHENNELUETTELO

F	vapausaste	
K	erottimien määrästä riippuva vakio	
M	kalibrointien lkm	
P	paine	[Pa]
Q	lämpövirta	[W]
r	korrelaatiokerroin	
Y	ennustettu konsentraatio	[mg/m <sup>3</sup> ]
Z	todellinen konsentraatio	[mg/m <sup>3</sup> ]
σ	analysoidun ja todellisen arvon virhe	
e <sup>-</sup>	elektroni	
H	vety	
H <sub>2</sub> O	vesi	
h <sup>+</sup>	aukko	
hv	tuleva valo	
OH <sup>•</sup>	hydroksyyli-radikaali	
PAH	polysykliset aromaattiset hiilivedyt	
TGS	trimetyyliamiinikarboksylihappo	
TiO <sub>2</sub>	titaanioksidi	
UV	ultravioletti	
Alaindeksit		
i	konsentraation lukumäärä	
ads	adsorptio	

## 1 JOHDANTO

Rasvaa käytetään ruuanvalmistuksessa paistamiseen, grillaamiseen ja uppopaistamiseen. Ruuan valmistusprosessit vaativat toimiakseen korkean lämpötilan, jonka seurauksena rasva roiskuu ja sen olomuoto muuttuu. Kuumassa lämpötilassa syntyy rasva-aerosoleja ja aldehydejä, jotka ovat terveydelle haitallisia. Liesituulettimien tarkoituksena on imeä rasva-aerosolit pois hengitysilmaasta, mutta niiden teho ei aina riitä. Kun liesituuletin ei ime kaikkia partikkeleja itseensä, rasva-aerosolit ajautuvat hengitysilmaan ja altistavat ihmisiä keuhkosairauksille. Ravintolakeittiöissä hengitysilman rasva-aerosolipitoisuudet voivat olla jopa  $6,6 \text{ mg/m}^3$ . Liesituulettimien teho heikkenee kulutuksessa, sillä rasva-aerosolit tarttuvat tuulettimen hormiin kiinni. Tarttuessaan rasva-aerosolit keräävät itseensä ruuanvalmistuksessa nokipartikkeleja ja muita yhdisteitä, sekä aiheuttavat liesituulettimen likaantumisen. Liesituulettimen likaantuminen voi pahimmillaan aiheuttaa jopa tulipalon. (Svendsen et al. 2001, 395-399.)

Tässä kandidaatintyössä tutkitaan liesituulettimen likaantumisen vähentämistä hajottamalla rasva-aerosoleja ultraviolettivalon (UV) ja titaanioksidin ( $\text{TiO}_2$ ) avulla. Työssä käsitellään ruuanlaitossa syntyviä rasvayhdisteitä UV/ $\text{TiO}_2$ -menetelmällä sekä selvitetään vähentääkö tämä menetelmä rasvan määrää liesituulettimen hormissa. Työn tavoitteena on selvittää kuinka rasva-aerosolit käyttäytyvät, kun ne altistuvat UV-valolle ja  $\text{TiO}_2$ :lle ja kuinka paljon rasvan määrä liesituulettimessa muuttuu näiden vaikutuksesta. Samalla halutaan selvittää, onko UV/ $\text{TiO}_2$  sopiva menetelmä liesituulettimien likaantumisen estämiseen.

Opinnäytetyössä tutustutaan rasva-aerosolien aiheuttamiin ongelmiin julkisissa keittiöissä ja liesituulettimien merkitykseen näissä ongelmissa. Menetelmissä tarkastellaan UV-valon ja  $\text{TiO}_2$ -katalyytin rasvan suodatuskykyä sekä suodatuksen muita osa-alueita. Laboratorio-osuudessa selvitetään tehtyjen koeajojen perusteella rasvan vähenemistä liesituulettimessa käyttämällä sekä UV/ $\text{TiO}_2$ -menetelmää että UV-valoa ja  $\text{TiO}_2$ -katalyyttiä erikseen. Saadut näytteet analysoidaan infrapunaspektrometrilla (FTIR). FTIR-spektrometrilla saatujen tulosten perusteella voidaan laskea rasvan määrä eri näytteissä. Tuloksista arvioidaan suodatusmenetelmien tehokkuutta ja niihin vaikuttavia tekijöitä.

## 2 RASVAN KERTYMINEN LIESITUULETTIMEEN

Vainiotalon ja Matveisen tekemässä tutkimuksessa havaittiin, että suurimmat rasvakonsentraatiot ovat keittiöissä, joissa käytetään pääruuanlaittomenetelmänä paistamista. Tutkimuksessa huomattiin myös, että ruuanlaitosta syntyvät höyryt kantavat haitallisia yhdisteitä, jotka voivat altistaa työntekijät suhteellisen suurille ilman epäpuhtauspitoisuuksille. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

### 2.1 Rasvan käyttäytyminen ja haitallisuus

Ruuan valmistuksessa käytetään korkeita lämpötiloja vaativia prosesseja kuten paistamista, uppopaistamista ja grillaamista. Näissä prosesseissa ruuanvalmistukseen tarvitaan rasvaa. Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa, *Cooking fumes as a hygienic problem in the food and catering industries*, todettiin, että ruuanvalmistuksessa syntyy haitallisia yhdisteitä, kun komponentit hajoavat ja reagoivat korkeissa lämpötiloissa. Rasvahöyryt sekoittuivat ruoka-aineista vapautuviin yhdisteisiin, jolloin ruuanlaitosta syntyvät höyryt sisälsivät haitallisia yhdisteitä, joista osa oli aromaattisia. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa mitattiin rasva-aerosolipitoisuuksia kahdeksassa erilaisessa ruuanvalmistuspaikassa (kahdessa leipomossa, ruokatehtaalla ja viidessä ravintolassa), joissa käytettiin ruuanvalmistusmenetelminä paistamista, uppopaistamista ja grillaamista. Rasva-aerosolipitoisuudet mitattiin läheltä paistamispisteitä, joissa työntekijät työskentelivät. Suurimmat rasva-aerosolipitoisuudet, 9-16 mg/m<sup>3</sup>, mitattiin tavallisia paistomenetelmiä suosivissa ruuanvalmistuspaikoissa. Tutkimuksessa todettiin, että rasva-aerosolipitoisuuksiin vaikuttivat huomattavasti käytettävät raaka-aineet, jotka vaihtelivat ruuanvalmistuspaikkojen mukaan. Raaka-aineista syntyi erilaisia yhdisteitä ruuanlaitoista syntyviin höyryihin. Lihaa paistettiin rasvassa suhteellisen korkeissa lämpötiloissa. Korkeat lämpötilat aiheuttivat rasvan hajoamisen ja haihtumisen. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Vainiotalo ja Matveinen totesivat tutkimuksessaan, että kokeilla ja leipomotyöntekijöillä oli havaittu kasvavaa syöpäriskiä, sillä ruuanlaittohöyryt voivat olla karsinogeenisia. Haitallisia PAH yhdisteitä syntyi rasvanpaistossa 250–300 °C lämpötiloissa. PAH yhdisteitä syntyy yleensä grillaamisessa, mutta myös pienempinä pitoisuuksina pannulla paistamisessa. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Norjalainen tutkimus ruuanlaittohöyryille altistumisesta ravintolakeittiöissä jatkoi Vainiotalon ja Matveisen tutkimusta selvittäessään julkisten ruuanvalmistuspaikkojen rasva-aerosolien määrää, jolle työntekijät joutuvat altistumaan. Rasva-aerosolit ärsyttävät hengitettäessä keuhkokudosta (Kennedy et al. 1981). Suuret rasva-aerosolien pitoisuudet voivat myös aiheuttaa keuhkokuumeen tai -tulehduksen. (Spinckard ja Hirschmann 1994). Ruuanlaittohöyryjen keuhkojen vahingoittamispotentiali riippuu höyryjen rasvan vapaiden rasvahappojen määrästä. On tehty tutkimuksia, joissa keittiötyöntekijöillä on havaittu kasvavaa työperäisten keuhkosairauksien määrää. (Borgan ja Kristoffersen 1986). Keuhkosyövän lisäksi muta- ja karsinogeneeneja sisältävät keittiöhöyryt voivat aiheuttaa astmaa ja keuhkolaajentumaa. (Svendsen et al. 2001, 395.)

### **2.1.1 Tutkimukset**

Rasva-aerosolien pitoisuuksia mitattiin työntekijöiden hengitysilma-erilaisissa ruuanvalmistustyöpaikoissa, kuten ravintoloissa ja leipomoissa. Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa mittaukset tehtiin kahdeksassa työpaikassa (kahdessa leipomossa, ruokatehtaassa ja viidessä ravintolassa). Näytteet kerättiin mahdollisimman läheltä ruuan valmistuslaitteita sekä aktiivista työskentelyaluetta. Näytteiden haluttiin esittävän työntekijöiden hengitysilmassa esiintyviä pitoisuuksia. Näytteenottopisteet pidettiin paikallaan koko mittauksen ajan 30 minuutista 3 tuntiin riippuen mittauksen kestosta. Rasva-aerosolit kerättiin keräyskasetissa olevaan lasikuitusuodattimeen ilman nopeuden ollessa 2,5–3,5 l/min. Suodatinkasetit olivat kiinni ilmankeräimessä ja kasettien imuaukot olivat halkaisijaltaan 4 mm. Näytteiden keräämisen jälkeen lasikuitusuodattimet, joihin rasva-aerosolit olivat tarttuneet, uutettiin 1 millilitraan tetrakloorietyyliä ultraäänihauhteessa 15 minuutin ajan. Tämän jälkeen näytteet pidettiin vielä huoneenlämmössä 15 minuuttia,

ennen kuin ne analysoitiin infrapunaspektrometrillä (FTIR), jossa oli trimetyyliamiinikarboksyliihappo-detektori (TGS). (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Analyysissä käytettiin 0,1 mm KBr kyvettä ja aaltolukua  $2922\text{-}2932\text{ cm}^{-1}$ . Resoluutiona käytettiin  $2\text{ cm}^{-1}$  ja jokaisesta näytteestä otettiin 32 spektriä. Tulosten laskemista varten käytettiin auringonkukkaöljyä kalibroinnissa, sillä kasvirasvat ovat yleisiä ruuanlaittorasvoja. Kasvirasvoja käytettiin myös mittausten aikana jokaisessa mittauskohteessa, vaikkakin eläinperäisiä rasvoja oli myös mukana mitattavissa ruuanlaitto höyryissä. Näytteiden havaitsemisraja oli  $0,03\text{ mg/näyte}$ , joka vastaa  $0,17\text{ mg/m}^3$ :ä poistoilmavirran ollessa  $180\text{ l/s}$ . (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Norjalaisessa tutkimuksessa havaittiin myös, että rasva-aerosolipitoisuudet vaihtelivat erilaisten keittiöiden välillä. Tutkimus suoritettiin neljässä hotellikeittiössä, kahdessa hampurilaisravintolassa, kymmenessä à la carte -ravintolassa ja kolmessa, pienessä paikallisessa ravintolassa. À la carte -ravintoloissa tuotettiin paljon grillattua ruokaa, kun taas pienet, paikalliset ravintolat käyttivät pääasiassa perinteistä pannullapaistamismenetelmää. Näytteiden kerääminen tehtiin samoin kuin Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa, mutta näytteen keruulaitteistot eivät olleet samalla paikalla koko mittauksen ajan, vaan työntekijät kantoivat keruulaiteita mukanaan. Mukana kannettavilla keruulaitteilla pyrittiin saamaan tarkempaa tietoa rasva-aerosolien pitoisuudesta työntekijöiden hengitysilmassa. Mittauksia tehtiin kolmena päivänä jokaisessa keittiössä  $1,5$  tunnista  $2,5$  tuntiin kerrallaan. Ilmavirtaus näytteen keräyslaitteissa oli  $2\text{ l/min}$  ja jokaisessa keittiössä käytettiin kasviöljyjä paistamisprosesseissa. (Svendsen et al. 2001, 395.)

Hotellikeittiöissä oli omat erilliset kabinetit rasvanpaistamiselle ja keittämiselle. Lisäksi jokaisen ruuanlaittopisteen yläpuolella oli tehokkaat liesituulettimet. Hampurilaisravintoloissa liesituulettimet olivat modernit ja tehokkaat ja ne sijaitsivat lähellä paistamis- ja uppopaistamispisteitä tai niiden yläpuolella. Samoin à la carte ravintoloissa liesituulettimien huuvat olivat juuri paistopisteiden yläpuolella, jolloin kokkien ei tarvinnut työskennellä niiden alla. Suurimmassa osassa à la carte -keittiöitä liesituulettimet pystyivät huolehtimaan kaikista ruuanvalmistuskaasuista. Pienissä

paikallisissa ravintoloissa taas liesituulettimet eivät pystyneet hallitsemaan ruuanlaittohöyryjä. Huuvat peittivät melkein koko aktiivisen työalueen, pakottaen kokit työskentelemään huuvien alla tai sisällä, jolloin ruuanlaittohöyryjä pääsi työntekijöiden hengitysilmaan. (Svendsen et al. 2001, 395.)

Norjalaisessa tutkimus tehtiin käyttäen 37 mm lasikuitusuodattimia, joihin rasva-aerosolit olivat tarttuneet: Suodattimet uutettiin 5 ml 1,1,2-trikloori-1,2,2-trifluorietaaniin ja konsentraatiot selvitettiin myös FTIR:llä. Skannauksia tehtiin neljä jokaiselle näytteelle. Ulkoisena standardina käytettiin auringonkukkaöljyä, josta tehtiin kolme verrattavaa konsentraatiota. Verrattavien konsentraatioiden avulla pystyttiin lukemaan näytteiden C-H sidosten määrä. Analysoinnissa mittauksissa ilmenevät vaihtelut selitettiin lineaarisella regressiolla, jonka merkitsevyys oli suurempi kuin 0,95. (Svendsen et al 2001, 396–397.)

