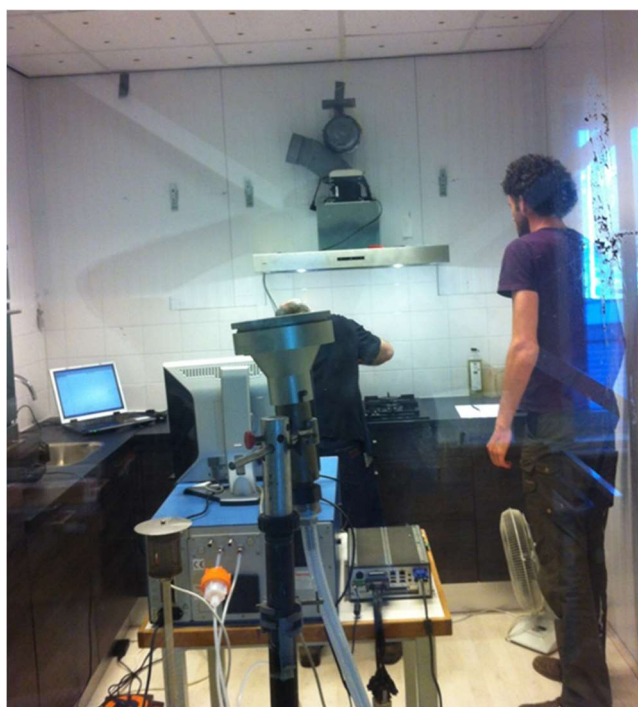


## Openbaar eindrapport

# Karakterisering en Energie Efficiënte reductie van Kookemissies (KEEK)

16 maart 2017



### Projectgegevens

Projectnummer: TKI-toeslag project 130702

Penvoerder: TNO

Medeaanvragers: ATAG Nederland B.V.

Bribus B.V.

Projectperiode: januari 2016 – januari 2017

Publicatiedatum: 15 september 2017

Contactpersoon: Piet Jacobs

*Het project is uitgevoerd met TKI toeslag subsidie van het ministerie van Economische Zaken voor TKI Urban Energy, Topsector Energie, [www.tki-urbanenergy.nl](http://www.tki-urbanenergy.nl)*

## Samenvatting

In moderne luchtdichte woningen zijn hoge fijnstof concentraties geconstateerd met als belangrijkste oorzaak koken. Het doel van dit project is om meer inzicht te verkrijgen welke schadelijke kookemissies optreden en om deze vervolgen te vergelijken met (inter)nationale criteria. Tweede doelstelling van het project is het ontwikkelen van fundamentele kennis om de efficiëntie van kookafzuiging te verhogen.

In het project zijn door Bribus en Atag twee keukens in een klimaatkamer van het TNO MEC lab ingebouwd. In de luchtdichte klimaatkamer kan de woning ventilatie exact worden nagebootst. In de ene keuken wordt op gas gekookt en in de andere keuken inductief. Uit fysische metingen blijkt dat dit een groot verschil in luchtstromingspatroon oplevert. Met de meetdata is een Computational Fluid Dynamic (CFD) model opgesteld. Met dit model zijn simulaties uitgevoerd om de vangst efficiëntie bij verschillende condities te testen. Er is een goede overeenkomst tussen de meetresultaten en de simulaties.

Vervolgens zijn voor een eenvoudige maaltijd, het gedurende 10 minuten bakken van hamburgers in olijfolie, onder gestandaardiseerde condities in het laboratorium zonder toepassing van een afzuigkap de kookemissies gekarakteriseerd:

- PM<sub>2.5</sub>: de emissie is sterk afhankelijk van de temperatuur, verhoging van de baktemperatuur van 180 naar 220 °C resulteert in een vier maal hogere fijnstof emissie tot piek concentraties tussen 600 en 900 µg/m<sup>3</sup>. Fijnstof wordt ook gevormd indien alleen olie wordt gebruikt.
- Roet: maakt 0,1 – 1,1% deel uit van het fijnstof. De gemeten maximum concentraties zijn in de orde grootte 0,9 – 3,0 µg/m<sup>3</sup>. Er is geen duidelijke relatie met de baktemperatuur vastgesteld.
- PAK's, er is geanalyseerd op 16 EPA PAK, er zijn geen noemenswaardig verhoogde concentraties gevonden.
- NO<sub>2</sub>: bij de hoogste baktemperatuur loopt de concentratie op tot 350 µg/m<sup>3</sup>.

De gemeten maximum concentraties PM<sub>2.5</sub> kunnen niet worden gerelateerd aan grenswaarden omdat voor fijnstof geen kortstondige grenswaarden zijn afgeleid. De maximum concentraties zijn factoren hoger dan de wettelijke jaargemiddelde buitenluchtwaarde in Nederland en de WHO advieswaarde van respectievelijk 25 en 10 µg/m<sup>3</sup>. Voor roet bestaat nog geen enkele grenswaarde. De in de laboratorium keuken gemeten piekwaarden zijn vergelijkbaar met typische jaargemiddelde waarden langs een drukke snelweg. Wat betreft NO<sub>2</sub> kan worden vergeleken met de uurgemiddelde buitenluchtwaarde van 200 µg/m<sup>3</sup> die maximaal 18 uur per jaar mag worden overschreden.

Aangezien nog weinig data beschikbaar is ten aanzien van de efficiëntie van recirculatie afzuigkappen ten aanzien van fijnstof en NO<sub>2</sub> is in overleg met de partners ervoor gekozen om een recirculatie afzuigkap uitgerust met een koolfilter en een plasma afzuigkap nader te beproeven bij koken op gas. Toepassing van de recirculatie- en plasmakap resulteerde in respectievelijk een verlaging van 28% en 31 van de PM<sub>2.5</sub> piekconcentratie. De relatief kleine reductie kan worden verklaard uit het feit dat koolfilters zeer open filters zijn die zijn ontworpen om geurstoffen af te vangen maar fijnstof vrijwel onbelemmerd doorlaten. De NO<sub>2</sub> piekconcentratie was bij toepassing van de recirculatiekap 67% lager. Bij gebruik van de plasmakap was de NO<sub>2</sub> piekconcentratie juist sterk verhoogd tot 667 en 1155 µg/m<sup>3</sup> (duplo meting). Dit kan worden verklaard doordat de plasmakap ook ozon genereert waardoor NO wordt omgezet tot NO<sub>2</sub> en mogelijk ook stikstof uit de lucht tot NO<sub>2</sub> omzet. Aanbevolen wordt om te onderzoeken of en hoe de afvangst efficiëntie van recirculatie afzuigkappen kan worden verbeterd. Hiertoe is het tki project VentKook gestart.

## Contents

Samenvatting .....	2
Inleiding.....	4
Doelstelling .....	4
Werkwijze en resultaat .....	5
WP 1 Karakterisering kookemissies .....	5
WP 1.1 Realisatie experimentele kookopstelling .....	5
WP 1.2 Karakterisering kookemissies & WP2.3 Experimentele toetsing kookprincipes .....	6
WP 1.3 Opzet en validatie CFD.....	9
WP 2 Principes voor efficiënte kookafzuiging.....	12
Recirculatiekap met koolfilter.....	12
Plasmakap .....	14
Publicaties/lezingen .....	16
Bijlage 1 Resultaten kookemissies.....	17
Test 1: bakken van hamburgers op 180 C.....	17
Test 2: bakken van hamburgers op 220 C.....	18
Test 3: bakken van hamburgers op 180 C.....	19
Test 4: bakken van hamburgers op 220 C.....	20
Test 5: bakken van hamburgers op 220 C.....	21
Test 6: verhitten van olie op 220 C .....	22
Test 7: bakken van hamburgers op 220 C met recirculatiekap .....	23
Test 8: bakken van hamburgers op 220 C met recirculatiekap .....	24
Test 9: bakken van hamburgers op 220 C met recirculatiekap (vrije uitblaas) .....	25
Test 10: bakken van hamburgers op 220 C met plasmakap .....	26
Test 11: bakken van hamburgers op 220 C met plasmakap .....	28
Bijlage 2 CFD modellering .....	30
1. Single cooking plate .....	30
1.1 Results electric cooking.....	31
1.2 Gas cooking .....	37
2. Simulation of hood efficiency .....	41
2.1 Simulation results hood efficiency at 300m <sup>3</sup> /h flow rate .....	44
2.2 Simulation results hood efficiency at 75m <sup>3</sup> /h flow rate .....	44
3. Summary .....	45
Bijlage 3 Analyse rapport PAK's.....	46

## Inleiding

In moderne luchtdichte woningen zijn hoge fijnstof concentraties geconstateerd met als belangrijkste oorzaak koken. Momenteel wordt koken vaak als een black box proces gezien met als voornaamste parameter het afzuigdebiet. Een hoog afzuigdebiet gaat echter ten koste van de energie-efficiëntie van woningen. Om deze reden is het van belang om met name de vangst efficiëntie te verhogen. In woningen zorgt inschakeling van een afzuigkap met directe afvoer naar buiten al gauw voor een toename van 25% van de totale hoeveelheid ventilatielucht. In moderne woningen met vraaggestuurde ventilatie bedraagt de totale ventilatie over een dag typisch 1800 m<sup>3</sup>. Indien een afzuigkap met een hoge capaciteit wordt toegepast, bijvoorbeeld 900 m<sup>3</sup>/uur, dan zorgt een half uur koken met ingeschakelde afzuigkap voor een toename van 25% van de totale hoeveelheid ventilatielucht. Hierdoor wordt een groot deel van de energiewinst van luchtdicht bouwen en moderne ventilatiesystemen met warmteterugwinning teniet gedaan. Een motorloze afzuigkap aangesloten op het ventilatiesysteem heeft een te lage afvoercapaciteit. Hierdoor treedt ophoping op van fijnstof wat gezondheidsrisico's met zich meebrengt. Recirculatiekappen hebben in principe het voordeel dat de warmte binnenblijft. In de zomer heeft dit als nadeel dat hierdoor extra oververhitting optreedt. Recent werd in een monitoringsproject<sup>1</sup> van energiezuinige luchtdichte woningen waar recirculatiekappen werden toegepast bij 13 % van de bewoners geurklachten vastgesteld. Mogelijk treedt ook ophoping van fijnstof op, het afvangstrendement van het koolstoffilter ten aanzien van fijnstof is onbekend.

De AIVC Technote "Ventilation and Health" 2015 geeft aan dat fijnstof door koken het belangrijkste gezondheidsrisico in woningen is. Er bestaan nog geen wettelijke eisen voor fijnstof in de binnenlucht. Echter de WHO heeft in 2010<sup>2</sup> aangegeven dat de WHO indoor air quality guidelines voor PM<sub>2,5</sub> ook van toepassing zijn op binnenruimtes. PM<sub>2,5</sub> is gedefinieerd als de massa van de deeltjes met een diameter tot 2,5 µm per m<sup>3</sup> lucht.

Een Italiaanse studie<sup>3</sup> in 6 biomassa gestookte woningen suggereert dat koken naast (ultra)fijnstof ook polyaromatische koolwaterstoffen (PAK's) veroorzaakt in dezelfde orde grootte als ten gevolge van de houtstook. Voor PAK's wordt als tracer element Benzo(a)pyrene (BaP) gebruikt. Hoogst gemeten binnenlucht concentratie BaP was 20 ng/m<sup>3</sup>, fors hoger dan de jaargemiddelde EU buitenluchtnorm van 1 ng/m<sup>3</sup>.