### 2.1.2 Tulokset

Tutkimuksissa todettiin, että suurimmat rasva-aerosolipitoisuudet olivat ruuanvalmistuspaikoissa, joissa käytettiin tavallisia paistomenetelmiä eli pannullapaistamismenetelmiä. Suurimmat erot rasva-aerosolipitoisuuksissa johtuivat erilaisista paistettavista ruoka-aineista sekä liesituulettimien tehokkuuksista. Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa huomattiin, että rasvassa uppopaistaminen, ei aiheuttanut läheskään niin paljon rasva-aerosoleja hengitysilmaan, kuin paistaminen jossa rasva roiskui. Leipomossa, jossa uppopaistettiin, ruokatehtailla ja grillikeittiöissä mitattiinkin pienet rasva-aerosolipitoisuudet. Näiden ruuanvalmistuspaikkojen rasva-aerosolien keskiarvo oli  $0,01 \text{ mg/m}^3$ , kun taas korkeimmat rasva-aerosolipitoisuudet vaihtelivat välillä  $9\text{-}16 \text{ mg/m}^3$ . Nämä pitoisuudet mitattiin keittiöissä, joissa pannulla paistamista suosittiin grillaamisen sijaan. Myös keittiöissä, joissa uppopaistamispiste oli lähellä normaalia paistamispistettä, mitattiin korkeammat rasva-aerosolipitoisuudet. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Rasva-aerosolipitoisuuksille ei ole olemassa rajaa, millä pitoisuudet luokiteltaisiin vaarallisiksi. American Conference of Governmental Industrial Hygienists (ACGIH) on antanut rasva-aerosoleille rajan  $10 \text{ mg/m}^3$  (International Agency for Research on Cancer

1985). Tätä suuremmat konsentraatiot luokitellaan vaarallisiksi hengittää. Rasva-aerosolien konsentraation suuruuteen vaikuttaa ruuanlaittolämpötila. Vainiotalon ja Matveisen tuloksia verrattaessa voidaan todeta, että akroleiini, jota syntyy rasvan hajotessa hyvin korkeissa lämpötiloissa, esiintyi eniten grillauskeittiöissä (250-300°C) mutta vain vähän matalammissa lämpötiloissa paistettaessa. Matalammissa lämpötiloissa esiintyi sen sijaan runsaasti rasva-aerosoleja. Tästä voidaan tehdä päätelmä, että alle 200 °C lämpötilassa rasva voi vielä haihtua muuntumatta. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksen mukaan rasva-aerosolien määrään keittiöissä vaikutti ruuanlaittolämpötila, käytettävät rasvat ja ruoka-aineet, rasvan paistoaika ja liesituulettimen tehokkuus sekä sijainti. Kaikissa kahdeksassa ruuanvalmistuspaikassa käytettiin paistamismenetelmiä, mutta silti suurimmat rasva-aerosolipitoisuudet löydettiin pienistä paikallisista ravintoloista. Tästä voidaan tehdä havainto, että hengitysilmaan päätyvät suuret rasva-aerosolipitoisuudet johtuivat suurimmaksi osaksi liesituuletinjärjestelmistä. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Leipomossa, jossa liesituuletin oli vain uppopaistopisteen päällä, mitattiin korkeammat rasva-aerosolipitoisuudet kuin leipomossa, jossa liesituuletin oli myös ruuanlaittolinjan päällä. Kun liesituuletin ei ole tarpeeksi lähellä paistopistettä, ruuanlaitosta syntyvät höyryt vapautuvat hengitysilmaan. Pienissä paikallisissa ravintoloissa, joissa käytettiin normaaleja paistomenetelmiä (160-180 °C) liesituulettimen huuvat peittivät lähes koko työskentelytilan, jolloin ruuanlaitosta syntyvät höyryt olivat kokoajan työntekijöiden hengitysilmassa heidän työskennellessä huuvien alla tai sisällä. Lisäksi liesituulettimet eivät olleet tarpeeksi tehokkaita imemään kaikkia höyryjä pois hengitysilmaasta. (Vainiotalo ja Matveinen 1993.)

Norjassa tehty tutkimus ruunalaittohöyryille altistumisesta kertoi, että rasva-aerosolipitoisuudet vaihtelivat erilaisten keittiöiden välillä. Keskiarvo oli 0,62 mg/m<sup>3</sup>, kun taas suurin mitattu pitoisuusarvo oli 6,6 mg/m<sup>3</sup>. Suurin pitoisuus havaittiin pienessä paikallisessa ravintolassa. Pitoisuusarvot vaihtelivat 0,5-6,6 mg/m<sup>3</sup> välillä. Suurimmat syyt pitoisuuksien määrän vaihtelulle olivat erilaiset valmistettavat raaka-aineet ja erilaiset liesituulettimet. Keittiössä, joissa liesituulettimet olivat tarpeeksi tehokkaat ja sijaitsivat

vain ruuanlaitto ja paistamisalueen yläpuolella, mitattiin pienimmät rasva-aerosolipitoisuudet. Suurimmat pitoisuudet mitattiin niissä keittiöissä, joissa työntekijät joutuivat työskentelemään liesituuletin huuviin sisällä. Myös Norjassa tehdystä tutkimuksesta voidaan päätellä, että syy pienien keittiöiden suuriin rasva-aerosolipitoisuuksiin on juuri liesituulettimissa. Liesituulettimien tehokkuutta parantamalla pystyttäisiin vähentämään rasva-aerosolien määrää keittiön työskentelyilmassa. (Svendsen et al 2001, 396–400.)

## 2.2 Liesituulettimen merkitys rasvansuodatuksessa

Norjalaisissa ravintolakeittiöissä ruuanlaittohöyryille altistumista käsittelevässä tutkimuksessa huomattiin, että melkein kaikissa ravintoloissa liesituulettimet pystyivät käsittelemään suurimman osan tuotetuista ruuanlaittohöyryistä, mutta pienissä ravintoloissa liesituuletinlaitteistot eivät olleet yhtä tehokkaat kuin muissa keittiöissä. Tämä selittää sen, miksi pienissä, paikallisissa ravintoloissa rasva-aerosolipitoisuudet olivat huomattavasti isommat kuin esimerkiksi hampurilaisravintoloissa. Kaikissa näissä ravintoloissa tehdään kuitenkin rasvapaistettua ja grillattua ruokaa, josta syntyy paljon aerosoleja. Norjalaistutkimus osoittaa, että keittiöiden ilmasta mitattuihin rasva-aerosolipitoisuuksiin vaikuttaa liesituulettimen tehokkuus. Pienissä keittiöissä työntekijät joutuvat myös työskentelemään liesituuletin systeemin alla tai sisällä, jolloin hengitysilmassa on paljon rasvayhdisteitä. Liesituulettimien tehokkuus ja sijoittaminen keittiöissä vaikuttaa rasva-aerosolien pitoisuuteen hengitysilmassa. (Svendsen et al 2001, 396.)

D'Antoninon artikkelissa käsitellään liesituuletinsysteemin eri osien merkitystä rasvan suodattamisessa. Rasvaiset liesituulettimet aiheuttavat rasvapaloja sekä muita rasvavahinkoja keittiöissä ja niiden lähiympäristössä. Varsinkin kattojen rasvoittuminen on yleinen ongelma. (D'Antonio 2004, 23.)

Tyypillisesti liesituulettimissa on integroitu rasvansuodatus- sekä hormijärjestelmä, joka on liitetty yhteen huuviin ja rasvansuodatuksen kanssa. Tämä takaa tarvittavan syöttöilman

saannin koko liesituulettimeen. Huvuaan on integroituna rasvasuodatus ja –erotuslaitteet. Ruuanpaistoalueen ja huvuan reunan suhde tulee olla riittävän pieni, jotta ruuasta nousevat kuumat rasvahöyryt nousisivat huvuaan, eivätkä karkaisi muualle hengitysilmaan. Höyryn vangitseminen on altis muutoksille, joten tuloilman nopeus huvuan lähellä täytyy olla pienempi kuin 0,381 m/s. (D’Antonino 2004, 23.)

Ruuanlaitosta aiheutuvat päästöt koostuvat rasvapartikkeleista ja rasvahöyryistä. Lisäksi ruuanlaitto rasvassa voi aiheuttaa lämpö-, haju- ja kosteushaittoja. Liesituulettimien rasvasuodattimet ovatkin merkittävä keino vähentää rasvan aiheuttamia haittoja keittiöissä. Suodattimia voi olla erotussuodattimia, vesipesusuodattimia sekä kuiva-panossuodattimia. Erotussuodattimet ovat yleisiä, sillä niissä on tarpeeksi suuri pinta-ala vangitsemaan rasvahöyryt. Erotussuodattimet vähentävät myös kosteusvahinkoja liesituulettimissa ja lisäävät keskipakovoimasta johtuvaa erotusta. UV-valoa käytetään yleisesti rasvasuodattimissa, sillä se hajottaa partikkeleita turvallisesti. UV-valo vähentää myös hajuhaittoja sekä vähentää ympäristönkuormitusta, kun rasva ei kerry tuulettimeen tai hormiin eikä näitä tarvitse siis puhdistaa niin usein. Lisäksi osan rasvasta saadaan suodattimien avulla talteen ja sen voi kierrättää. (D’Antonio 2004, 23–24.)

D’Antonio korostaa artikkelissaan, että liesituulettimen hormiston tulee olla hyvin suunniteltu ja se täytyy rakentaa yhdenmukaisesti huvuan kanssa. Hormin tulisi olla mahdollisimman kohtisuorassa katon kanssa, jotta painehäviöt olisivat mahdollisimman pienet. Huvuan ja hormin staattinen paine on yleensä 373,6 – 498,178 Pa. Hormi on taaksepäin kallellaan, jotta rasva valuu takaisin huvuaan ja sitä kautta keräysastiaan. Tuulettimen tehtävänä on pitää rasvainen ilma poissa muusta katon materiaalista. Tuulettimien täytyy kestää erittäin kuumaa rasvaista ilmaa ja käyttää hyväkseen keskipakovoimaa, joten rasva valuu reunoilta alaspäin. Tuulettimissa on myös rasvaloukut, jotta kuuma rasva ei pääse kosketuksiin tulenarkoihin materiaaleihin. Rasvaloukut keräävät viimeisenä rasvan, joka on päässyt pääsuodattimista läpi. (D’Antonio 2004, 24–26.)

Huonosti suunnitellut rasvasuodattimet päästävät rasvan hengitysilmaan ja aiheuttavat rasvavahinkoja. Yleensä keittiöiden rasvaongelma johtuu liesituulettimen heikosta rasvasuodatusjärjestelmästä, joka voi olla jo rakenteeltaan virheellinen. Ylisuunnitelluissa

ilmanpoistokanavissa energiaa voi päästä hukkaan tai korvausilmaa ei pääse tarpeeksi suodatukseen. Myös liian suuri ilmanpuhallus aiheuttaa ongelmia. Rasvan suodatuksessa tärkeää on liesituulettimen oikeanlainen huuva, joka on optimaalisesti sijoitettu vangitsemaan ruuanlaitosta syntyvät höyryt. Vääränlainen sijoittelu sekä suodatinkomponenteilla, hormijärjestelmällä että tuulettimella aiheuttaa suodatustehon heikkenemistä. Pääsuodatuskomponenttien tulee sijaita keskellä huuvaa, jotta se on optimaalisessa paikassa vangitsemaan ruuanlaittohöyryt. Liesituulettimen likaisuus voi olla syy heikolle suodatusteholle. Myös löysät kiinnityskohdat ja vääränlaiset suodatinmateriaalit, kuten alumiini-verkot, aiheuttavat liesituulettimen rasvoittumista. (D'Antonio 2004, 24.)

### **3 TUTKIMUKSESSA KÄYTETTÄVÄT MENETELMÄT**

Tämän kandidaatintyön tavoite on selvittää rasva-aerosolien hajoaminen UV-valon ja titaanioksidin avulla. Suodatuksessa rasva-aerosoleja pyritään hajottamaan erilaisilla menetelmillä. Suodatusmenetelmän jälkeistä rasvan määrää tarkkailemalla pystytään selvittämään, onko kyseinen menetelmä tehokas liesituulettimen puhdistaja. Tehokkuutta arvioidaan pelkästään määrittämällä rasva-aerosolien pitoisuuksia. Fotokatalyyttiset menetelmät, joita käytetään rasva-aerosolien hajotuksessa, sekä rasva-aerosolien suodatusmenetelmät käsitellään tässä osiossa.

#### **3.1 Suodattaminen**

Rasvan hajottamisessa ja poistamisessa pääroolissa ovat liesituulettimessa sijaitsevat suodattimet. Jos rasvasuodattimet on suunniteltu huonosti, niiden tehokkuus ei välttämättä riitä imemään kaikkea rasvaa, vaan rasva-aerosolit pääsevät takaisin hengitysilmaan. Huonosti suunnitellut suodattimet voivat aiheuttaa paloturvallisuusriskin, sillä rasva on herkästi syttyvää. Jos suodattimien tehokkuus ei ole riittävä rasvan puhdistukseen ja

hajotukseen, läpi päässyt rasva voi olla haitaksi esimerkiksi rasvoittamalla lähistön komponentteja.

Tässä työssä rasvan suodatus tapahtui karkeiden rasvasuodattimien avulla ja lisäämällä liesituulettimeen irralliset suodatinlevyt. Karkeat rasvasuodattimet sijaitsivat rasvanpaistokattilan ja liesituulettimen välissä. Niiden tarkoituksena oli poistaa isoimmat epäpuhtaudet. Syklonirasvaerottimiin, joita käytetään karkeina rasvasuodattimina, saapui ruuanlaittohöyryjä täynnä oleva ilma. Ilma pyöri erotinkennossa, jolloin isoimmat, 5 µm suuremmat, rasvapartikkelit putosivat seiniä pitkin pohjalle keskipakoisvoiman johdosta. Jokaisen erottimen pohjalla oli rasvakuppi, jonne irronnut rasva valui. Karkeiden rasvaerottimien ansiosta suurimmat rasvapartikkelit eivät kertyneet tuulettimeen, vaan ne saatiin talteen ja voitaisiin mahdollisesti kierrättää. (Jeven Oy 2012.)

### **3.2 UV/TiO<sub>2</sub> menetelmä**

Titaanioksidi-ultraviolettivalo menetelmää käytetään, sillä TiO<sub>2</sub> toimii katalyyttinä, jonka pinnalla UV-valon ansiosta tapahtuu fotokatalyyysi. Fotokatalyyysillä pystytään hajottamaan orgaanisia aineita, tässä tapauksessa rasvoja, ei-selektiivisesti pienemmiksi ja harmittomammiksi komponenteiksi. Kun käytetään UV/TiO<sub>2</sub>-menetelmää, prosessi on ympäristöystävällisempi, sillä lisäkemikaaleja ei tarvita. Prosessi myös tapahtuu huoneenlämmössä sekä normaalissa paineessa. TiO<sub>2</sub>:n käyttö on perusteltua, sillä se on myrkytön helppokäyttöinen kemikaali. TiO<sub>2</sub> on myös helposti saatavissa ja se on biologisesti ja kemiallisesti inerti. (Molinari et al. 2002, 399.)

Tapahtuvan fotokatalyytin tehokkuus riippuu UV-valon aallonpituudesta ja energiasta, sekä TiO<sub>2</sub> partikkeleiden määrästä ja etäisyydestä. Myös käytettävän lampun sijoittelulla on merkityksensä. TiO<sub>2</sub> on puolijohde, jolloin sillä on elektroninen valenssivyö ja korkeammalla energiatasolla oleva johtumisvyö. Useammat vapaat elektronitasot mahdollistavat fotokatalyyttisen prosessin tapahtumisen. (Mills ja Le Hunte 1997, 1.)

Fotokatalyyttinen hajotusmenetelmä perustuu molekyylien elektronien virittymiseen niiden absorboidessa valoa. Tämä muuttaa radikaalisti molekyylin kykyä luovuttaa ja vastaanottaa elektroneja, mikä aiheuttaa hapetus-pelkistymisreaktioiden sarjan.  $TiO_2$  säteilytetään UV-valon avulla, jolloin elektronit virittyvät korkeammalle energiatasolle. Tällöin valenssivyöhykkeelle jää sopivia aukkoja yhtälön 1 mukaan. Fotokatalyyysin käynnistykseen tarvittava energia on suurempi tai yhtä suuri kuin titaanioksidin energiaero valenssivyön ja johtumisvyön välillä. Esimerkiksi UV-valon, jonka aallonpituus on 400 nm, energiaero on 3,2 eV. (Molinari et al. 2002, 399.)



$hv$  = tuleva valo, tässä tapauksessa UV-valo

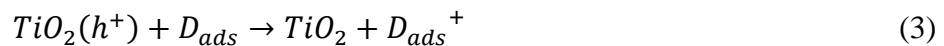
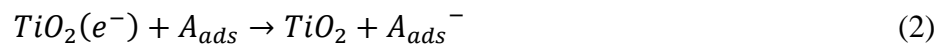
$e^-$  = elektroni

$h^+$  = aukko

Kun orgaaniset rasvapartikkelit joutuvat kosketuksiin muodostuneiden elektronien kanssa, ne pelkistyvät. Pelkistyminen tapahtuu joko suoraan tai peroksidiradikaaleina hapen kanssa.  $TiO_2$ :n valenssivyössä olevat aukot taas puolestaan hapettavat liuoksessa olevia komponentteja joko suoraan tai muodostamalla hydroksikaaleja veden kanssa. Elektronit, aukot,  $TiO_2$ , hydroksyyliyt ja hajotettavan liuoksen aineet reagoivat keskenään neutraloituen sekä muodostaen uusia yhdisteitä. (Molinari et al. 2002, 399.)

Fotokatalyyysissä tapahtuu joukko hapetus-pelkistymisreaktioita, joiden ansiosta hajotettava orgaaninen komponentti tuhoutuu pienemmiksi komponenteiksi. Parhaimmassa tapauksessa jäljellä jää pelkkää hiilidioksidia ja vettä. Komponenttien hajotus tapahtuu kahdessa vaiheessa. Ensimmäisessä vaiheessa hajotettava aine adsorboituu katalyyttina toimivan titaanioksidin pinnalle. Toisessa vaiheessa aine alkaa tuhoutua UV-valossa reaktiivisten komponenttien avulla pienemmiksi komponenteiksi. Periaatteessa tämä prosessi voisi tapahtua myös ilman UV-valoa, mutta se edistää tapahtumaa. (Molinari et al. 2002, 399.)

TiO<sub>2</sub>-adsorptio tapahtuu siis oikeastaan neljässä vaiheessa. Ensin valon absorption ansiosta tapahtuu elektroni-aukkopari erottuminen. Seurauksena tästä reagenssit adsorboituvat, joka johtaa hapetus-pelkistymisreaktioihin. Viimeisessä vaiheessa tuotteet desorboituvat. UV-säteily aiheuttaa siis TiO<sub>2</sub>-katalyytille sekä positiivisen, että negatiivisen varauksen, jolloin katalyytti on erittäin reaktiivinen. Reaktiivisuuden takia erottumisen jälkeen aukko (h<sup>+</sup>) ja elektroni (e<sup>-</sup>) voivat reagoida edelleen. Aukko hapettaa luovuttajan (D<sub>ads</sub>) ja siirtynyt elektroni pelkistää vastaanottajan (A<sub>ads</sub>), jotka molemmat ovat adsorboituneet titaanioksidin pinnalle. (Fujishima et al. 2000, 1-21.)



### 3.4 Ulkoinen standardi

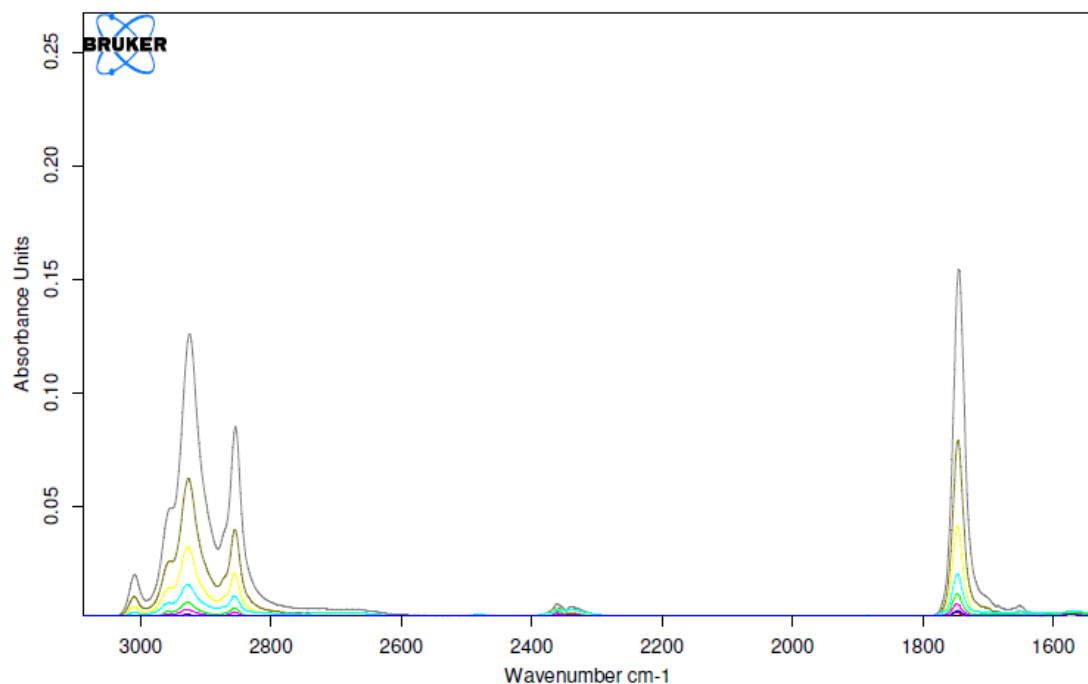
Ulkoinen standardi tarvittiin, koska sen avulla pystyttiin selvittämään kuinka paljon rasva-aerosoleja kertyi keruukasetissa olevalle lasikuitusuodattimelle. Ulkoisena standardina käytettiin auringonkukkaöljyä, sillä ruuanlaitossa ja varsinkin paistamisprosessissa käytetään yleisesti kasviperäisiä rasvoja. Kasviperäisten rasvojen joukossa paistetaan myös muunlaisia rasvoja tuottavia komponentteja. Liesituulettimeen kertyy kuitenkin runsaasti kasviperäistä rasvaa, joten suodatusnäytteiden muodostuskin tehdään elintarvikekaupasta saatavalla auringonkukkaöljyllä.

Ulkoisena standardina käytettiin auringonkukkaöljyä (Sigma). Tämän öljyn koostumus oletettiin olevan samankaltaista kuin koeajoissa käytettävän öljyn koostumus, joten sitä voitiin käyttää kalibroinnissa. Standardina käytetty auringonkukkaöljy koostui pääosin 9,12-linolihaposta, joka on koostumukseltaan samankaltaista kuin paistamisessa usein käytettävät öljyhappoa sisältävät rasvat kuten rypsiöljy.

Auringonkukkaöljyn linolihapo eli 9,12-oktadekadienihappo (C<sub>18</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>) on rakenteeltaan pitkäketjuinen ja haaroittumaton samoin kuin oleiinihapo eli öljyhappo

( $C_{18}H_{34}O_2$ ). Öljyhapon rakenteessa on vain kaksi vetyä enemmän kuin 9,12-oktadekadienihapon rakenteessa, joten ne ovat melko samanlaiset. Kahden vedyn ero johtuu 9,12-oktadekadienihapon kahdesta kaksoissidoksesta, kun taas öljyhapolla kaksoissidoksia on vain yksi. (Skoog et al. 1998, 404–411.) Rakenteellisen yhtäläisyyden vuoksi ulkoinen standardi öljyhapolle voitiin tehdä 9,12-oktadekadienihapoa sisältävästä auringonkukkaöljystä.

Spektrometrissä tutkittiin hiili-vetyäsidoksia (C-H) ja hiili-happi kaksoissidoksia (C=O) aaltoluvun ja absorbanssin avulla, kuvan 1 esittämällä tavalla. Aaltoluvun  $3200\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$  kohdalla havaittiin C-H sidosten värähtelyt ja aaltoluvun  $1800\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$  C=O sidosten värähtelyt. Absorbanssin voimakkuus korreloi rasvapitoisuuden kanssa. Aikaisemmin todettiin orgaanisten rasvojen sisältävän C-H ja C=O sidoksia, jolloin niistä muodostuvien piikkien määrä kertoo, kuinka paljon rasvaa jokainen kalibrointiliuos sisältää.



**Kuva 1.** Auringonkukkaöljyn spektri.

## 4 LABORATORIOTYÖ

Tässä työssä oli tarkoituksena selvittää ruuanlaitossa syntyvien rasva-aerosolien vähentämismahdollisuudet. Laboratorio-osiossa testattiin, kuinka suuret rasva-aerosolipitoisuudet saatiin, kun rasvaa lämmitettiin korkeisiin lämpötiloihin. Ensin testattiin ilman rasvasuodatinta saatavat pitoisuudet, jotta voitiin lasketa, kuinka paljon pitoisuudet pienenevät, kun rasva suodatettiin rasvasuodattimien läpi. Samalla arvioitiin, kuinka tehokas tapa on titaanioksidin ja ultraviolettivalon avulla suodattaminen.

Työssä selvitettiin keinoja liesituulettimien rasvaisuuden vähentämiseksi. Jos rasva saadaan hajotettua harmittomiksi komponenteiksi suodatuksen avulla, se ei kerry enää tuulettimeen. Puhtaammat liesituulettimet toimivat tehokkaammin, jolloin rasva ei vapaudu hengitysilmaa, vaan se saadaan imettyä pois. Puhtaampi liesituuletin on myös energiatehokkaampi ja ympäristölle ystävällisempi. Kun rasva ei kerry hormiin, se voidaan joko kerätä tai hajottaa pois. Puhdas liesituuletin ei myöskään aiheuta paloturvallisuusriskiä, sillä rasvainen ja likainen tuuletin voi syttyä herkästi palamaan.

### 4.1 Materiaalit ja menetelmät

Työ suoritettiin käyttämällä Jeven Oy:n liesituulettinsysteemin poistoilmayksikköä, joka oli kiinnitetty hormiin. Poistoilmayksikössä oli karkean rasvasuodatuksen JCE-syklonierottimet ja poistoilmahuuva. Poistoilmahuuvaan sijoitettiin eri koeajovaiheissa tarvittavat rasvasuodatinlevyt,  $\text{TiO}_2$  päällystetyt suodatinlevyt sekä UV-lamput. Likainen ilma, joka syntyi rasvanpaistamisesta, nousi ylöspäin lämpötilaeron takia. Syklonirasvanerottimet erottivat poistoilmasta lian ja isoimmat rasvapartikkelit, jolloin puhdistettu ilma nousi ylöspäin hormiin. Rasvasuodatuslevyt keräsivät kiinteitä partikkeleita, jotka pääsivät läpi syklonierottimista, mutta eivät päässeet työntymään suodatinlevyn verkon läpi.  $\text{TiO}_2$  ja UV-valo hajottivat rasvapartikkeleita vielä pienemmiksi, kunnes puhtaampi ilma pääsi poistumaan hormiin. (Jeven Oy 2012.) Hormissa sijaitsi näytteenotin, joka keräsi kolme litraa ilmaa minuutissa. Näytteenottimen

lasikuitusuodatin paperille keräämän rasvan perusteella voitiin päätellä, kuinka tehokas mikäkin puhdistusvaihe oli, kun tiedettiin näytteenottoaika.