## Doelstelling

Het doel van dit project is om meer inzicht te verkrijgen welke schadelijke kookemissies optreden en om deze vervolgen te vergelijken met (inter)nationale criteria. Tweede doelstelling van het project is het ontwikkelen van fundamentele kennis om de efficiëntie van kookafzuiging te verhogen. Derde doelstelling van het project is om deze kennis te verspreiden.

---

<sup>1</sup> [Resultaten uit monitoring over: concepten nul op de meter en 80% besparing, Energiesprong, 2015](#)

<sup>2</sup> [WHO Guidelines for indoor air quality, 2010, p.4](#)

<sup>3</sup> Discontinuous and Continuous Indoor Air Quality Monitoring in Homes with Fireplaces or Wood Stoves as Heating System, Int. J. Environ. Res. Public Health 2016, 13, 78; doi:10.3390/ijerph13010078

## Werkwijze en resultaat

De werkwijze en de behaalde resultaten worden stapsgewijs per werkpakket beschreven. Voor een gedetailleerde beschrijving van de werkwijze en de resultaten wordt verwezen naar de bijlagen.

### WP 1 Karakterisering kookemissies

#### WP 1.1 Realisatie experimentele kookopstelling

In maart 2016 zijn door Bribus twee experimentele kookopstellingen in een uit twee identieke kamers bestaande proefkamer in het TNO MEC-Bouwlab opgebouwd. De afmetingen van elke kamer bedragen 3,65 x 2,66 x 2,68 (L x B x H), dit is representatief voor keukens in huurwoningen. ATAG heeft de benodigde keuken apparatuur geleverd. In de ene keuken wordt inductief worden gekookt (Figuur 1, links) en in de andere op gas (Figuur 1, rechts). De afzuigkap kan eenvoudig worden verwisseld en ook de bovenkastjes zijn eenvoudig te verplaatsen/verwijderen om het effect van verschillende keuken geometrieën te bepalen. TNO heeft voorzieningen getroffen voor de luchtafvoer van de afzuigkappen met een meetsectie voor het exact bepalen van het afgezogen debiet. De kamers zijn van geconditioneerde lucht voorzien via een bestaande luchtbehandelingskast uitgerust met een F7 filter.



*Figuur 1 keukelopstelling ten behoeve van inductief koken (links) en koken op gas (rechts) in klimaat kamer.*

## WP 1.2 Karakterisering kookemissies & WP2.3 Experimentele toetsing kookprincipes

Om de kookemissies nader te karakteriseren is gekozen om hetzelfde testprotocol aan te houden als in een eerder onderzoek<sup>4</sup> wat in 2014 is uitgevoerd. Dit omdat de resultaten goed reproduceerbaar waren. Het testprotocol is als volgt:

- De proefkamer wordt met 75 m<sup>3</sup>/uur geventileerd (bouwbesluit eis voor keuken) er is geen afzuigkap aanwezig;
- De lucht in de proefkamer wordt opgemengd met een ventilator (uitzondering hierbij zijn test 1 en 2 en de testen 7 tot en met 11);
- In een RVS koekenpan (diameter 24 cm) wordt 100ml Extra Virgin olijfolie (OK, Plus) verhit tot 180 of 220 °C, de pan is voorzien van twee temperatuursensoren, zie Figuur 2;
- Gedurende 10 minuten worden drie hamburgers (Mora, 12 x 70 g diepvries/voorgegaard) gebakken, de temperatuur wordt constant gehouden;
- Vervolgens worden de hamburgers uit de pan gehaald en uit de kamer verwijderd;
- Gedurende 50 minuten wordt bij een ventilatie van 75 m<sup>3</sup>/uur de afname gemeten.

De meting omvat een uur en tijdens dit uur zijn de fijnstof en chemische emissies bij en na het bakken van hamburgers in Extra Virgin olijf olie onderzocht met de in Tabel 1 vermelde apparatuur.

Tabel 1 specificaties meetapparatuur

PM <sub>2.5</sub> fijnstof	Grimm 11R
Elementair Carbon (EC)	Multi Angle Absorption Photometer (MAAP) 5012, Thermo Environmental
Poly Aromatische Koolwaterstoffen (PAK)	Meetkop met deeltjesfilter en XAD-2 absorptie korrels, analyse op 16 EPA PAK
NOx	Thermo Environmental (model 42i) NOx monitor
Ozon	Photometric O3 Analyzer model 400, API Inc.



Figuur 2 kookopstelling voor het bakken van de hamburgers, er is geen afzuigkap aanwezig.

<sup>4</sup> Energy efficient measures to reduce PM<sub>2.5</sub> emissions due to cooking, P. Jacobs et al., Indoor Air conferentie 2016, Gent



Figuur 3 linker foto: links filterhouder voor PAK monstername, rechts aanzuigkop van MAAP. Rechter foto: mengventilator.

In totaal zijn, inclusief de testen voor WP2.3 *Experimentele toetsing kookprincipes*, 11 testen uitgevoerd, zie Tabel 2. Het concentratie verloop in de tijd van de kookemissies is in Bijlage 1 per test weergegeven.

Tabel 2 karakterisering kookemissies.

Test	T <sub>pan</sub> [°C]	aantal hamburgers	Wasemkap	Ventilatie [dm <sup>3</sup> /s]	Max. PM <sub>2,5</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Max. EC (roet) [µg/m <sup>3</sup> ]	Max. NO <sub>2</sub> [µg/m <sup>3</sup> ]	Max. O <sub>3</sub> [ppb]
1	180	3	-	21	194	1,47	-	-
2	220	3	-	21	894	3,04	-	-
3	180	3	-	21	195	1,38	274	-
4	220	3	-	21	615	1,41	350	-
5	220	3	-	21	808	0,82	358	-
6	220	alleen olie	-	21	751	2,88	222	-
7	220	3	recirculatie	21	569	2,81	126	-
8	220	3	recirculatie	21	512	0,64	138	-
9	220	3	Recirculatie*	21	595	0,42	91	-
10	220	3	Plasma	21	561	6,34	667	69 – 194
11	220	3	Plasma	21	507	0,76	1155	166 - 441

\* vrije uitblaas naar boven om luchtstromingspatroon onder de wasemkap niet te verstoren

## **Fijnstof**

De emissie is sterk afhankelijk van de temperatuur, verhoging van de baktemperatuur van 180 naar 220 °C resulteerde in de uitgevoerde experimenten in een vier maal hogere fijnstof emissie met piek concentraties tussen 600 en 900  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Fijnstof wordt ook gevormd indien alleen olie wordt gebruikt. De gemeten maximum concentraties  $\text{PM}_{2.5}$  kunnen niet worden gerelateerd aan grenswaarden omdat voor fijnstof geen kortstondige grenswaarden zijn afgeleid. De maximum concentraties zijn factoren hoger dan de wettelijke jaargemiddelde buitenluchtwaarde in Nederland en de WHO advieswaarde van respectievelijk 25 en 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

## **Roet (EC)**

Roet: maakt 0,1 – 1,1% deel uit van het fijnstof. De gemeten maximum concentraties zijn in de orde grootte 0,9 – 3,0  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Er is geen duidelijke relatie met de baktemperatuur vastgesteld. Voor roet bestaan nog geen grenswaarden. Typische jaargemiddelde waarden zijn:

- 0,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  achtergrond waarde op platteland
- 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  in de stad
- 3  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  langs de A-13 in Rotterdam

Kortstondig worden roet waarden gehaald vergelijkbaar met de jaargemiddelde waarde langs een drukke weg.

## **PAK's**

In test 3 tot en met 11 zijn PAK metingen uitgevoerd. Er is geanalyseerd op 16 EPA PAK, er zijn geen noemenswaardig verhoogde concentraties gevonden. Alle resultaten zijn vermeld in bijlage 3. De concentratie Benzo(a)pyrene (BaP) was in alle experimenten lager dan 1  $\text{ng}/\text{m}^3$ , de jaargemiddelde EU buitenluchtnorm.

## **Stikstofdioxide ( $\text{NO}_2$ )**

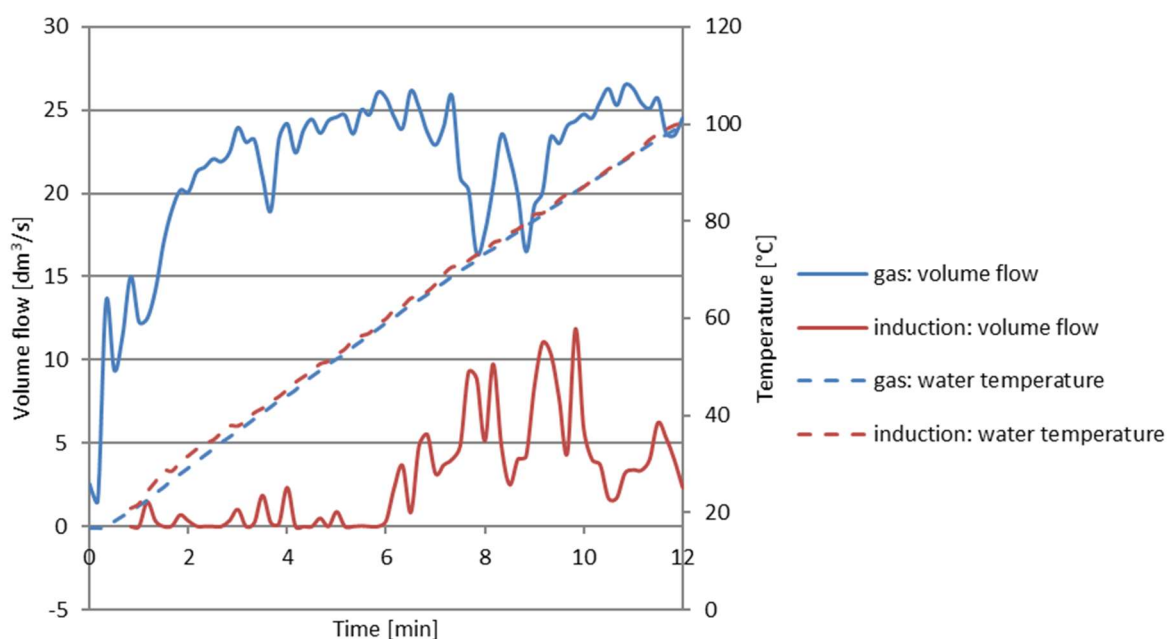
Bij de hoogste baktemperatuur loopt de  $\text{NO}_2$  concentratie op tot 350  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Wat betreft  $\text{NO}_2$  kan worden vergeleken met de uurgemiddelde buitenluchtwaarde van 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  die maximaal 18 uur per jaar mag worden overschreden.



### WP 1.3 Opzet en validatie CFD

Computational Fluid Dynamics (CFD) is mits goed gevalideerd een krachtige tool om luchtstromingen te voorspellen. In dit project is het programma Fluent gebruikt. In dit programma is de geometrie van de keuken in Figuur 1 ingevoerd, zie bijlage 2. Als eerste stap om het CFD programma te valideren zijn luchtsnelheidsmetingen uitgevoerd bij koken op gas en inductief koken. De luchtpluimen blijken in hoge mate instabiel te zijn. Hierdoor was het niet mogelijk om steady state berekeningen toe te passen. Alleen met dynamische berekeningen komen de CFD resultaten overeen met de meetresultaten.

Tussen op gas en inductief koken blijken wat betreft luchtsnelheid grote verschillen te bestaan. Figuur 4 laat zien dat met het opwarmen van een pan met water bij inductie de eerste 6 minuten er nauwelijks lucht boven de pan stroomt. Pas hierna komt een luchtstroom op gang van maximaal circa 10 dm<sup>3</sup>/s. Bij koken op gas komt direct een luchtstroming op gang. Ook is hier de totale luchtstroom veel hoger, circa 25 dm<sup>3</sup>/s. Deze luchtstromen kunnen worden geïnterpreteerd als de minimale luchtstroom die een afzuigkap dient af te zuigen. Op basis van deze resultaten is de verwachting dat bij koken op gas een hogere afzuigstroom noodzakelijk is dan bij inductief koken om dezelfde vangst efficiëntie te bereiken.

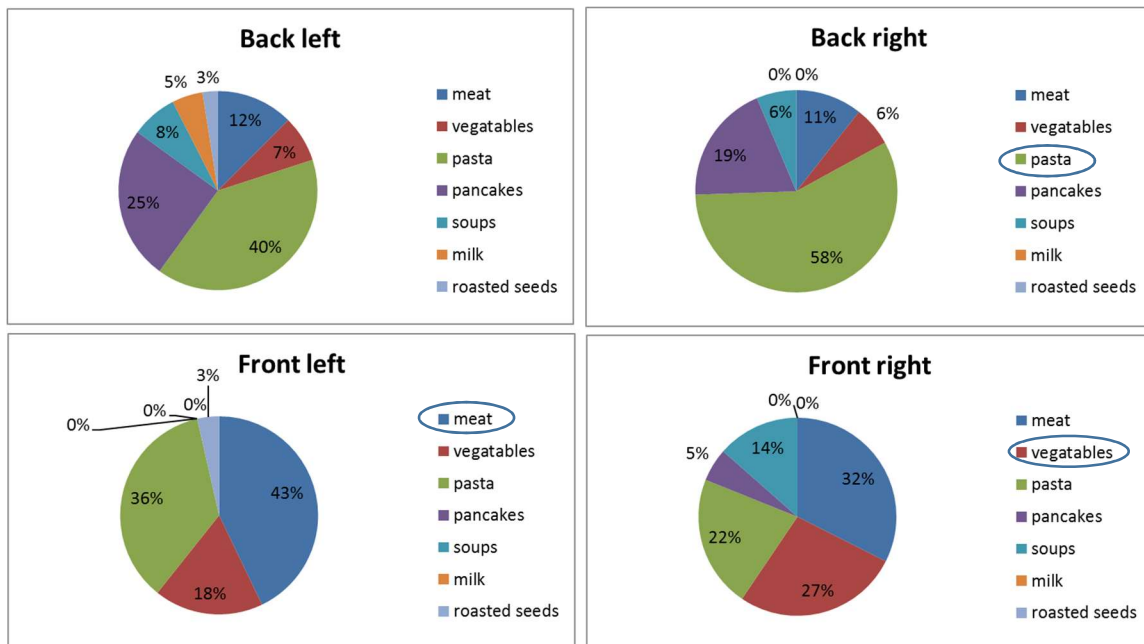


Figuur 4 volume debiet in de tijd van door het koken opgewekte luchtstroom boven een gesloten pan met water bij koken op gas en inductief koken. Het gasdebiet en de stand van de inductie kookplaat zijn zo ingesteld dat bij beide na 12 minuten het water kookt.

Om het CFD model verder te modelleren is de vangst efficiëntie van een bestaande afzuigkap (ATAG WS9011QAM) bij een typische kookopstelling bepaald op basis van de hoeveelheid CO<sub>2</sub> die direct wordt ingevangen. Om een representatieve kookopstelling af te leiden zijn data geanalyseerd uit een veldproef in 9 woningen die TNO in het kader van het Technologiecluster Afzuigkappen in het stookseizoen van 2015/2016 heeft uitgevoerd<sup>5</sup>. In totaal zijn 174 deelgerechten geanalyseerd. Uit

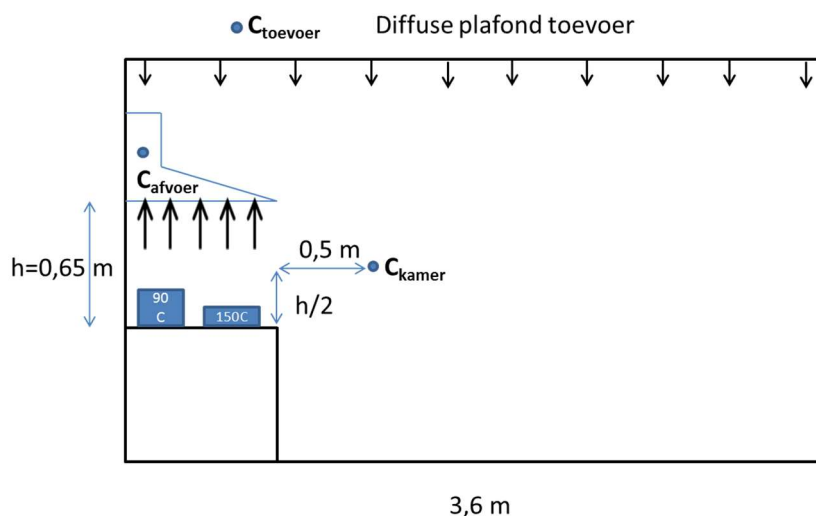
<sup>5</sup> PM2.5 in Dutch Dwellings due to Cooking, P. Jacobs, W. Borsboom, R. Kemp, IAQ 2016 conference, Alexandria

Figuur 5 volgt dat vlees met name op de pit links voor wordt gebakken, pasta rechts achter en groeten rechts voor.



Figuur 5 analyse van in de veldproef in het kader van TC afzuigkappen, bereide gerechten en positie op fornuis.

De meest voorkomende kookfiguratie in Figuur 5 is verder vereenvoudigd tot de configuratie zoals getoond in Figuur 6. De door koken van pasta en groente opgewekte luchtstromingen worden gesimuleerd door twee pannen met water op een temperatuur van 100 °C te houden. De luchtstroming ten gevolge van het braden van vlees is gesimuleerd met het opwarmen van de koekenpan met 550 W, hierdoor wordt de koekenpan op circa 180 °C gehouden. In totaal wordt met circa 1800 W verwarmd. Figuur 6 laat schematisch zien dat op drie posities de CO<sub>2</sub> concentratie in de ruimte wordt gemeten. Via slangetjes wordt beurtelings ruimtelucht aangezogen waarvan het CO<sub>2</sub> gehalte wordt bepaald met een Bruel & Kjaer Multigasmetre.

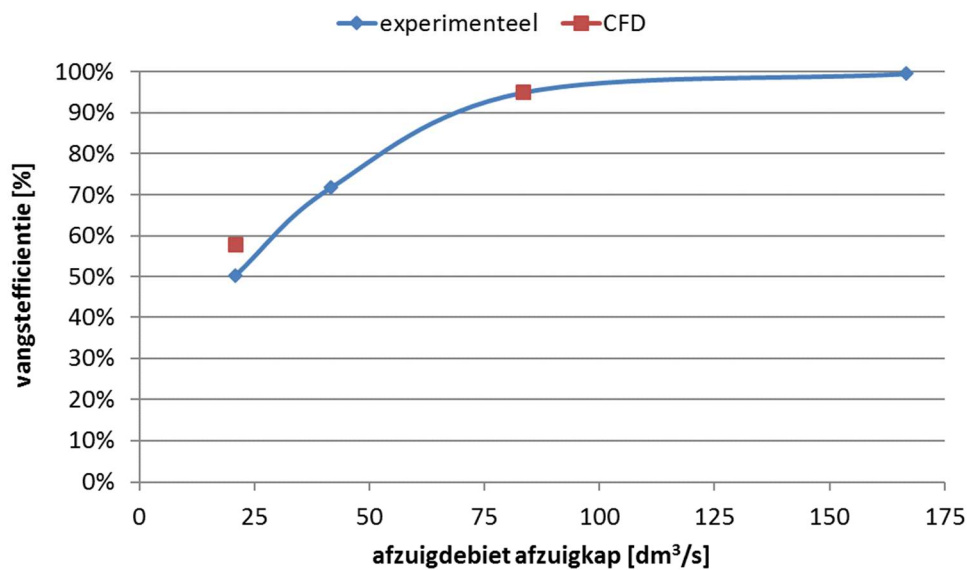


Figuur 6 opzet CO<sub>2</sub> tracergas meting om afvangst efficiëntie van een afzuigkap te bepalen.

De meetprocedure is als volgt. De afzuigkap wordt op het gewenste afzuigdebiet ingesteld. Het gas van de drie pitten wordt ontstoken. Vervolgens wordt de ruimte verlaten en gewacht tot evenwicht optreedt. Op basis van de gemeten concentraties wordt de vangst efficiëntie bepaald met:

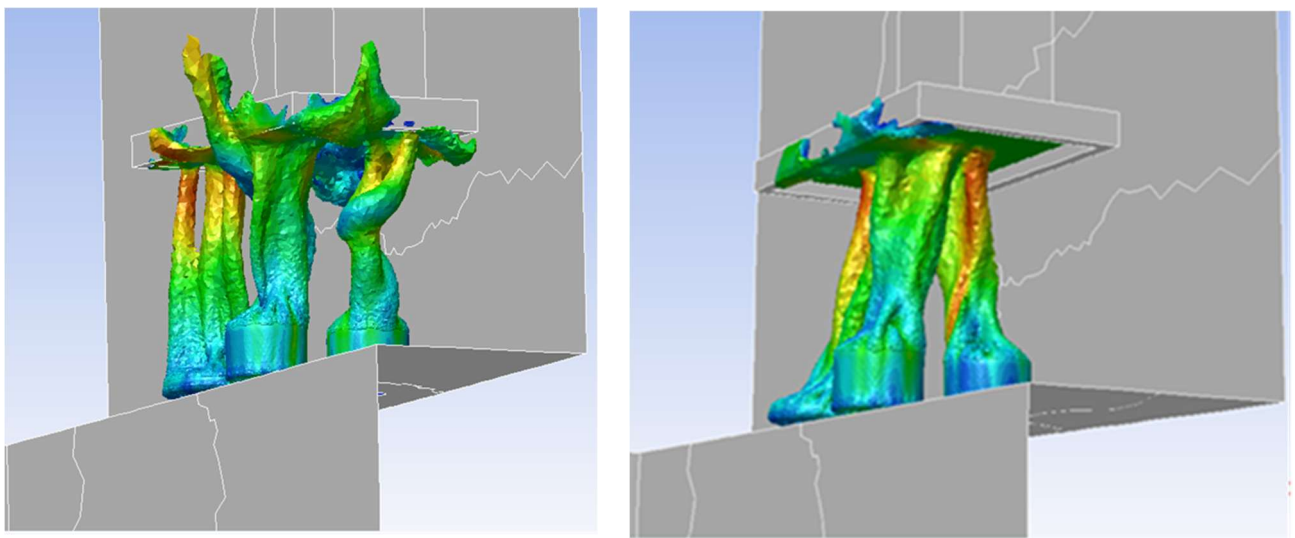
$$\eta = \left( 1 - \frac{C_{kamer} - C_{toevoer}}{C_{afvoer}} \right) * 100\%$$

Figuur 7 laat zien dat er een zeer goede overeenkomst is tussen de experimenteel bepaalde waarden en de met het CFD model berekende waarden. Om een vangst efficiëntie van 95% te behalen is een afzuigdebiet van 83 dm<sup>3</sup>/s (300 m<sup>3</sup>/uur) benodigd. Deze meting is bij 83 dm<sup>3</sup>/s ook nog herhaald bij een hoger gasvermogen van 5200 W, dit is het maximale vermogen wat met de drie gaspitten kan worden bereikt. Bij dit hogere vermogen zakt de vangst efficiëntie van 95% naar 79,3%.