#### 4.1.1 Laitteet ja kemikaalit

Laboratoriotyössä käytettiin kemikaaleina auringonkukkaöljyä sekä tetrakloorietyleeniä (TCE). Sigman auringonkukkaöljyä käytettiin kalibroinnissa, kun haluttiin selvittää tarkkojen konsentraatioiden avulla C-H ja C=O sidosten määrä kalibroitinäytteissä. Sigman TCE:tä (99 % ACS) käytettiin sekä kalibroitiliuoksia tehtäessä että rasva-aerosolinäytteitä uuttaessa. Elintarvikekaupasta hankittua auringonkukkaöljyä käytettiin koeajoissa, sillä se on tyypillinen ruuanlaittoöljy.

Analysoinnissa käytettiin Brukerin infrapunaspektrometriä (FTIR Vertex 70, Platinum atr ). FTIR- laitteella oli TGS-detektori. Tarvittavat konsentraatiot saatiin mikropipettien (Finnpipette 100–1000 µl, Thermoscientific 1-10 µl ja 10-100 µl ) avulla. Kalibroinnissa käytettiin muovisia ja kannellisia koeputkia, kun taas varsinaisten näytteiden analysoinnissa käytettiin VWR 80 ml dekanterilaseja. Näytteen haihtumista estettiin Parafilm suojakalvon avulla. Uttamisessa käytettiin Barson 2510 ultraäänihaudetta.

Rasva-aerosolien muodostamiseen käytettiin IKA C-MAGHS7 lämpölevyä, jonka tehokkuus oli 270 W. Rasvan lämpötila mitattiin perinteisellä lämpömittarilla, ja rasva lämmitettiin kattilassa. Kattila nostettiin haluttuun korkeuteen Boy 115 hissillä avulla. Rasva punnittiin ennen lämmittämistä Salter vaa'alla.

Koeajoissa käytettiin Jeven Oy:n liesituulettimien poistoilmayksikköä, johon kuului poistoilmahuuva, karkeat syklonirasvaerottimet (JCE) ja suodatinlevyt. Suodatinlevyistä osa oli pinnoitettu TiO<sub>2</sub>:sella. Lisäksi suodatuksessa käytettiin Scandymet 40 W/870 UV-valoa. UV-valoputkia oli kuusi kappaletta, ja niiden yhteistehokkuus oli 234 W. Poistoilmavirta mitattiin TSI Velocicalc plus -painemittarin avulla.

Näytteet kerättiin keräyskaseteille, joiden aukot olivat ø 4 mm, TSI Sidepak SP350 ilmakeräyspumpun avulla. Ilmavirta mitattiin TSI 41040 virtamittarin avulla. Näytteen

keräyskasettien sisällä oli lasikuitusuodatin paperit (Vitro-disk glassfiber No support pad 10 µm ø 37 mm omega speciality Diviso).

#### 4.1.2 Ultraäänihaude

Ultraäänihaudetta (2510 Branson) käytettiin näytteen uuttamisessa. Ultraäänihaude aiheuttaa merkittäviä muutoksia nestemäisissä väliaineissa, ja se on nopea tapa uuttaa näytematriisi haluttuun aineeseen. Ultraäänihauteessa paineen sykkiminen aiheuttaa kavitaatioilmiön, jossa muodostuu ja hajoaa pieniä kaasukuplia. (Wang et al. 2008, 301). Kun kaasukuplat hajoavat, syntyy lyhyessä ajassa paljon kuumia pisteitä, joissa on korkeat lämpötilat (5000 K) ja paineet (1000 atm). Korkeat lämpötilat ja paineet aiheuttavat vesimolekyylien (H<sub>2</sub>O) hajoamista, jolloin syntyy vety-ioneja (H<sup>+</sup>) ja hydroksyyli-radikaaleja (OH<sup>-</sup>). Radikaalit edistävät uuttumista. (Hoffman ja Hoffman 1997, 2237.)



Kun uutossa käytettävä väliaine altistuu ultraäänelle, se absorboi ääniaaltoja aiheuttaen lämpötilan nousua. Korkeat lämpötilat edistävät elektronien ja aukkojen syntymistä, jolloin syntyy lisää radikaaleja. (Wang et al. 2008, 301.)

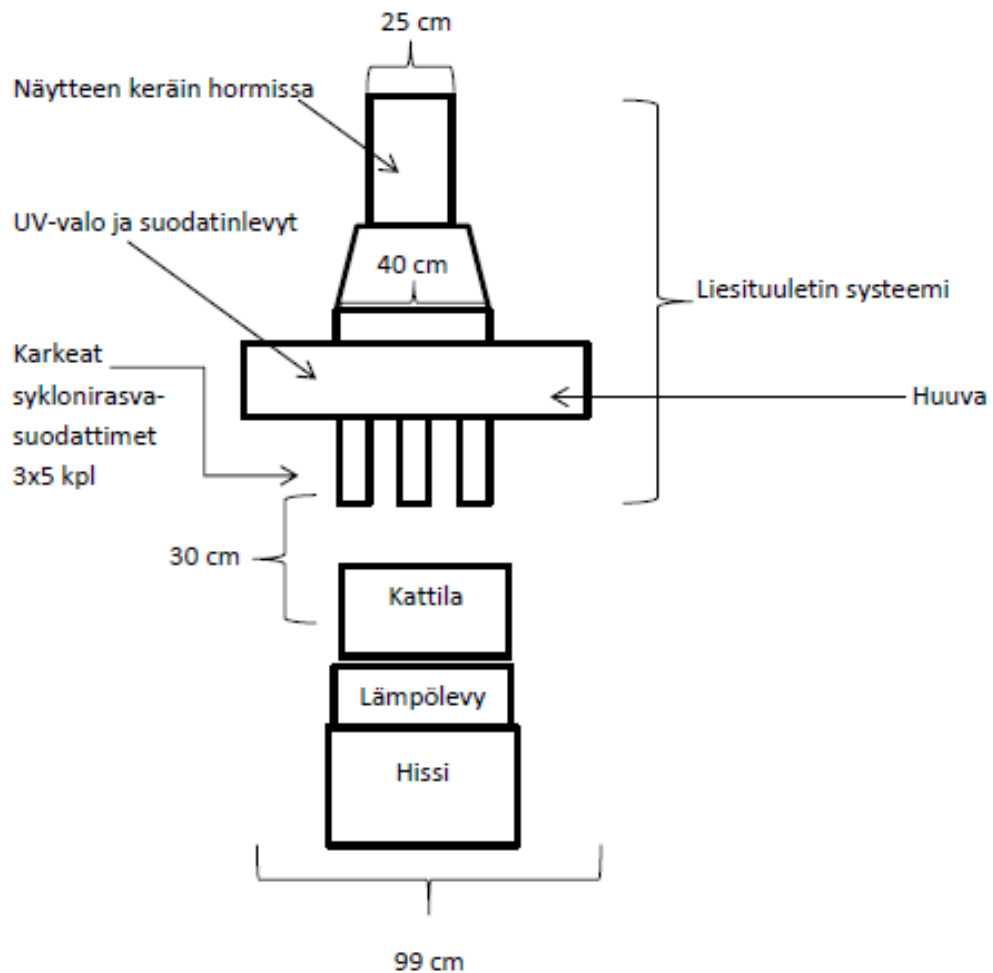
#### 4.1.3 Säteilylähteet ja voimakkuudet

Suodatusmenetelmiä tutkiessa käytettiin ultravioletivaloputkia. UV-valoa käytettiin kahdessa viimeisissä koeajoissa, kummassakin yhteensä 3 tuntia. UV-valo on tehokas rasvansuodattaja, sillä se edesauttaa rasva-aerosolien hajoamista ennen hormiin joutumista. Tehokkaat UV-valoputket muodostavat kuitenkin samalla pieniä määriä otsonia, joka on liikaa hengitettynä myrkyllistä. Liesituulettimet sijaitsevat yleensä korkealla katon rajassa, joten otsoni ei pääse hengitysilmaan. UV-valoputket (Scandymen 40W/870) ovat teholtaan 234 W ja niitä laitettiin liesituulettimen poistoilmahuuvaan kuusi.

### 4.1.3 Kaasumaisten yhdisteiden ja aerosolien muodostus

Rasva-aerosoleja muodostettiin lämmittämällä elintarvikekaupasta hankittua auringonkukkaöljyä kahden litran kattilassa noin 0,5 litraa kerrallaan. Öljykattilaa lämmitettiin IKA C-MAGHS7 lämpölevyllä 170 °C lämpötilaan, jolloin rasva alkoi höyrystyä ja muuntua aerosoleiksi. Lämpölevyn tehokkuus oli 270 W, joka mahdollisti nopean rasvan höyrystämisen. Rasvahöyryt kohosivat yllä olevaan liesituulettimeen, jonka hormissa oli näytteenkeruukasetti. Rasvaa lämmitettiin sama aika jokaisella näytteenotokerralla ja rinnakkaisia näytteitä otettiin vähintään kolme. Ensimmäisissä näytteissä optimoitiin näytteenottoaikaa, joten silloin tehtiin 30 minuutin ja 60 minuutin näytteenotot. Näin pyrittiin löytämään aika, jolla rasvan pitoisuus pystyttäisiin mittaamaan IR-laitteella.

Lämpöhaude tuotiin mahdollisimman lähelle liesituuletinta, jotta kaasuhöyryt eivät päässeet hengitysilmaan vaan ajautuivat suoraan tuulettimeen. Öljy oli 33 cm:n päässä ensimmäisistä karkeista rasvasuodattimista. Tämä mahdollisti optimaalisen näytteenottoajan ja kohtuullisen öljyn kulutuksen. Lämpöhaude ja kattila nostettiin Boy 115 hissillä haluttuun korkeuteen. Kuvassa 2 on esitetty mittausjärjestelyt, liesituuletin laitteisto sekä rasvan lämmityslaitteisto.



**Kuva 2.** Rasva-aerosolien muodostuksen ja keräyksen mittausjärjestelyt.

Koeajoissa tarvittavat suodatinlevyt sekä UV-lamput sijoitettiin karkeiden rasvasuodattimien yläpuolella olevaan 98,7 cm leveään, 44,3 cm syvään ja 18,0 cm korkeaan huuvaan. Huuvan yläpuolella oli halkaisijaltaan 43,0 cm kokoinen kuomuosa, jonka yläpuolella olevassa hormissa sijaitsi näytteenottoaukko. Näytteenottoaukosta laitettiin muoviputken varaan näytteenkeruukasetti keskelle hormia optimaalisen rasva-aerosolien keruun mahdollistamiseksi. Näytteenkeruukasetti oli yhteydessä liesituulettimen ulkopuolella olevaan ilmankeräimeen, jonka avulla saatiin imettyä rasvahöyryä kasettiin analysointia varten.

Näytteenotto tapahtui huoneessa, jossa saatiin liesituulettimen poistoilmavirraksi 180 l/s. Tehokas tuulettaminen esti mittaajien altistumista rasvahöyryille sekä helpotti rasvahöyryjen kulkeutumista liesituulettimeen. Huone pidettiin muuten eristettynä, jotta rasvahöyryt eivät päässeet leviämään muualle rakennukseen. Ilmavirta mitattiin TSI Velocicalc plus painemittarilla. Saadun paineen avulla voitiin laskea poistoilmantilavuusvirta, kun tiedettiin poistoilma-laitteiston malli ja syklonierottimien määrä.

$$Q = K_i \sqrt{P} \quad (5)$$

Q = lämpövirta

K = vakio, mikä määräytyy erottimien lukumäärän mukaan

i = erottimien lukumäärä

P = mitattu paine

#### 4.1.4 Koeajot

Koeajoissa mittausolosuhteet säilytettiin muuttumattomina, jotta pystyttiin keskittymään vain erilaisten rasvojen erotus- ja hajotusmenetelmien tehokkuuteen. Liesituulettimeen puhaltava ilmavirta saatiin mitattua paine-eron avulla. Auringonkukkaöljy lämmitettiin 170°C:een, jonka jälkeen aloitettiin näytteen kerääminen. Elintarvikekaupassa myytävän auringonkukkaöljyn tuoteselosteessa kerrottiin, että auringonkukkaöljyn syväpaistamisen raja on 180°C. Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa julkisissa ruuanvalmistuskeittiöissä, esimerkiksi ravintoloissa, paistaminen tapahtui 180–200°C lämpötilassa. Tutkimuksessa todettiin myös, että lämpötila vaikuttaa aerosolien syntymiseen. Korkeammissa lämpötiloissa rasva alkoi muuntua herkemmin haitallisiksi aerosoleiksi.

Koeajoissa selvitettiin rasvan haihtumisen määrää tarkkailemalla nestemäisen rasvan painoa. Rasvaa laitettiin kattilaan jokaisen koeajon aluksi 450 g. Rasvan paino mitattiin ennen lämmitystä ja jokaisen koeajon jälkeen. Mittauksen avulla saatiin selville, ovatko koeajot vertailukelpoisia keskenään. Rasvaa haihtui jokaisessa koeajossa suurin piirtein

sama määrä, joten tuloksia pystyttiin vertailemaan keskenään. Rasvan painon tarkkailutaulukko on esitetty liitteessä III.

Ensimmäinen koeajo suoritettiin ilman rasvasuodattimia. Koeajossa oli tarkoituksena saada selville, minkälaiset rasvapitoisuudet saadaan, kun auringonkukkaöljyä paistetaan 170 °C lämpötilassa 30 min. Optimaalisen paistoajan saavuttamiseksi koeajosta otettiin neljä rinnakkaista näytettä, kaksi puolen tunnin näytettä ja kaksi tunnin koeajon näytettä. Lisäksi testattiin karkeiden rasvasuodattimien merkitystä. Ensimmäinen puolen tunnin näyte ajettiin ilman keskimmäistä karkeaa rasvasuodatinta. Näytteiden tarkat ilmavirrat löytyvät liitteestä I.