Figuur 7 gemeten en met CFD berekende vangst efficiëntie als functie van het afzuigdebiet (1800 W vermogen).

In Figuur 8 zijn de door het koken optredende luchtstromingen gevisualiseerd. Duidelijk te zien is dat bij 75 m<sup>3</sup>/uur een groot deel van de kookdampen ontsnapt.



Figuur 8 met CFD gevisualiseerde luchtstromingen bij 75 (links) en 300 (recht) m<sup>3</sup>/uur afzuigcapaciteit.

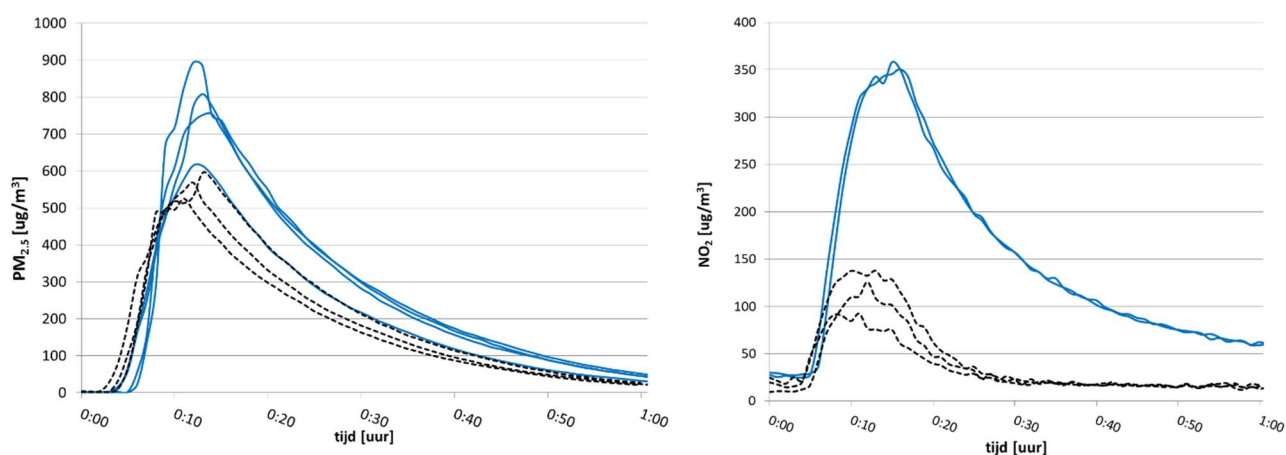
## WP 2 Principes voor efficiënte kookafzuiging

Na consultatie van een aantal marktpartijen in het TNO technologiecluster Afzuigkappen is besloten om nader onderzoek te verrichten naar de werking van recirculatieafzuigkappen. Dit omdat er in de literatuur nog maar weinig informatie is bekend over de werking en ze veelvuldig worden toegepast. In dit onderzoek zijn twee typen onderzocht:

- Recirculatiekap met koolfilter;
- Plasma kap, een recirculatiekap op basis van plasma technologie.

### Recirculatiekap met koolfilter

De eerder beschreven afzuigkap (ATAG WS9011QAM) is in recirculatie modus gezet en voorzien van een koolfilter (ACC928UU). Dit rechthoekige koolfilter heeft als afmetingen 28 x 18 cm en is 2 cm dik. Vervolgens zijn volgens het protocol van WP 1.2 hamburgers gebakken. De recirculatiekap was gedurende het gehele uur in bedrijf in stand 3, 430 m<sup>3</sup>/uur. Bij elke proef werd een nieuw koolfilter geplaatst. De resultaten staan vermeld in Bijlage 1 onder test 7, 8 en 9. Figuur 9 vergelijkt de gemeten fijnstof en NO<sub>2</sub> concentraties met en zonder recirculatiekap. Toepassing van de recirculatiekap resulteerde in een verlaging van 28% van de PM<sub>2,5</sub> piekconcentratie. Met en zonder recirculatiekap is de afname curve van fijnstof bij twee metingen identiek. Dit geeft aan dat de afnamesnelheid wordt bepaald door de ventilatie in de ruimte en dat het filter nauwelijks fijnstof afvangt. Dit kan worden verklaard uit het feit dat koolfilters zeer open filters zijn die zijn ontworpen om geurstoffen af te vangen maar fijnstof vrijwel onbelemmerd doorlaten. De NO<sub>2</sub> piekconcentratie was bij toepassing van de recirculatiekap 67% lager. Hierbij dient te worden opgemerkt dat het koolfilter na elke test werd vervangen.



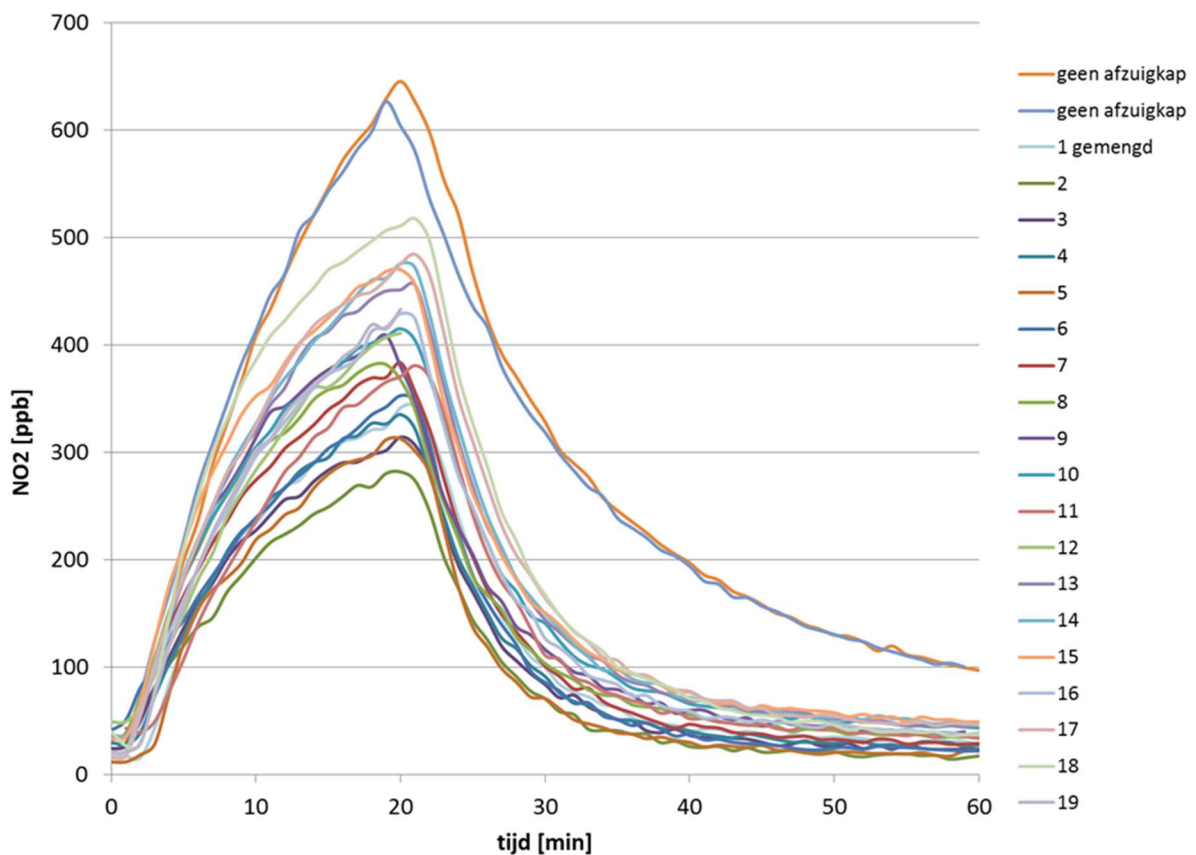
Figuur 9 fijnstof en NO<sub>2</sub> ten gevolge van 10 minuten hamburger bakken op een gasvuur bij 220 °C met (stippellijnen) en zonder (blauwe lijnen) recirculatiekap. Ventilatie debiet 75 m<sup>3</sup>/h

Om het effect van veroudering op de afvangst van NO<sub>2</sub> te simuleren is een duurmeting uitgevoerd:

- 3 pitten op maximaal vermogen gedurende 20 minuten;
- Recirculatiekap in stand 3, 430 m<sup>3</sup>/uur;
- Ventilatie kamer op 75 m<sup>3</sup>/uur;
- Periode 16 – 29 september 2016;
- Elke dag 2 a 3 metingen;
- Koolstoffilter niet na elke meting vervangen;

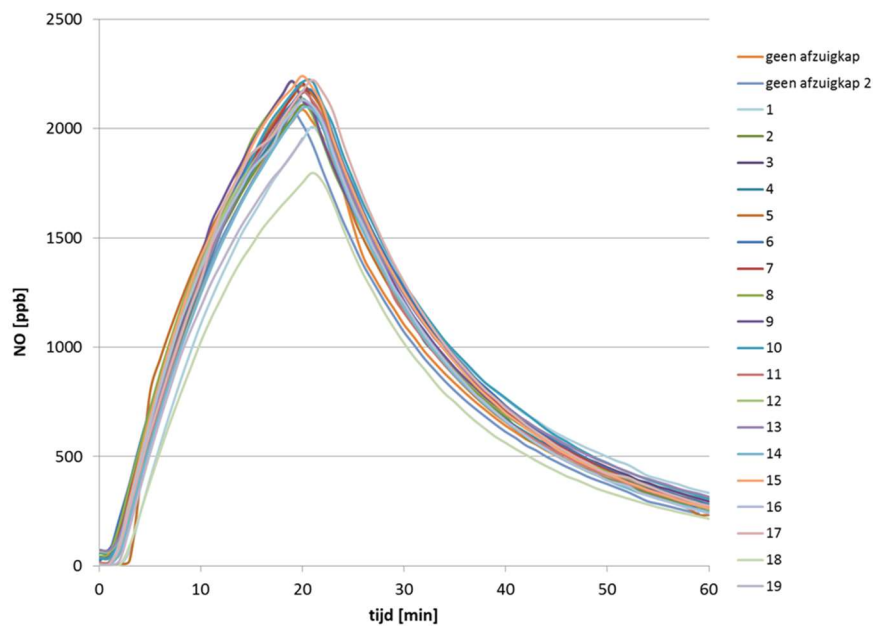
- De eerste meting met filter is zonder mengventilator uitgevoerd, deze meting is later met een vers filter herhaald.

In totaal is hiermee het effect van 19 dagen koken gesimuleerd. Figuur 10 toont de NO<sub>2</sub> concentratie curves. Duidelijk zichtbaar is dat de concentratie naar mate de duurtst vordert verder oploopt tot bijna de concentraties zonder afzuigkap. Dit kan worden verklaard omdat het koolfilter langzaam verzadigd raakt en daardoor minder makkelijk NO<sub>2</sub> kan binden. Zonder koolfilter bedraagt de maximale concentratie 1270 µg/m<sup>3</sup>. Dit is fors hoger dan de wettelijk voorgeschreven uurgemiddelde buitenluchtwaarde van 200 µg/m<sup>3</sup> die maximaal 18 uur per jaar mag worden overschreden en zelfs vergelijkbaar met de in de Arboretgeving gehanteerde 15 minuten gemiddelde waarde van 1000 µg/m<sup>3</sup>.



*Figuur 10 NO<sub>2</sub> concentratie in proefkamer bij simuleren van 19 dagen koken op gas met gebruik van een recirculatiekap. Ter referentie zijn twee metingen zonder afzuigkap uitgevoerd.*

Figuur 11 toont de concentratie NO tijdens het verloop van de duurtst. Hierbij is geen verloop in de tijd en geen verschil met en zonder afzuigkap te zien. De conclusie is dat NO niet of nauwelijks wordt geabsorbeerd door het koolfilter.



Figuur 11 NO concentratie in proefkamer bij simuleren van 19 dagen koken op gas met gebruik van een recirculatiekap. Ter referentie zijn twee metingen zonder afzuigkap uitgevoerd.

### Plasmakap

Bij plasma recirculatiekappen wordt geclaimd dat geurstoffen door middel van met ionisatie geproduceerd ozon worden afgebruiken tot CO<sub>2</sub> en waterdamp. Hierna wordt met een koolstof filter het vrijkomen van ozon gereduceerd. Een commercieel verkrijgbare plasma recirculatie kap is in de proefkamer geplaatst, zie Figuur 12.

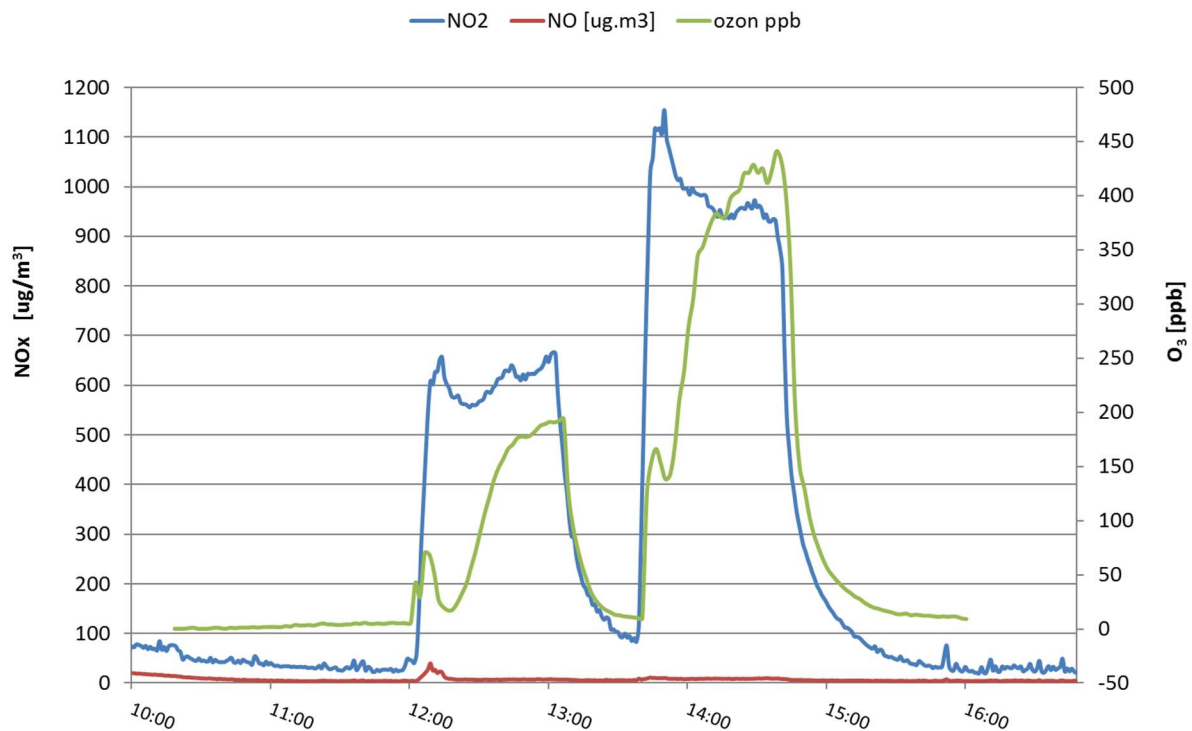
Vervolgens zijn in een duplo test volgens het protocol van WP 1.2 hamburgers gebakken. De recirculatiekap was gedurende het gehele uur in bedrijf. Bij deze test is ook de ozon concentratie gemeten. De resultaten staan vermeld in Bijlage 1, zie test 10 en 11.



Figuur 12 plasma recirculatiekap boven gasfornuis geplaatst.

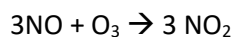
Toepassing van de plasmakap resulteerde in een verlaging van de PM<sub>2,5</sub> piekconcentratie met 31% ten opzichte van de metingen zonder afzuigkap bij 220 °C (meting 2, 4 en 5). Deze beperkte reductie komt overeen met de gemeten reductie bij toepassing van de recirculatiekap en kan waarschijnlijk worden verklaard door afvangst van het koolstof filter.

Wel was er sprake van sterk verhoogde ozon concentraties, zie Figuur 13. Tijdens 10 minuten bakken van hamburgers ontstonden ozon concentraties tussen 70 en 166 ppb. Na het koken heeft de plasmakap nog 50 minuten nagedraaid. Tijdens deze nadraaitijd ontstonden ozon concentraties tussen 200 en 400 ppb. Bij een open keuken zal de piekconcentratie door het grotere volume van woonkamer keuken lager zijn, naar verwachting 100 ppb. Maar ook langer blijven hangen. De WHO adviseert voor de 8-uurs gemiddelde ozonconcentratie een streefwaarde van 50 ppb. In heel Europa wordt de bevolking gewaarschuwd bij ozonconcentraties boven 90 ppb. Een concentratie van 120 ppb is de Europese alarmprempeel. In vergelijking met deze normen zijn de gemeten concentraties aan de hoge kant.



Figuur 13 resultaten test 10 en 11 met plasma recirculatiekap boven gasfornuis geplaatst.

Er wordt met name ozon gevormd tijdens de naloop tijd. Opvallend is dat de concentratie NO zeer laag is. De verklaring hiervoor is dat NO vrijwel instantaan door ozon omgezet tot NO<sub>2</sub>.



Mogelijk wordt door de ozon ook stikstof uit de lucht tot NO<sub>2</sub> omgezet. Opmerkelijk is dat NO<sub>2</sub> bij het tweede experiment veel hoger is dan bij het eerste experiment. Dit zou kunnen worden verklaard door mogelijke verzadiging van het koolstof filter wat tussen beide experimenten niet is vervangen.

Op basis de experimentele resultaten kan worden gesteld dat de combinatie koken op gas met de onderzochte plasmakap wat betreft NO<sub>2</sub> geen gelukkige keuze is.

## Publicaties/lezingen

### 2016

AIVC conferentie Alexandrie, presentatie "Exposure on Particulate Matter in Real Cooking Situations, and Can We Reduce It? ", workshop Cooker hood design, september 2017

Lunchlezing *Pannenkoeken bakken, hoe houden we het een feestje?* Dutch Green Building week, 30 september 2016

### 9 februari 2017:

www.nos.nl Meer fijnstof achter het fornuis dan langs de snelweg

ntr De kennis van nu

radio 1 Nieuws en Co

### Ingediend artikel:

ISIAQ Healthy buildings, "Efficiency of recirculation hoods with regard to PM2.5 and NOx", juli 2-5, 2017, Lublin, Polen

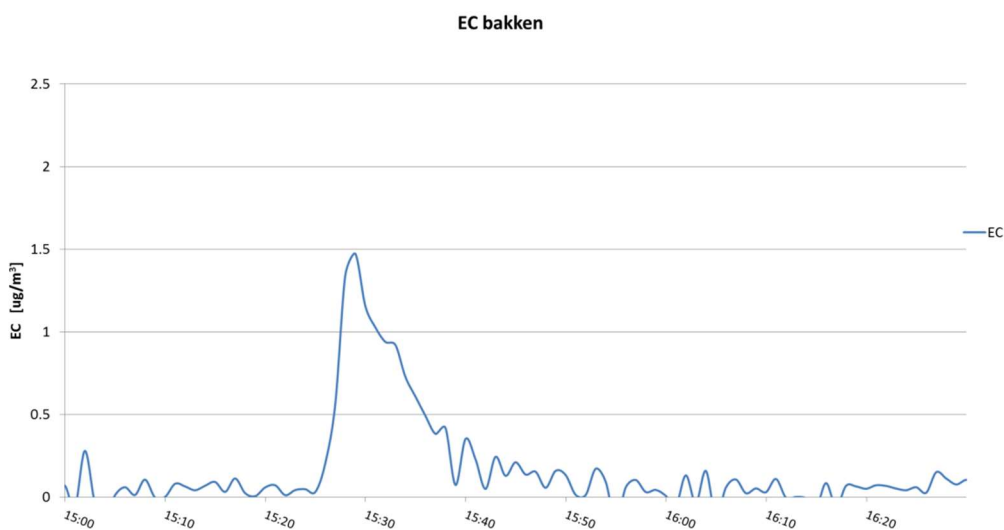
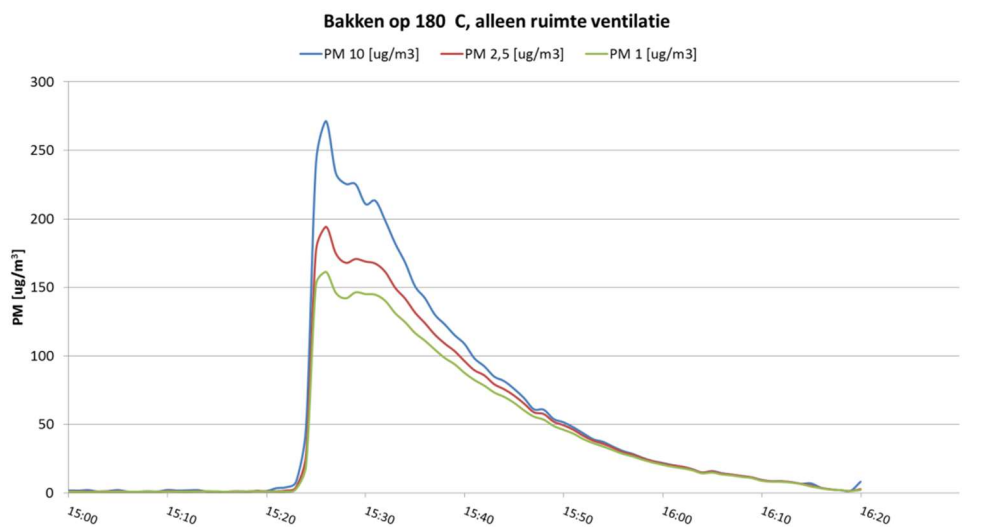
### Ingediend abstract:

AIVC 2017 Conference: Topical Session: "Residential cooker hoods and kitchen ventilation", 13-14 september, 2017, Nottingham, UK