Toisessa koeajossa rasvahöyryt pakotettiin rasvasuodattimen läpi. Suodatinlevyt olivat 43cm x 45,6cm x 0,8 cm kokoisia ja niitä sijoitettiin kaksi kappaletta liesituulettimen huuvaan 3 cm korkeudelle huuvan reunasta ja 45 cm korkeudella paistettavasta rasvasta. Suodatinlevyt oli pinnoitettu TiO<sub>2</sub>:lla ja lämpökäsitelty 350 °C lämpötilassa. Poistoilmapuhallus oli toisen koeajon kolmen eri rinnakkaisnäytteen kohdalla 183 l/s. Ilmakeräimen tilavuusvirta vaihteli 2,884–3,025 l/min. Tavoitteena oli pitää ilmakeräimen virtausnopeus 3 l/min. Jokaista rinnakkaisnäytettä ajettiin 60 minuuttia ja rinnakkaisia näytteitä otettiin 3. Lämpötila pidettiin koko mittauksen ajan 170 °C:ssa.

Kolmannessa koeajossa tuotetut rasvahöyryt pakotettiin rasvasuodattimen ja UV-valosuodatuksen läpi. Rasvasuodatinlevyt olivat samankokoisia, kuin toisessa koeajossa, mutta ne eivät olleet pinnoitettu titaanioksidilla. UV-lamput (Scandymet 40 W/870) sijoitettiin rasvasuodatinlevyjen päälle. UV-lamppuja oli kuusi ja niiden tehokkuus oli 40 W/lamppu. Rinnakkaisia koeajoja suoritettiin kolme ja jokainen koeajo oli tunnin mittainen. Poistoilmapuhallus oli 181 l/s. UV-valosuodatuksen rinnakkaisia näytteitä otettiin vain kaksi mittausajan rajallisuuden vuoksi. Lämpötila pidettiin 170 °C kummallakin näytteenottokerralla.

Neljännessä koeajossa rasvahöyryt suodatettiin UV-valon ja TiO<sub>2</sub>-pinnoitettujen suodatinlevyjen läpi. Poistoilmapuhallus oli 182 l/s ja koeajosta otettiin kolme rinnakkaista

näytettä. Jokaista näytettä kerättiin tunnin verran ilmavirran vaihdellessa välillä 2,901–2,930 l/min lämpötilan ollessa 170 °C. Tarkat ilmavirrat on esitetty liitteessä I.

## 4.2 Näytteenotto ja analysointi

Näytteen analysointi FTIR-laitteella perustuu kvantitatiiviseen analysointiin. FTIR-laitteella selvitettiin rasvakomponenteissa tyypillisesti esiintyvien sidosten lukumäärää näytteessä. Orgaanisten sidosten lukumäärän avulla voitiin päätellä, kuinka paljon eri menetelmät olivat pystyneet hajottamaan rasvaa verrattuna toisiinsa. Rasvat ovat pitkiä usein haaroittumattomia hiiliketjuja, joissa on mukana karboksyyli-ryhmä. Niissä on siis paljon hiili-vety- ja hiili-happikaksoissidoksia. Rasvan suodatuksen tulisi eri menetelmien avulla pienentää näiden sidosten määrää, joten FTIR-laitteella mitattiin kuinka paljon näytteestä löytyy C-H ja C=O sidoksia.

### 4.2.1 Kalibrointi

Näytteiden hiili-vety- ja hiili-happisidosten määrä haluttiin selvittää kvantitatiivisella analyysillä. Kvantitatiivisessa analyysissä selvitettiin kalibrointisuoran avulla näytteissä olleiden sidosten määrä. Kalibrointisuoraa varten tehtiin useanlaisia konsentraatioita sisältäviä liuoksia, jotka vastasivat näytteissä esiintyviä konsentraatioita. Kalibrointinäytteiden synnyttämistä spektreistä muodostettiin korrelaatio-suora. Korrelaatio-suora muodostettiin käyttämällä pienimmän neliösumman menetelmää eli lineaarista regressiota. Linearisessa regressiossa pyritään siihen, että laskennan jäännösneliösumma saisi pienimmän mahdollisen arvon. Menetelmän avulla kalibrointifunktiot sovitettiin kalibrointinäytteiden dataan, jolloin saadaan lineaarinen suora absorbanssin suhteen konsentraatioon. Tämän korrelaatio-suoran avulla pystytään määrittämään tuntemattomien näytteiden pitoisuudet. (Skoog et al. 1998, 404–411.)

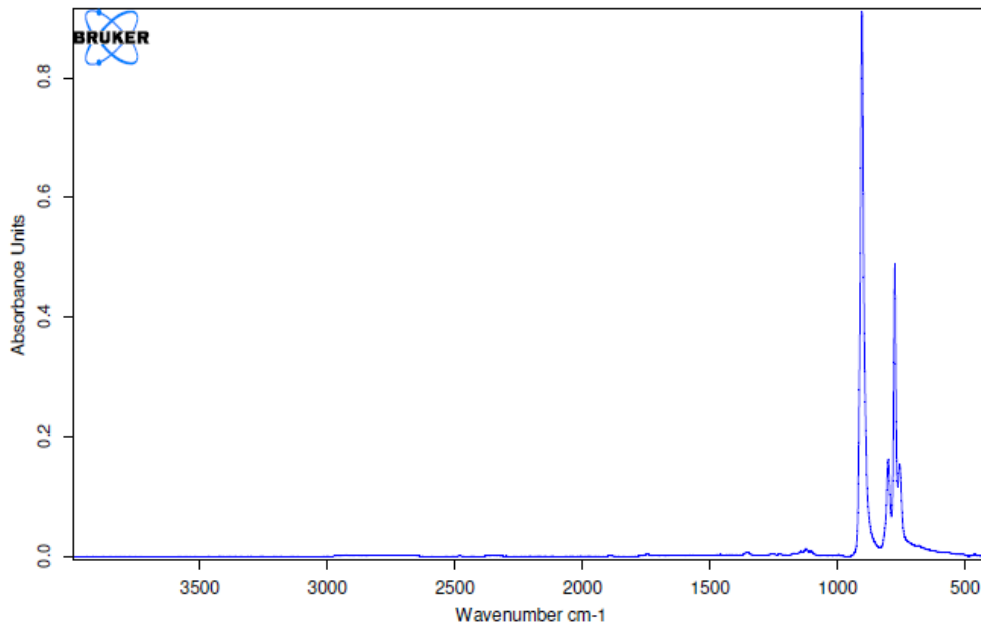
Tässä työssä kalibrointisuora muodostettiin käyttämällä auringonkukkaöljyä, sillä se sisälsi samoja aineita kuin paistamisessa usein käytetyt kasvipäriset rasvat. Kalibrointi liuokset tehtiin muodostamalla kahdeksan 1 ml:n liuosta auringonkukkaöljystä ja

tetrakloorietyleenistä. Jokaisessa liuoksessa oli erilainen konsentraatio. Tulokset esitettiin kuvaajissa mg/ml määrinä ja kalibrointinäytteet on tehty µl/ml. Taulukossa 1 onkin esitetty mikrolitramäärät sekä milligrammamäärät auringonkukkaöljyille eri kalibrointinäyteliuoksissa. Pitoisuudet mg/ml saatiin laskettua, kun tiedettiin auringonkukkaöljyn tiheys.

**Taulukko 1.** Kalibrointiliuosten auringonkukkaöljyn määrät.

Näyte	Auringonkukkaöljy	
	µl/ml	mg/ml
0	0	0,0
1	5	4,6
2	10	9,2
3	20	18,4
4	50	46,0
5	100	92,0
6	200	184,0
7	500	460,0

Analyysilaitteena käytettävän FTIR:n takia auringonkukkaöljynäytteeseen laitettiin tetrakloorietyleeniä. Tetrakloorietyleeniä (TEC) käytettiin liuottimena, johon erilaisia määriä auringonkukkaöljyä liuotettiin. TCE:n avulla pystyttiin mittaamaan erilaisia auringonkukkaöljypitoisuuksia, sillä siinä ei ole hiili-vetysidoksia eikä hiili-happikaksoissidoksia tai muita sidoksia, jotka absorboisivat tutkittavalla alueella. TCE on orgaaninen yhdiste, joten auringonkukkaöljy helposti liukeni. Tetrakloorietyylin spektri on esitetty kuvassa 3.



**Kuva 3.** Tetrakloorietyylin spektri FTIR:llä.

Saadun auringonkukkaöljystä ja tetrakloorietyleenistä muodostuneen spektrin avulla muodostettiin korrelaatio-suorat. Korrelaatio-suorat muodostettiin vain C-H ja C=O -sidosten värähtelyalueille. Korrelaatiokerroin kuvaa absorbanssin ja rasvapitoisuuden välisen lineaarisen riippuvuuden voimakkuutta. Korrelaatiokertoimen tulee olla lähellä yhtä, jotta testi on merkittävä.

$$r = \frac{\sum((Z_i - Z_n)(Y_i - Y_n))}{\sqrt{\sum(Z_i - Z_n)^2 \sum(Y_i - Y_n)^2}} \quad (6)$$

r = korrelaatiokerroin

Z = todellinen konsentraatio

Y = ennustettu konsentraatio

Korrelaatio-suoraa muodostettaessa voidaan laskea parametrien ennusteen ja todellisen arvon ero eli sigma ( $\sigma$ ). Todellinen arvo on altis inhimillisille mittausvirheille. Sigma voidaan laskea, kun tiedetään laskennallisesti oikeat arvot.

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{M-F} \sum(Z_i - Y_i)^2} \quad (7)$$