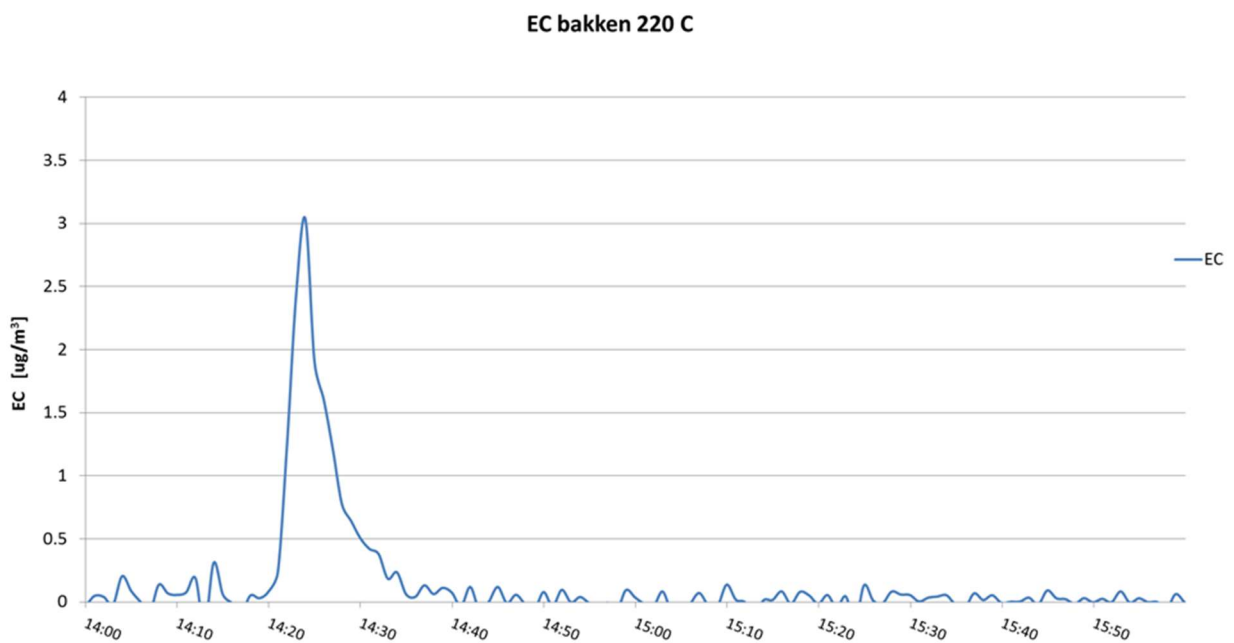
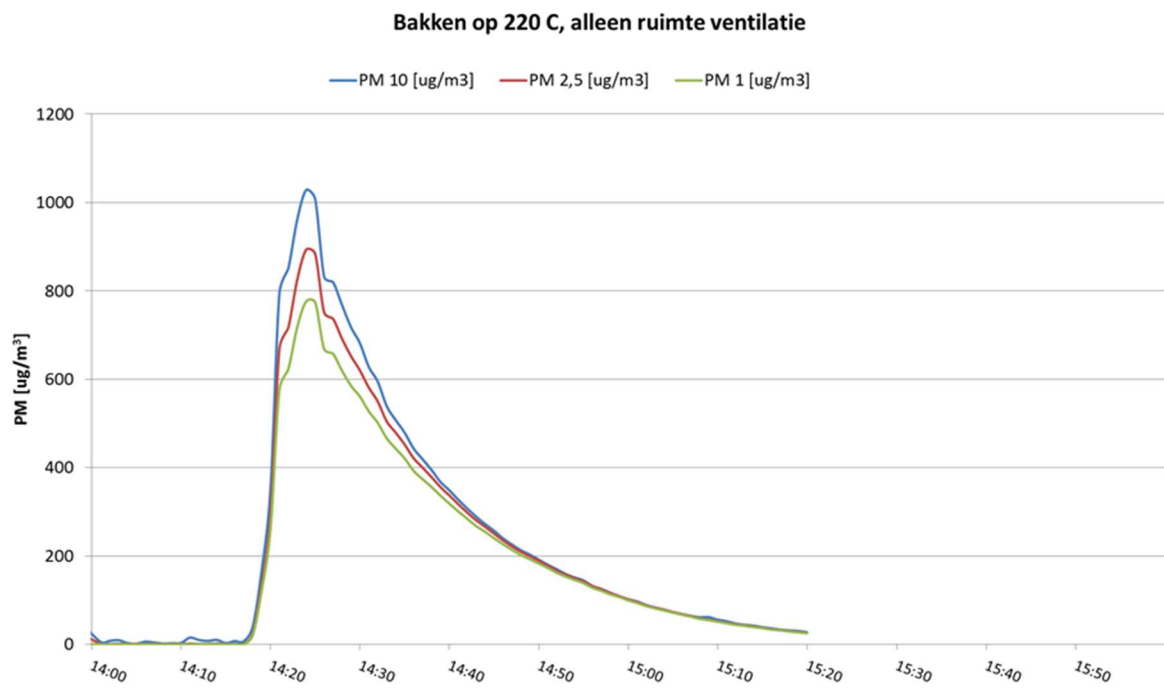


## Bijlage 1 Resultaten kookemissies

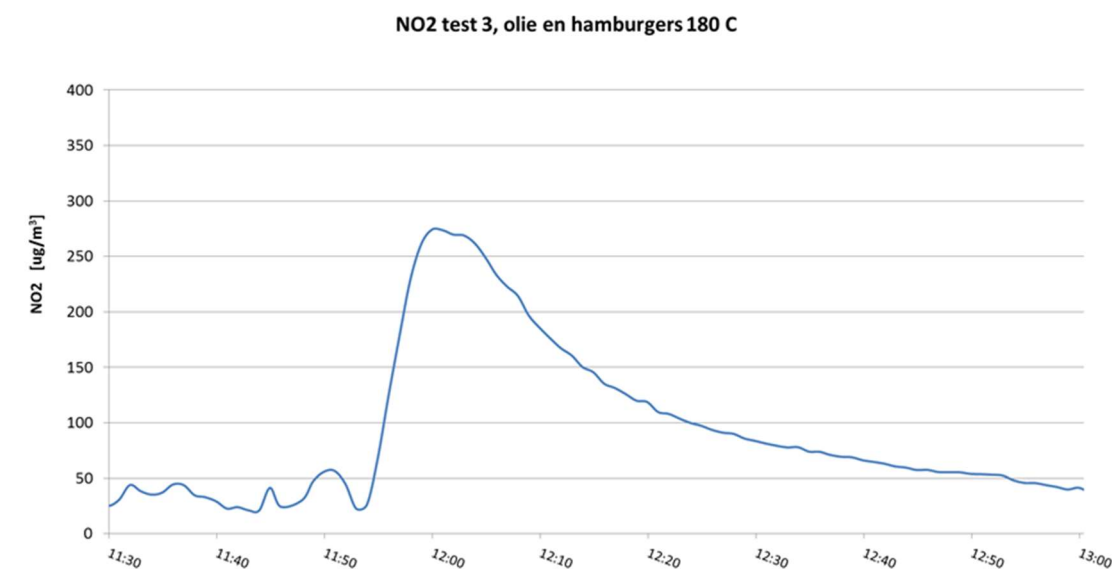
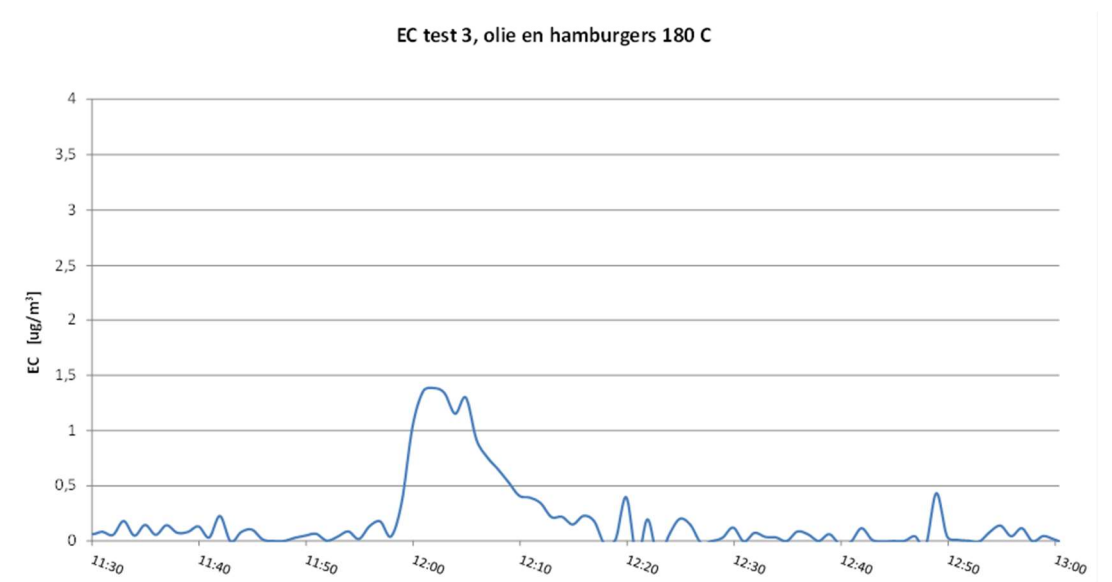
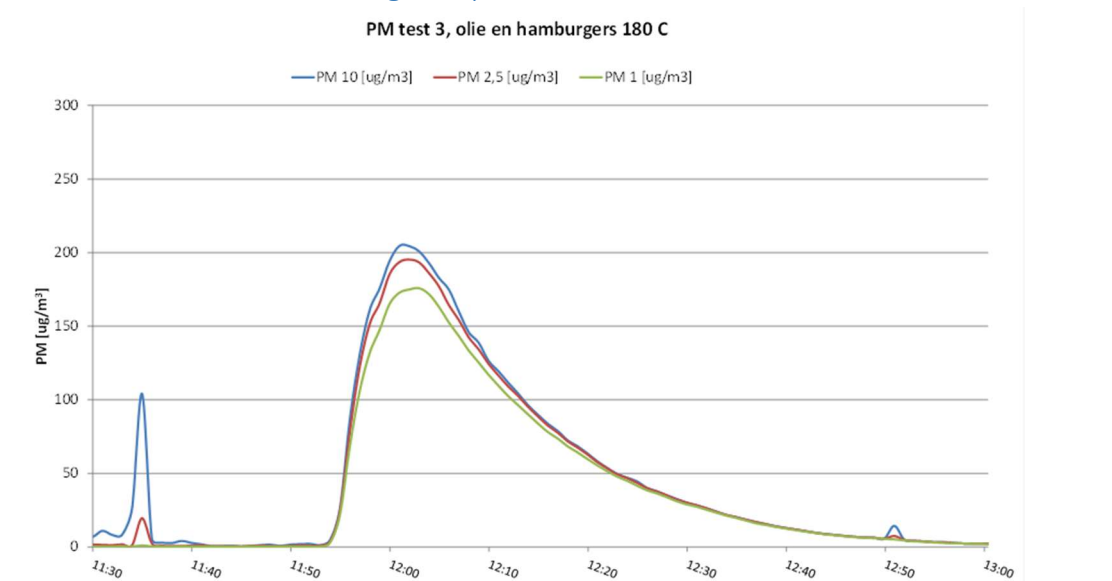
### Test 1: bakken van hamburgers op 180 C