$\sigma$ = virhe analysoitujen arvojen ja oikeiden arvojen välillä

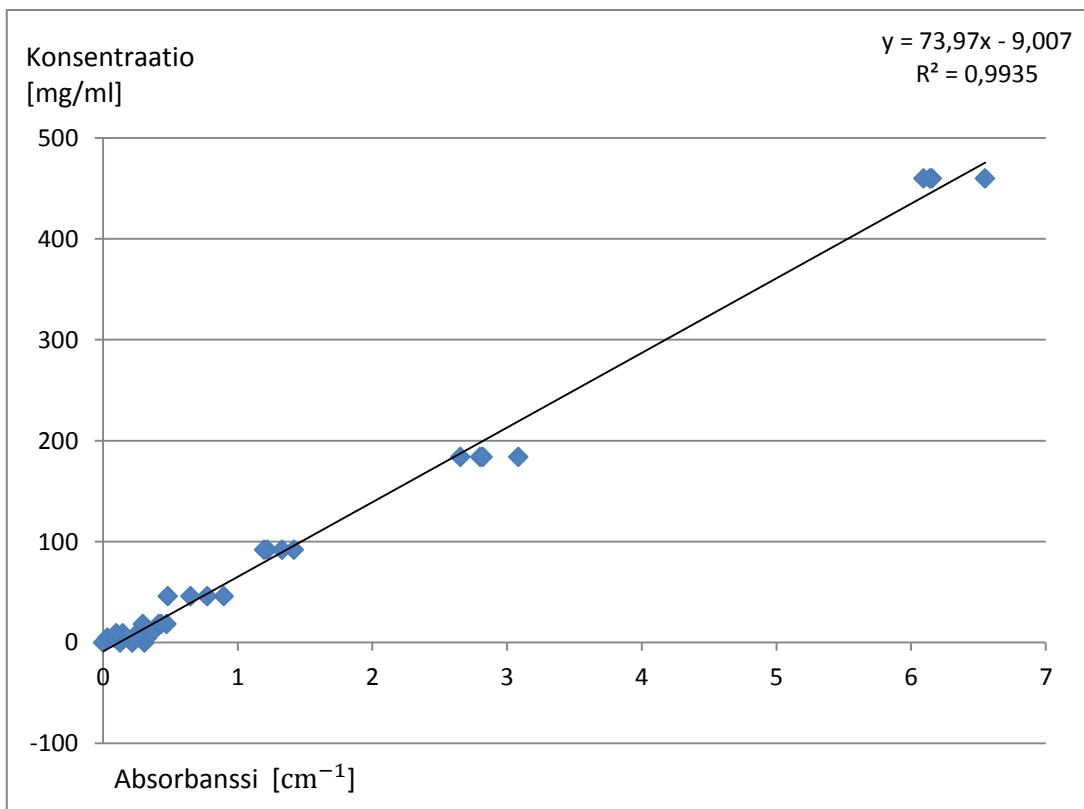
M= kalibrointien määrä

F= vapausaste

Z= todelliset konsentraatiot

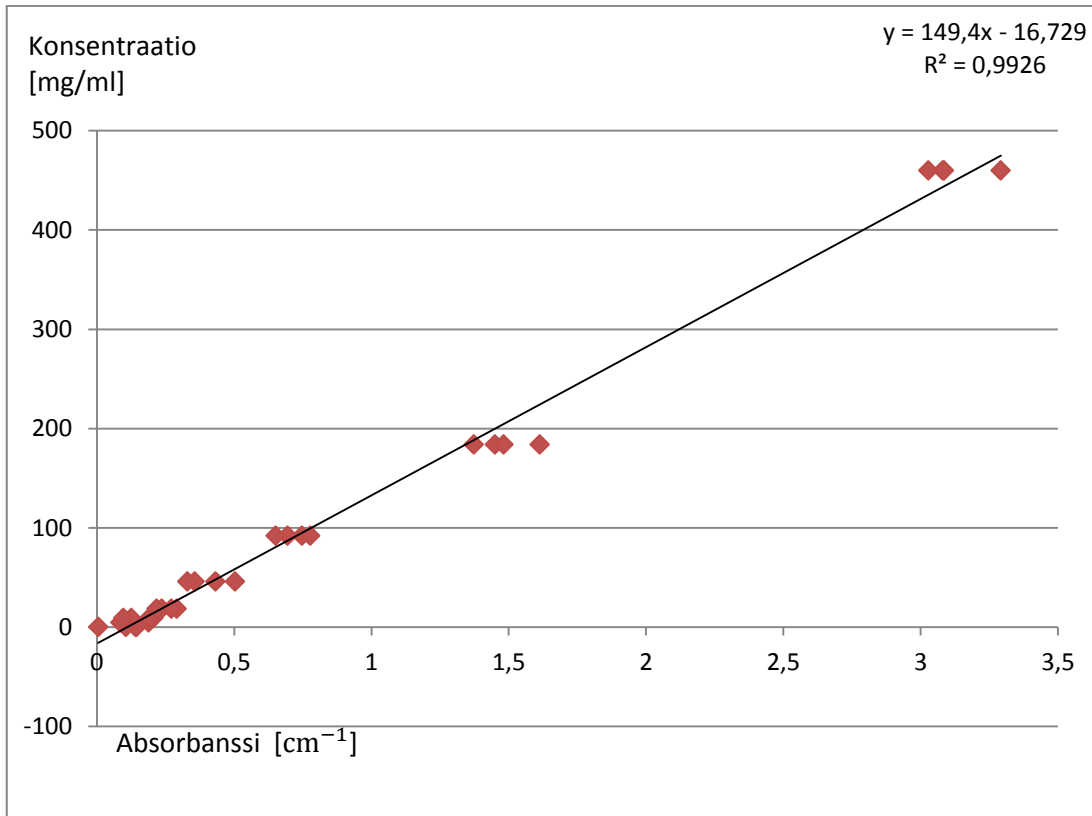
Y= ennustetut konsentraatiot

C-H sidoksille ja C=O -sidoksille muodostettiin molemmille oma korrelaatio suoransa, jotta voitiin tarkastella rasvojen hajoamista eri suodatusmenetelmillä. Ideaalitulanteessa suodatuksen jälkeen rasvasta on jäljellä vain hiilidioksidia ja vettä, eikä ollenkaan orgaanista rasvaa. Eri korrelaatio suorien perusteella, voitiin selvittää kummankin sidosten määrät erikseen. Kuvasta 4 nähdään hiili-vety sidosten absorbanssin ja kalibroinnin funktiona korrelaatio suora. Korrelaatiokerroin oli 0,994 eli riittävän hyvä, jotta suoraan voitiin sovittaa analysoitavat näytteet.



**Kuva 4.** Kalibrointiliuoksista tehty korrelaatio suora C-H sidoksille konsentraation ja absorbanssin suhteena.

Kalibrintiliuksista tehtiin oma korrelaatio suora C=O sidoksille, joka on esitetty kuvassa 5. Kuvasta nähdään, että korrelaatiokerroin oli 0,993, joka oli riittävän hyvä korrelaatio suoran käyttämiseksi. Kalibroinneista tehtyjä lineaarisia korrelaatio suoria voidaan pitää tilastollisesti merkittävänä, sillä molempien suorien korrelaatiokertoimet olivat lähellä arvoa 1.



**Kuva 5.** Kalibrintiliuksista tehty korrelaatio suora C=O sidoksille konsentraation [mg/ml] ja absorbanssin suhteena.

#### 4.2.2 Näytteen kerääminen ja ultraäänihaude

Rasva-aerosolit kohoavat ylöspäin ilmvirran mukana. Näytteen keräyskasetti sijoitettiin liesituulettimen hormiin 40 cm korkeuteen huuvasta, jolloin se oli 55 cm päässä suodatinlevyistä ja 60 cm päässä karkeista rasvasuodattimista. Nestemäisen rasvan, jota kuumennettiin, ja keräyskasetin välimatka oli 90 cm.

Näytteet kerättiin näytekasetteihin. Kasetissa oli sisällä lasikuitusuodatinpaperi, jonka läpi rasvahöyrynäytteet johdettiin. Näytekasetin toisessa päässä oli letku, jonka läpi ilmakeräimen imu veti tulevaa näyteilmaa. Ilmakeräin kerää liesituulettimeen tulevaa ilmaa 3 litraa minuutissa, jotta saataisiin selville kerätty kaasumäärä. Tietoja tarvittiin, kun laskettiin näytteissä olevia rasvapitoisuuksia.

Ilmakuupumpu (TSI Sidepak SP350) oli kiinnitetty virtamittariin (TSI 41040D), jotta tarkka imuvirta saatiin selville. Virtamittaria ennen oli vielä suodatin, joka esti ylimääräisten rasvahöyryjen pääsyn virtamittariin ja ilmapumppuun. Näytteiden keräämisen jälkeen lasikuitusuodattimet, joille rasva oli kerääntynyt, laitettiin dekantterilaseihin. Rasvasuodattimet uutettiin 1 ml tetrakloorietyleeniä. Rasva-tetrakloorietyyliuokset laitettiin ultraäänihauteeseen 15 minuutiksi uuttumaan. Tämän jälkeen seoksia pidettiin 15 minuuttia huoneenlämmössä.

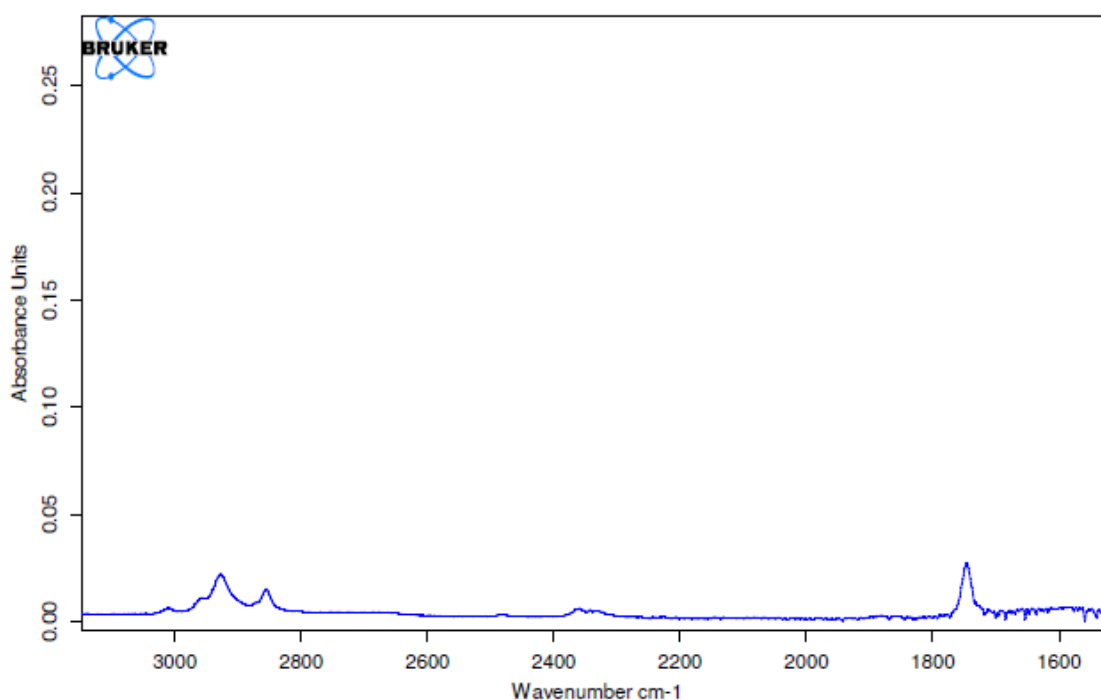
#### 4.2.3 Näytteiden analysointi FTIR-laitteella

Ultraäänihauteen jälkeen näytteet voidaan analysoida FTIR-laitteella. FTIR laitteessa IR-säteily törmää molekyyliin, jolloin absorptio korreloi tietyllä taajuusalueella. Detektorin mittaa säteen poistuessa näytteessä syntyvää hajontaa ja synnyttää spektrin. Spektrin piikeistä voidaan lukea, kuinka paljon eri sidoksia näytteestä löytyy. Tutkittavat C-H sidokset synnyttävät piikit  $2850\text{--}2970\text{ cm}^{-1}$  alueelle ja C=O sidosten piikit syntyvät alueelle  $1690\text{--}1790\text{ cm}^{-1}$ . (Hatakeyma ja Quinn 1994, 107.)

Uutetuista näytematriiseista otettiin mikropipetillä pieni näyte ja laitettiin FTIR analysointilaitteeseen (Vertex 70 platinum atr Bruker). Näytteet analysoitiin Opus-ohjelmalla resoluution ollessa 2 ja jokaisesta näytteestä ajettiin 32 spektriä. Virheiden havaitsemiseksi ennen näytteiden ajamista suoritettiin taustan ja nollanäytteen ajo. Nollanäytteessä oli käyttämätön lasikuitusuodatinpaperi sekä tetrakloorietyleeniä. Nollanäytteen spektrin havaittiin vastaavan TCE:n spektriä, jolloin voitiin todeta, ettei lasikuitusuodatinpaperi, käytettävät dekantterilasit tai TCE aiheuttaneet piikkejä C-H ja C=O sidosten alueelle spektrissä.

### 4.3 Tulokset ja havainnot

Ensimmäisen koeajon kaikki neljä näytettä analysoitiin erikseen FTIR-spektrofotometrillä. Analysoinnissa huomattiin, että olosuhteista johtuen vain yhdestä näytteestä saatiin IR-laitteella näkyvä spektri. Ensimmäinen koeajo suoritettiin ilman rasvasuodattimia, joten sitä käytettiin vertailunäytteenä. Kuvassa 6 näkyy ensimmäisen koeajon näytteestä muodostuneet piikit. C-H sidosten absorbanssihiikit havaittiin aaltoluvulla  $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$  ja C=O sidosten piikit havaittiin aaltoluvulla  $1800\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ . Kaikista koeajoista analysoitiin yksi onnistunut rasvanäyte, jolloin pystyttiin tarkastelemaan sidosten määrien pienentymistä eri suodatusvaiheessa. Toisen, kolmannen ja neljännen koeajon spektrit on esitetty liitteessä II.



**Kuva 6.** Ilman suodattimia otetun rasvanäytteen spektri.

Näytteiden spektrejä verrattiin ulkoisella standardilla tehtyyn kalibroitaisuoraan, jolloin saatiin laskettua C-H ja C=O sidosten määrät näytteissä. Ensimmäinen koeajo tehtiin ilman rasvasuodattimia, toinen TiO<sub>2</sub>-pinnoitettujen suodatinlevyjen kanssa, kolmas rasvasuodattimen ja UV-valon kanssa sekä neljäs rasvasuodattimen ja TiO<sub>2</sub>-pinnoitettujen

suodattimen kanssa. Huomattiin, että rasvan määrä näytekasetissa väheni suodatusmenetelmien edetessä. Taulukossa 2 on esitetty FTIR-laitteella saadut hiilivetysidosten (C-H) arvot sekä mittauksissa mitattu ilmavirran nopeus. Taulukossa 3 on esitetty vastaavasti hiili-happikaksoissidosten (C=O) arvot. Rasva-aerosolipitoisuudet ilmoitettiin Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa yksikössä  $\text{mg}/\text{m}^3$ , kun haluttiin tarkastella hengitysilman pitoisuuksia. Rasvapitoisuudet mitattiin  $\text{mg}/\text{ml}$  näytteessä, josta laskettiin ilman rasva-aerosolipitoisuus  $\text{mg}/\text{m}^3$ .

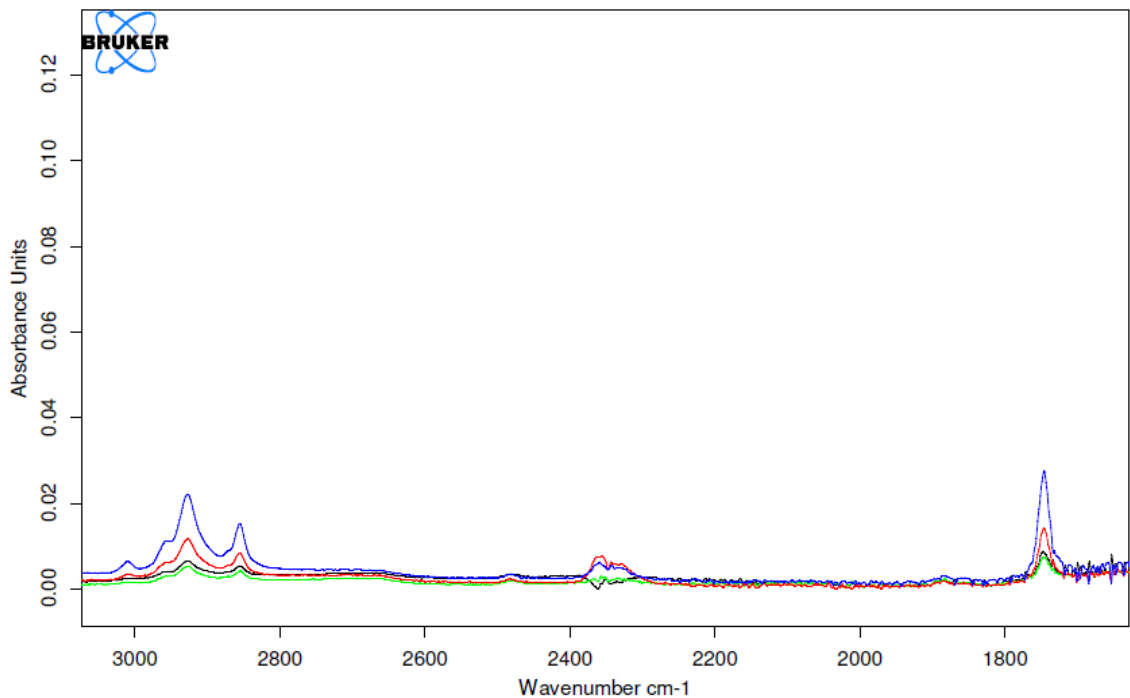
**Taulukko 2.** C-H sidosten määritetyt ja lasketut arvot.

Näyte	Ilmavirta [l/min]	Mittaus aika [min]	Ilman tilavuus [ $\text{m}^3$ ]	Rasvan määrä [mg/ml]	Rasvan määrä [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
Ilman suodatinta	3,24	60	0,194	64,150	330,089
TiO <sub>2</sub> -suodatin	2,88	60	0,173	28,348	163,823
UV-valo	3,02	60	0,181	7,414	40,973
UV/TiO <sub>2</sub>	2,93	60	0,176	6,823	38,809

**Taulukko 3.** C=O sidosten määritetyt ja lasketut arvot.

Näyte	Ilmavirta [l/min]	Mittaus aika [min]	Ilman tilavuus [ $\text{m}^3$ ]	Rasvan määrä [mg/ml]	Rasvan määrä [ $\text{mg}/\text{m}^3$ ]
Ilman suodatinta	3,24	60	0,194	48,258	248,319
TiO <sub>2</sub> -suodatin	2,88	60	0,173	18,678	107,939
UV	3,02	60	0,181	5,979	33,040
UV/TiO <sub>2</sub>	2,93	60	0,176	Ei havaintoa	Ei havaintoa

Näytteiden analysoinnissa FTIR-laitteella, jokaisen koeajon näytteistä muodostettiin erilliset spektrit. Spektrien avulla voitiin seurata orgaanisen rasvan vähenemistä suodatusmenetelmien muuttuessa. Kuvassa 7 on esitetty jokaisesta koeajosta muodostetut spektrit samassa kuvassa. Kuten ensimmäisen koeajon kuvassa, C-H sidosten absorbanssi havaittiin aaltoluvulla  $3000\text{--}2800\text{ cm}^{-1}$  ja C=O sidosten aaltoluvulla  $1800\text{--}1600\text{ cm}^{-1}$ .



**Kuva7.** Rasvasuodatuksissa saadut spektrit.

Sininen spektri esittää ilman rasvasuodattimia suoritettua koeajoa. Punainen spektri kuvaa toista koeajoa, jossa käytettiin vain  $\text{TiO}_2$ -pinnoitettuja rasvasuodattimia. Musta spektri esittää kolmatta koeajoa, jossa käytettiin UV-valoa ja suodatinlevyjä, joita ei ollut päällystetty  $\text{TiO}_2$ :lla. Neljäs koeajo on esitetty kuvassa vihreänä spektrinä. Neljännessä koeajossa käytettiin sekä UV-valoa että  $\text{TiO}_2$  päällystettyjä suodatinlevyjä. Kuvasta 7 huomattiin, kuinka rasvan sisältämien sidosten määrät pienenevät suodatuskertojen mukaan.

Kuvasta 7 voidaan todeta sidosten määrän pienenevän suodattimien avulla. Ilman suodattimia ajetusta näytteestä mitattiin rasvan määrä, josta laskettiin, kuinka paljon rasvaa on vähentynyt erilaisilla suodatusmenetelmillä. Huomattiin, että C-H ja C=O -sidosten

määrä näytteistä väheni eri tavalla suodatusmenetelmistä riippuen, joten molempien sidosten määrät on laskettu erikseen. Vähentynyt rasvanmäärä laskettiin yksikössä  $\text{mg}/\text{m}^3$  sekä prosentuaalisena vähennyksenä, jotka on esitetty taulukossa 4.

**Taulukko 4.** Rasvan määrän pienentyminen suodatusten edetessä. Vähentynyt rasvan määrä on laskettu siitä määrästä, mikä saatiin tulokseksi ensimmäisessä koeajossa ilman suodattimia.

Alkuperäinen rasva	$\text{mg}/\text{m}^3$		Alkuperäinen rasva	$\text{mg}/\text{m}^3$	
C-H	330,089		C=O	248,319	
Vähennys	$\text{mg}/\text{m}^3$	%	Vähennys	$\text{mg}/\text{m}^3$	%
TiO <sub>2</sub>	166,266	50,37	TiO <sub>2</sub>	140,380	56,53
UV	289,117	87,59	UV	215,278	86,69
TiO <sub>2</sub> /UV	291,280	88,24	TiO <sub>2</sub> /UV		

## 5 JOHTOPÄÄTÖKSET

Kandidaatin työssä testattiin rasvan suodatusmenetelmiä käyttäen hyväksi suodatuslevyjä ja UV-valoa. Koeajoja tehtiin neljä, joista ensimmäisessä koeajossa ei käytetty kuin karkeita syklonirasvankeräimiä. Näin saatiin 60 minuutin koeajossa syntyvien rasva-aerosolien määrä, kun rasvaa pidettiin 170 °C lämpötilassa. Ensimmäisessä koeajossa näytekasettiin kerääntyneen rasvan määrän avulla, pystyttiin päättelemään, kuinka paljon jokainen suodatusmenetelmä vähensi rasva-aerosolinen määrää näytteessä. Orgaanisen rasvan määrän selvittämiseksi FTIR-spektrometrillä analysoitiin erikseen C-H ja C=O sidosten määrät näytteessä.

Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksessa todettiin, että suurimmat rasva-aerosolipitoisuudet syntyvät käytettäessä tavallista paistamismenetelmää, jossa rasva pääsee roiskumaan ja muuntumaan korkeissa lämpötiloissa (Vainiotalo ja Matveinen 1993). Auringonkukkaöljyn tavallinen käyttölämpö on 160–180 °C. Koeajojen järjestelyt vastaavat siis normaaleja ravintolatyöskentelyn olosuhteita.

Toinen koeajo suoritettiin käyttämällä rasvansuodatuslevyjä, jotka oli päällystetty TiO<sub>2</sub>:lla. C-H sidosten määrä pieneni 50 % alkuperäisestä ja C=O sidokset pienenivät 57 %. Rasva-aerosolit hajosivat osittain TiO<sub>2</sub> toimiessa katalyyttina, joka kiihdytti hapettumis-pelkistymisreaktiota elektroni-aukkoparien avulla (Molinari et al. 2002, 399). TiO<sub>2</sub>-katalyytin avulla saatiin siis rasva-aerosolien määrä laskemaan puoleen alkuperäisestä. TiO<sub>2</sub> toimii hyvänä ja ympäristöystävällisenä rasvan hajottajana, mutta sen hajotustehokkuutta voitaisiin vielä parantaa lämmön tai valon avulla, sillä nämä kiihdyttävät fotokatalyysia. TiO<sub>2</sub>-suodatuslevyt toimivat toisen koeajon yhteydessä myös normaaleina rasvansuodatuslevyinä, jolloin niiden erotusteho perustui elektroni-aukkoparien lisäksi rasva-aerosolien törmäämiseen suodatinlevyverkkoon. Tällöin suurimmat rasvapartikkelit eivät päässeet siitä läpi.

UV-valoa kokeiltiin ensin ilman TiO<sub>2</sub>-levyjä, selvittämään kuinka hyvin UV-valo hajottaa rasva-aerosoleja. Kolmannessa koeajossa todettiin, että UV-valolla on suuri merkitys rasva-aerosolien hajoamisessa. C-H sidosten määrä väheni 88 % ja C=O 87 %. UV-valolla suodattaessa C-H sidosten määrä väheni 42 % enemmän ja C=O sidosten määrä 35 % enemmän kuin pelkillä TiO<sub>2</sub>-suodatuslevyillä suodattaessa. UV-valon on tehokkaampi rasva-aerosolien hajotusmenetelmä kuin TiO<sub>2</sub>-suodatinlevy, sillä UV-valo hajottaa molekyyliä. Taulukkoon 5 on vertailtu, kuinka paljon eri suodatusmenetelmät vähentävät rasva-aerosoleja vertailtuna toisiinsa.

**Taulukko 5.** Suodatusmenetelmien suodatustehoa vertailtuna toisiinsa.

Menetelmä	C-H vähennys [%]	C=O vähennys [%]
UV-valo verrattuna TiO <sub>2</sub> -suodatukseen	42,49	34,79
UV/TiO <sub>2</sub> verrattuna TiO <sub>2</sub> -suodatukseen	42,92	
UV/TiO <sub>2</sub> verrattuna UV-valoon	0,74	

TiO<sub>2</sub> toimii katalyyttinä rasva-aerosolireaktiossa myös ilman UV-valoa, kuten koeajossa kaksi todettiin. UV-valo kuitenkin kiihdyttää TiO<sub>2</sub> pinnalla tapahtuvia reaktiota. Kolmannessa koeajossa huomattiin, että UV-valo toimii itsenäisesti rasvan hajottajana. Todennäköisesti rasva-aerosolien määrän tulisi olla pienin, kun suodatuksessa käytetään sekä UV-valoa että TiO<sub>2</sub>:a. Neljäs koeajo tehtiin UV/TiO<sub>2</sub>-menetelmällä, jolloin orgaanisen rasvan C-H sidosten määrä pieneni 88 % verrattuna alkuperäiseen ilman suodattamia mitattuun rasvaan.. C=O sidosten määrää ei pystytty havaitsemaan FTIR-laitteella, joten sen vähenemisestä ei ole tarkkaa tietoa. Teorian mukaan C=O sidostenkin olisi pitänyt vähentyä enemmän kuin aikaisemmissa suodatusmenetelmissä.. UV/TiO<sub>2</sub> menetelmä suodatti 0,74 % enemmän C-H sidoksia, kuin pelkällä UV-valon avulla tehty suodatus. UV/TiO<sub>2</sub> menetelmiä toimi siis hieman tehokkaammin kuin pelkkä UV-valo. C-H sidosten suodattumista verratessa UV/TiO<sub>2</sub> menetelmä oli 43 % tehokkaampi kuin TiO<sub>2</sub> katalyyttisuodatus.

UV-valon ja TiO<sub>2</sub>-levyjen avulla suoritettu rasvasuodatus vähensi eniten rasva-aerosolien määrää. Koeajoista saatiin vain yksi rinnakkaisnäyte analysoitua FTIR:llä, vaikka mittausolosuhteet eivät muuttuneet. Tämä tuo epävarmuutta saatuihin tuloksiin. Toisaalta rasvan määrä näytteessä väheni loogisesti suodatusteorian mukaan. Tämän perusteella UV/TiO<sub>2</sub>-menetelmää voidaan pitää tehokkaimpana tapana hajottaa rasva-aerosoleja liesituulettimesta. Huomattavaa on myös se, että UV-valon ja suodatinlevyjen, joissa ei ollut TiO<sub>2</sub>, avulla suodatuksessa hävisi huomattavan suuri osa rasvaa. UV-valo on siis merkittävä rasvan hajottaja, jota voi käyttää liesituulettimessa myös ilman TiO<sub>2</sub> päällystettyjä suodatinlevyjä. UV-valolla suodattaessa on huomioitava, että se tuottaa myrkyllistä otsonia. TiO<sub>2</sub>-katalyytillä voidaankin mahdollisesti vähentää energiankulutusta ja myös välttää otsonista aiheutuvat riskit.

## 6 YHTEENVETO

Rasva-aerosolit aiheuttavat haittoja julkisissa keittiöissä. Kun liesituuletin ei ole tarpeeksi tehokas, se ei ime rasva-aerosoleja vaan ne ajautuvat hengitysilmaan. Hengitysilmassa rasva-aerosolit aiheuttavat työntekijöille terveysongelmia ja rasvoittavat komponentteja. Likaantuneet liesituulettimet ovat myös paloturvallisuusriski. Rasva-aerosolit takertuvat liesituulettimen laitteisiin ja keräävät itseensä tuhkaa sekä muita partikkeleja samalla heikentäen liesituulettimen tehoa.

Tässä kandidaatintyössä tutkittiin suodatusmenetelmiä, joilla voitaisiin vähentää liesituulettimeen kerääntyvää rasvanmäärää. Suodatuksella hajotettiin rasva-aerosolit pienemmiksi ja harmittomimmiksi komponenteiksi. Suodatuksessa käytettiin UV-valoa ja  $\text{TiO}_2$ :a, sillä ne edistivät rasva-aerosolien hajoamista, jolloin ideaalisessa tilassa orgaanisesta rasvasta pitäisi jäädä jäljelle vain hiilidioksidia ja vettä.

Rasvasuodatus mittauksissa elintarvikekaupan auringonkukkaöljyä, joka on tyypillinen ruuanlaittoöljy, lämmitettiin  $170^\circ\text{C}$  lämpötilaan. Korkeat ruuanlaittolämpötilat ja normaali pannulla paistaminen synnytti Vainiotalon ja Matveisen tutkimuksen mukaan eniten haitallisia rasva-aerosoleja (Vainiotalo ja Matveinen 1993). Rasvaa suodatettiin Jeven Oy:n poistoilmasuodatinlaitteistolla ja rasva-aerosolinäytteet kerättiin näytteenottokasetteihin, jotka sijaitsivat liesituulettimen hormissa suodatinlaitteistojen yläpuolella. Rasvaa lämmitettiin 60 minuuttia kerrallaan ja syntyvät aerosolit kerättiin kasetteihin ilmakeräinpumpun avulla.

Työssä haluttiin selvittää 60 minuutissa syntyvien rasva-aerosolien määrä  $170^\circ\text{C}$  lämpötilassa, joten ensimmäisessä koeajossa ei käytetty ollenkaan rasvasuodattimia. Rasva-aerosolien määrä analysoitiin FTIR-laitella, jolla pystyttiin havaitsemaan orgaanisessa rasvassa olevien hiili-vetyksidosten (C-H) ja hiili-happikaksoissidosten (C=O) määrä näytteissä. Sidoksien määrä näytteestä laskettiin ulkoisen standardin avulla. Analysoidessa huomattiin, että rasvan määrä väheni, kun käytettiin suodatinlaitteistoja. Toisessa koeajossa käytettiin  $\text{TiO}_2$ -pinnoitettuja suodatinlevyjä, jolloin C-H sidosten määrä laski 50 % ja C=O sidosten 57 %.