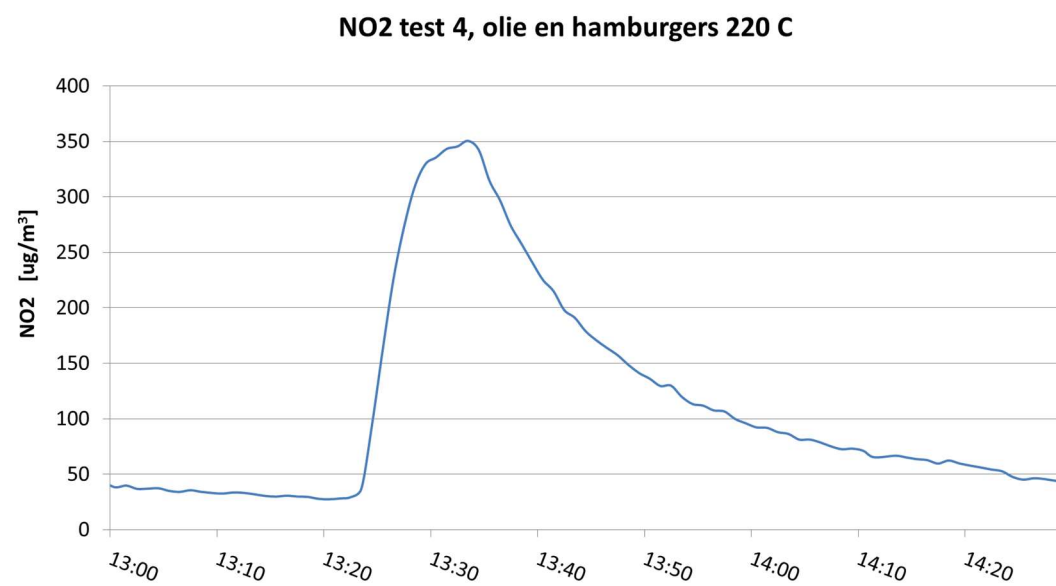
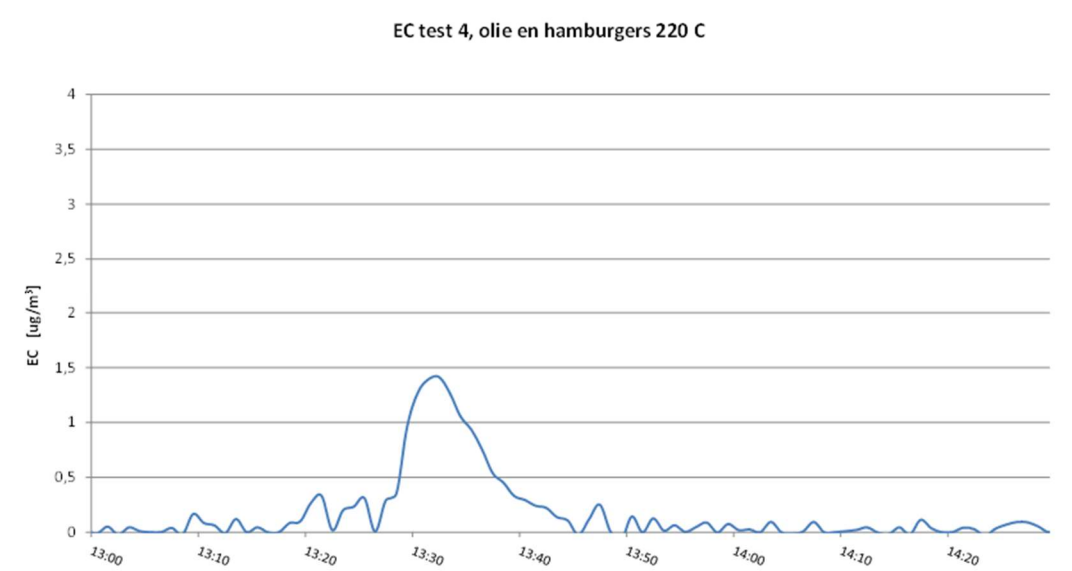
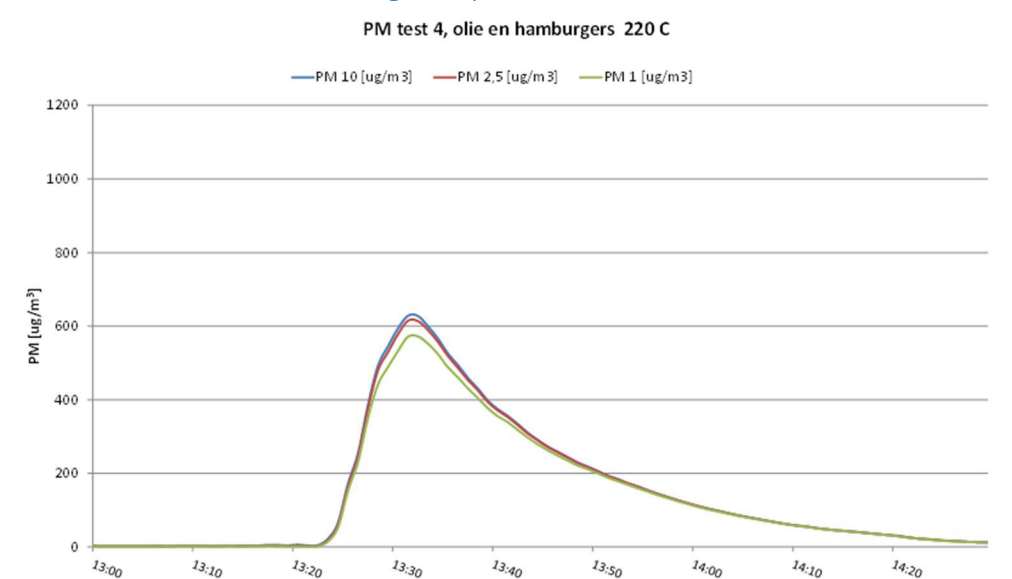
## Test 2: bakken van hamburgers op 220 C



### Test 3: bakken van hamburgers op 180 C

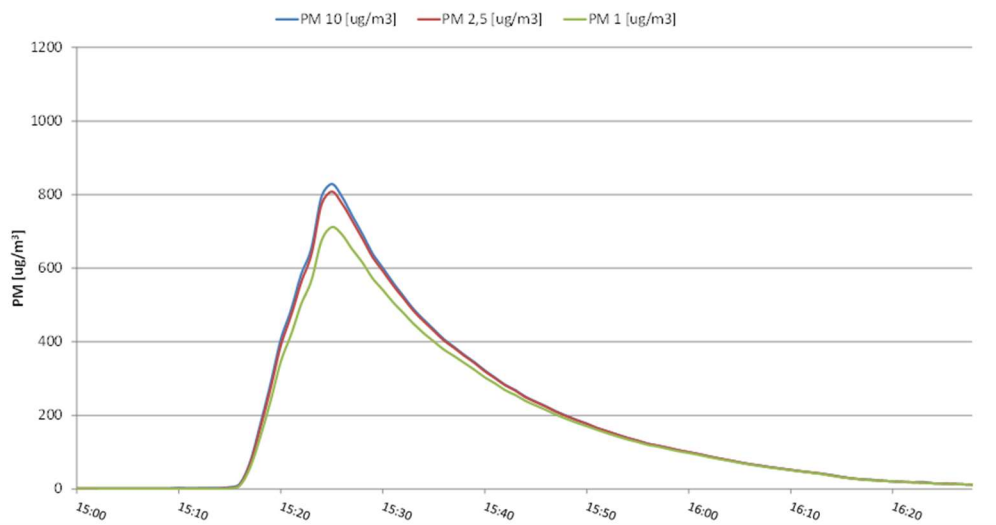


## Test 4: bakken van hamburgers op 220 C

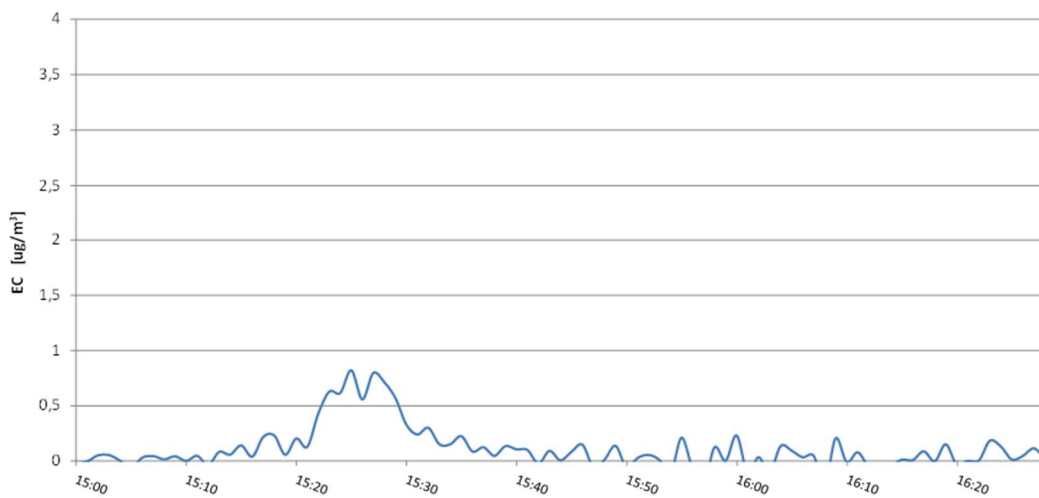


## Test 5: bakken van hamburgers op 220 C

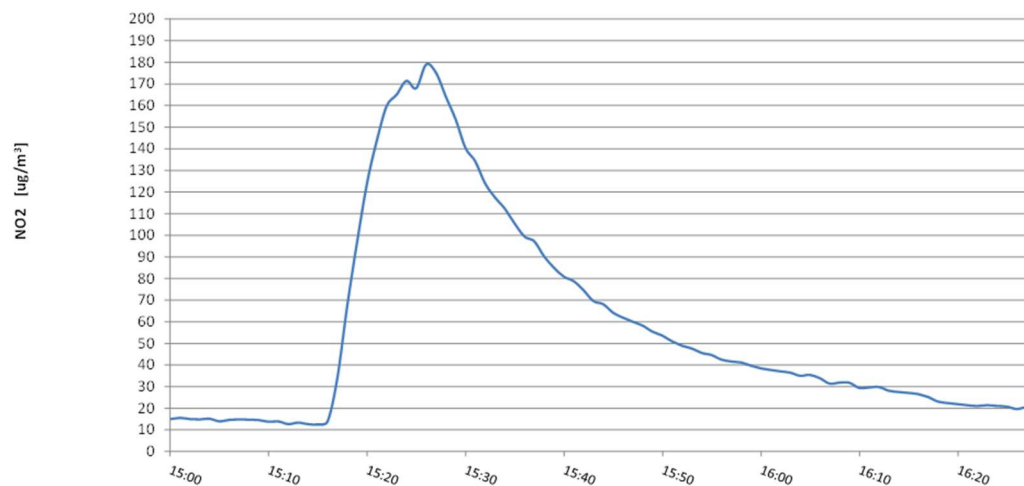
PM test 5, olie en hamburgers 220 C (duplo 4)