Kolmannessa koeajossa käytettiin suodatuksessa UV-valoa ja suodatinlevyjä, joissa ei ollut TiO<sub>2</sub>-pinnoitetta. Rasvan määrä pieneni yli 87 % verrattuna ilman suodattimia saatuun rasvanmäärään. Neljännessä koeajossa käytettiin UV-valoa ja TiO<sub>2</sub>-pinnoitettuja suodatinlevyjä, jolloin saatiin rasvanmäärä pienenemään vielä hieman lisää. Tulosten perusteella UV-valon ja TiO<sub>2</sub>:n avulla rasvanmäärää liesituulettimessa pystytään vähentämään huomattavan paljon. Tästä voitiin päätellä, että UV/TiO<sub>2</sub>-menetelmä on tehokas estämään liesituulettimen likaantumista. Tulosten perusteella voidaan UV-valoa pitää merkittävimpana tekijänä. On kuitenkin otettava huomioon, että UV-valon käyttö muodostaa otsonia. TiO<sub>2</sub>-katalyytin avulla voitaisiinkin vähentää tehontarvetta ja välttää otsonista aiheutuvia riskejä.

## **7 KIITOKSET**

Kandidaatintyöntekijä haluaa kiittää Jeven Oy:tä. Opinnäytetyö tehtiin yhteistyössä Jeven Oy:n kanssa. Liesituuletin laitteistoon kuului poistoilmahuuva, syklonirasvanerottimek, poistoilmakanava ja lisättävät suodatinlevyt, jotka Jeven Oy toimitti ja asensi paikalleen.

## LÄHTEET

Borgan J., Kristoffersen L., 1986 Norsk Statistikk. Oslo: Statistisk Sentralbyrå.

D'Antonio, Peter C., 2004. Grease Removal and Kitchen Exhaust System. Heating/Piping/Air Conditioning Engineering: HPAC 76. s. 23-28

Fujisima A., Raon, T.N., Tyrk, D.A., 2000. Titanium dioxide photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology C: Photochemistry Reviews 1. S.1-21

Hatakeyama T., Quinn F.X., 1994. Thermal analysis fundamental and applications to polymer science. Ibaraki, Japan: National Institute of Materials and Chemical Research.

Hoffman, I., Hoffman M., 1997. Optimization of Ultrasonic Irradiation as an Advanced Oxidation Technology. Environmental Science Technology 31. s.2237

International Agency of Research on Cancer, 1985. Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risk of Chemicals to Humans 36. s. 101-132

Jeven Oy 2013, JCE-Erotinyksikkö ammattikeittiöiden rasvanerotukseen[Jeven Oy:n www-sivuilta]. [Viitattu 14.3.2013]. Saatavissa: [http://www.jeven.com/mvhome/homepage\\_item\\_view.html?id=0000549&did=298&lang=fi&page\\_category\\_id=75350](http://www.jeven.com/mvhome/homepage_item_view.html?id=0000549&did=298&lang=fi&page_category_id=75350)

Kennedy, J., Costello, P., Balikian, J., Herman, P., 1981. Exogenous lipoid pneumonia. Am J Roentgenol 136. 9-1145

Mills, A., Le Hunte, S., 1997. An overview of semiconductor photocatalysis. Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 108. s.1

Molinari, Raffaele et al. 2002. Studies on various reactor configurations for coupling photocatalysis and membrane processes in water purification. *Journal of Membrane Science* 206. s.399

Skoog, Douglas A., Holler, James F., Nieman, Timothy A., 1998 *Principles of Instrumental Analysis*. Florida, Yhdysvallat: Harcourt Brace & Company.

Spickard, A., Hirschmann J., 1994. Exogenous lipoid pneumonia. *Arch Intern Med* 154. 92-686

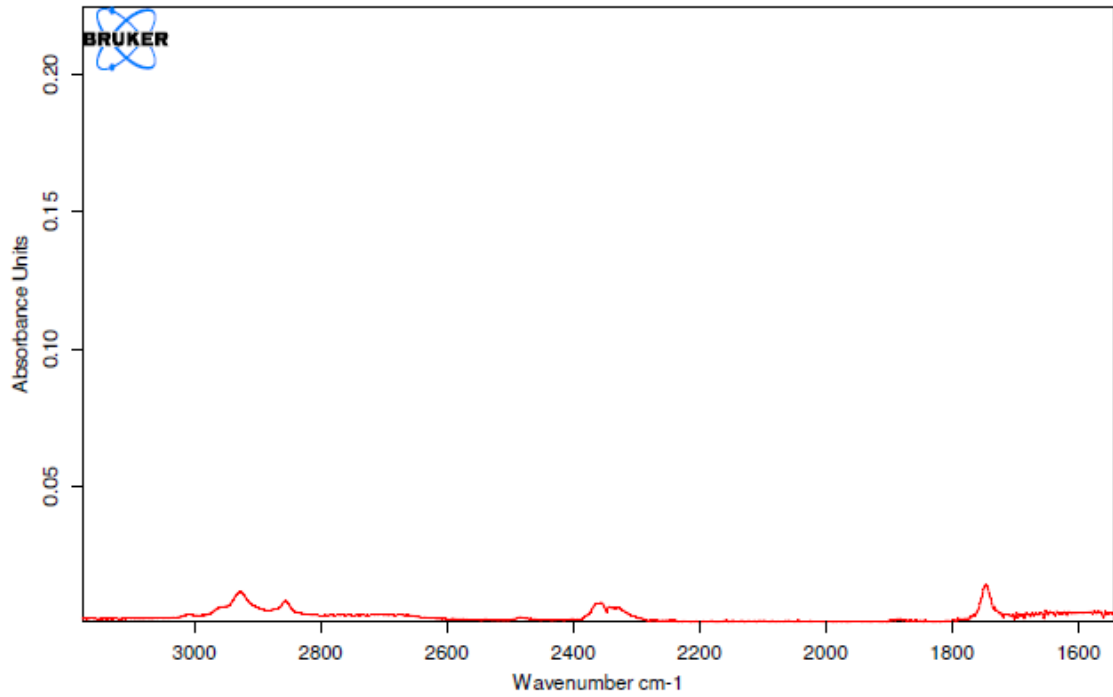
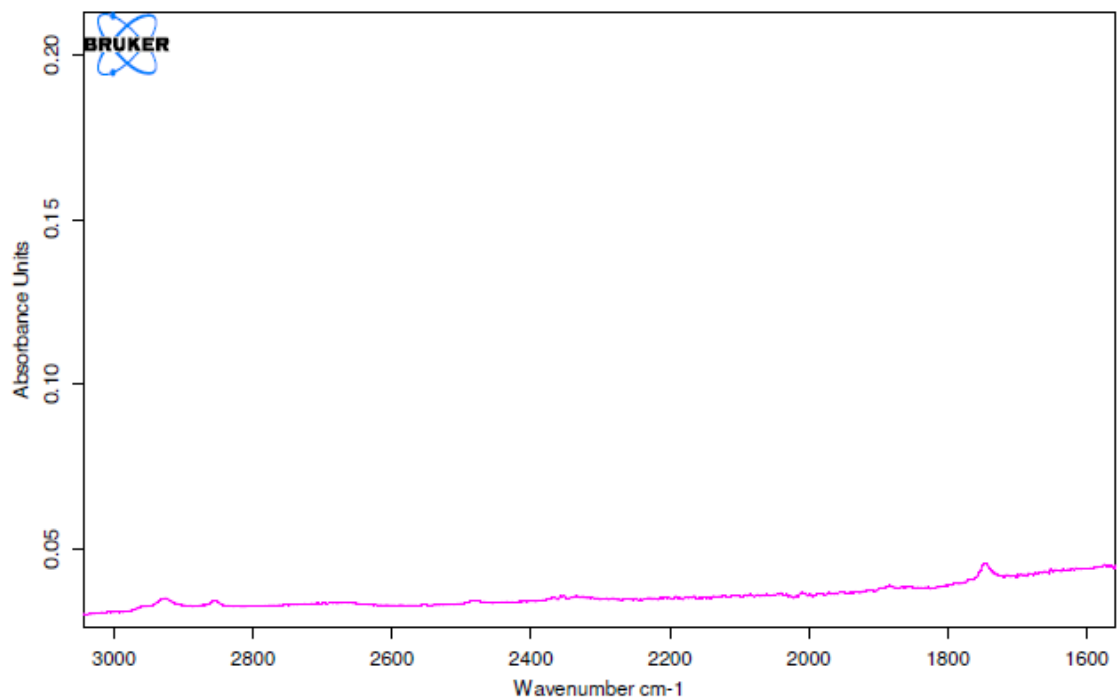
Svendsen, Kristin et al. 2001. Exposure to Cooking Fumes in Restaurant Kitchens in Norway. Trondheim, Norway: Department of Occupational Medicine, University Hospital of Trondheim.

Vainiotalo, Sinikka, Matveinen, Katri, 1993. Cooking fumes as a hygienic problem in the food and catering industries. *American Industrial Hygiene Association Journal* 54.7

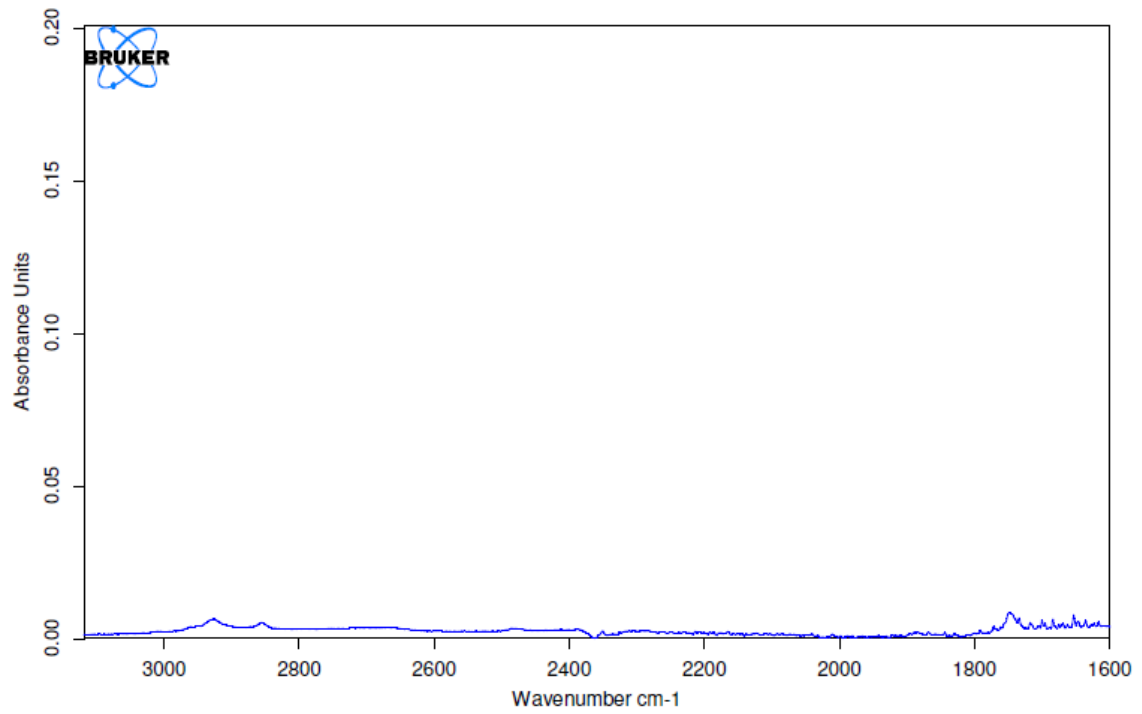
Wang, Jun et al. 2008. Treatment of nano-sized rutile phase TiO<sub>2</sub> powder under ultrasonic irradiation in hydrogen peroxide solution and investigation of its sonocatalytic activity. *Ultrasonics Sonochemistry* 15. s. 301

**Koeajojen pöytäkirja, johon on kirjattu näytteenottoaika, ilmavirta  
ilmakeräyspumpussa, rasvan lämpötila, poistoilmavirta sekä mitkä näytteet otettiin  
analysointiin**

Näyte	Aika [min]	Ilmavirta [l/min]	Lämpötila [°C]	Ilman tilavuus [l]	Poistoilma [l/s]	Analysoinnissa onnistuneet näytteet
Ilman suodatinta 1	60	3,019	170	181,14	181	
Ilman suodatinta 2	60	3,001	170	180,06	181	
Ilman suodatinta 3	60	3,239	170	194,34	181	Ilman suodatinta
Suodatin 1	60	2,905	170	174,3	183	
Suodatin 2	60	2,901	170	174,06	183	
Suodatin 3	60	2,884	170	173,04	183	TiO <sub>2</sub> - suodatuslevyjien kanssa
UV 1	60	3,016	170	180,96	180	UV-valon ja suodatuslevyn kanssa
UV 2	60	2,921	170	175,26	180	
TiO <sub>2</sub> 1	60	2,901	170	174,06	180	
TiO <sub>2</sub> 2	60	2,878	170	172,68	180	
TiO <sub>2</sub> 3	60	2,93	170	175,8	180	UV-valon ja TiO <sub>2</sub> - suodatuslevyjien kanssa

**TiO<sub>2</sub> suodatinlevyjen kanssa otetun näytteen (toinen koeajo) spektri FTIR:llä.****UV-valon ja suodatuslevyjen (ilman TiO<sub>2</sub>) otetun näytteen (kolmas koeajo) spektri FTIR:llä**

**UV-valon ja TiO<sub>2</sub>-suodatinlevyjen kanssa otetun näytteen (neljäs koeajo) spektri  
FTIR:llä.**



### Nestemäisen rasvan paino ja vähentyminen

Kohde	Paino [g]	HUOM!
Kattila	668	
Mittaus UV-valo		
Alkupaino	1119	
Rasvaa alussa	451	
Paino 3 mitt. jälkeen	1116	UV-valo mittaukset
Rasvaa 3 mitt. jälkeen	448	
Hävinnyt rasva / mitt.	1	
Mittaus UV/TiO <sub>2</sub>		
Alkupaino	1116	UV/TiO <sub>2</sub> mittaus 3
Loppupaino	1115	
Rasvaa hävinnyt	1	