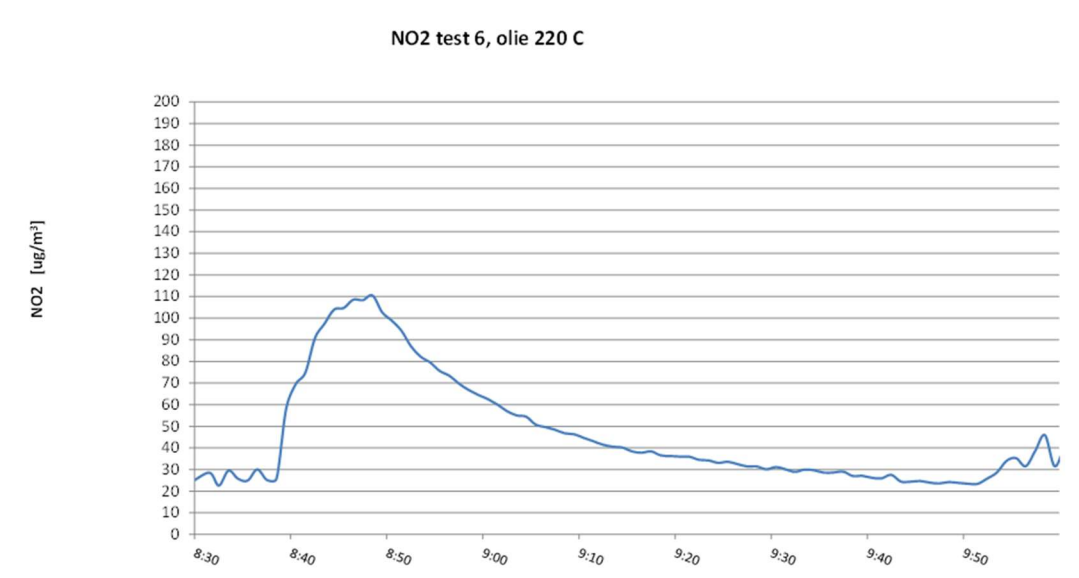
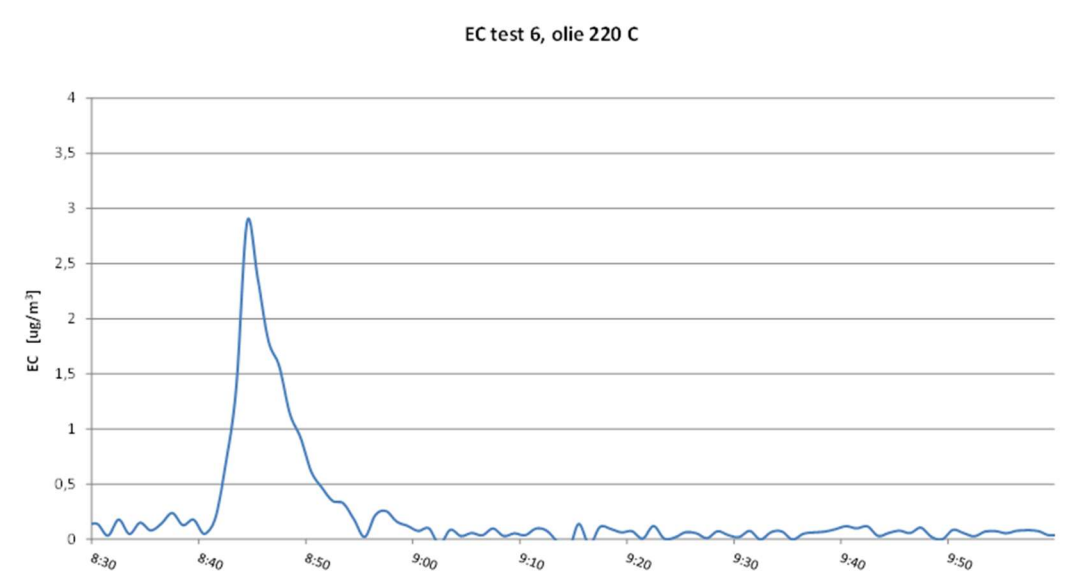
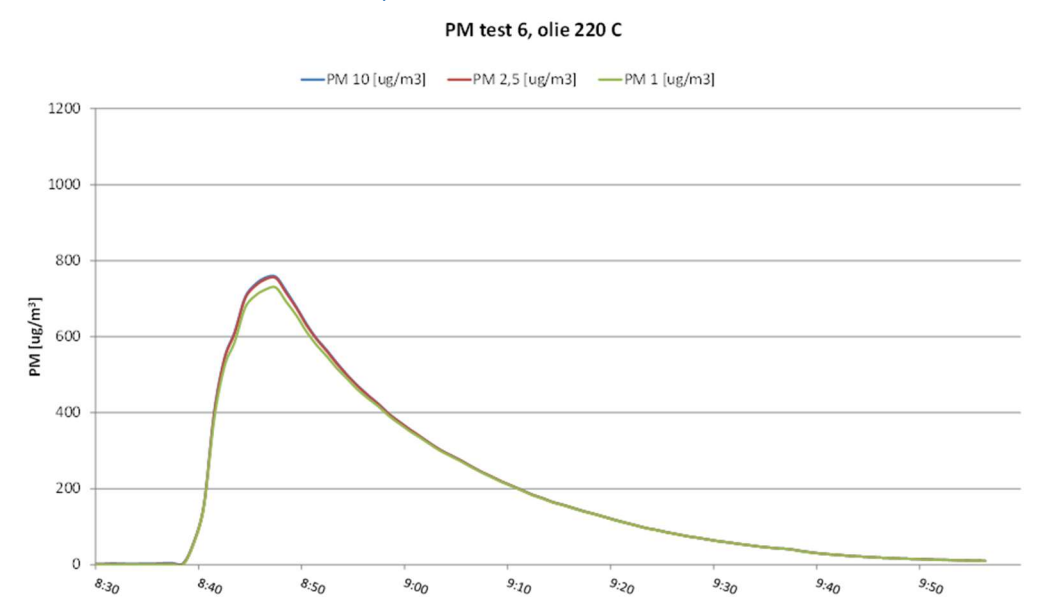
EC test 5, olie en hamburgers 220 C (duplo 4)



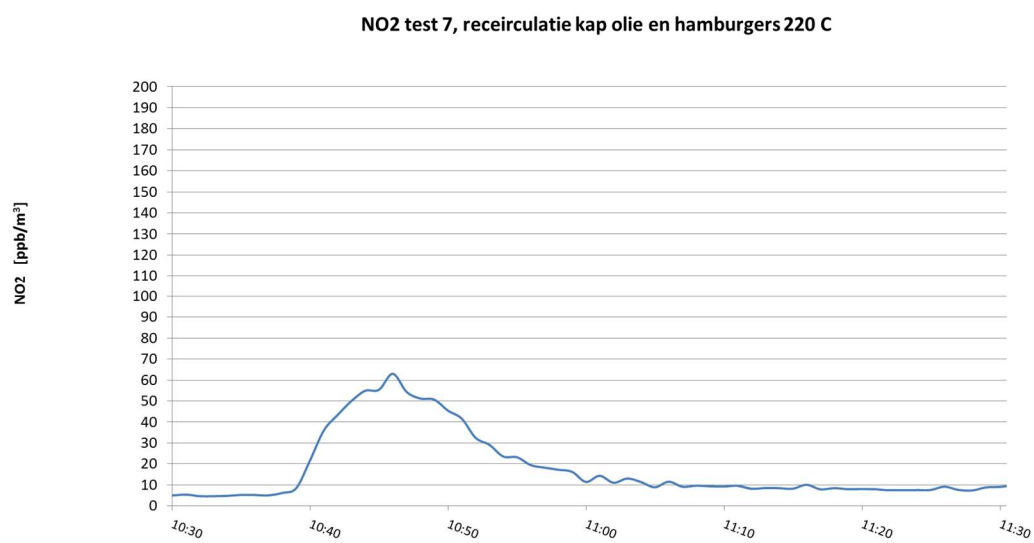
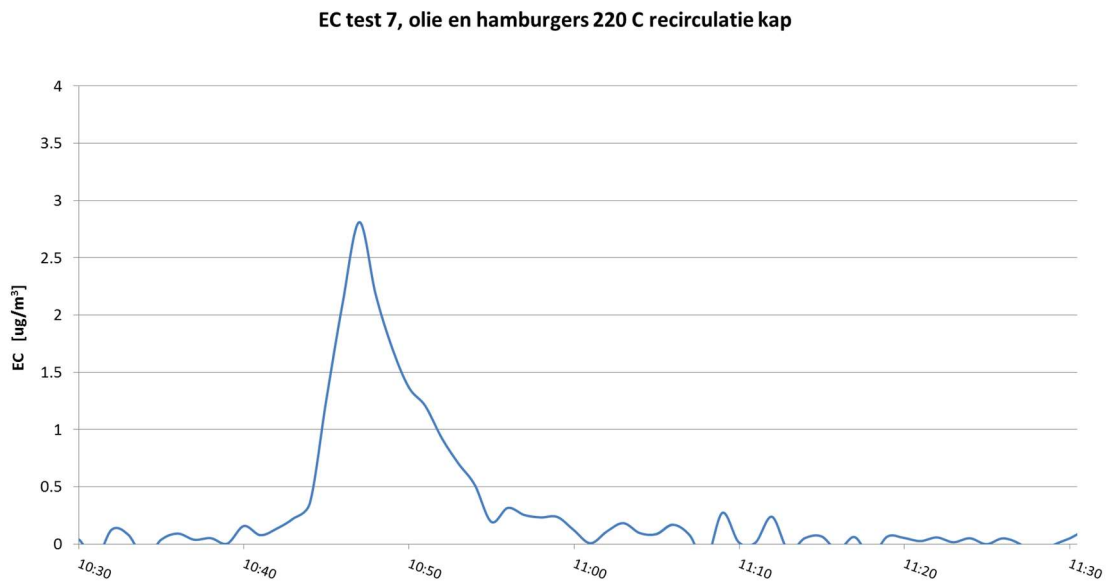
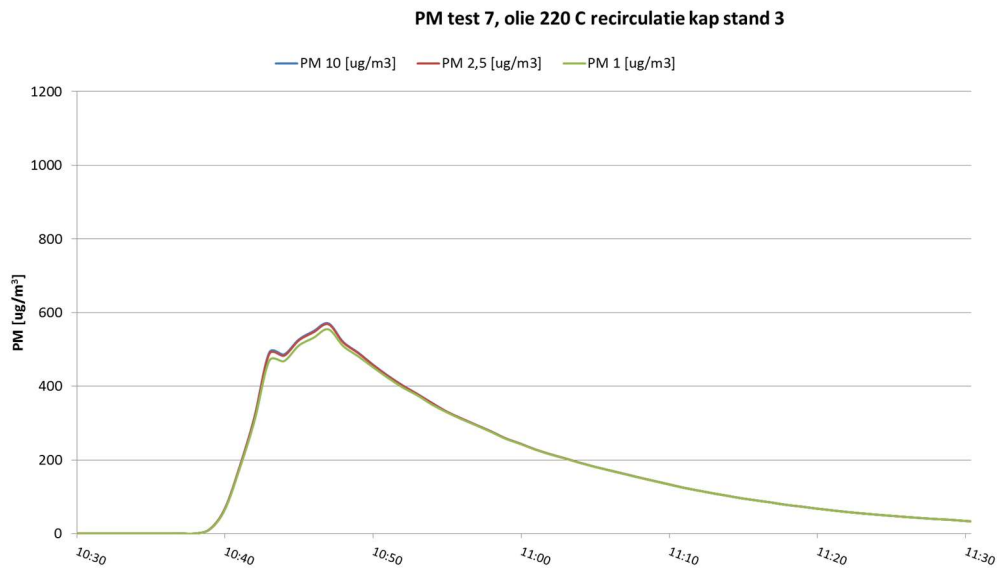
NO2 test 5, olie en hamburgers 220 C (duplo 4)



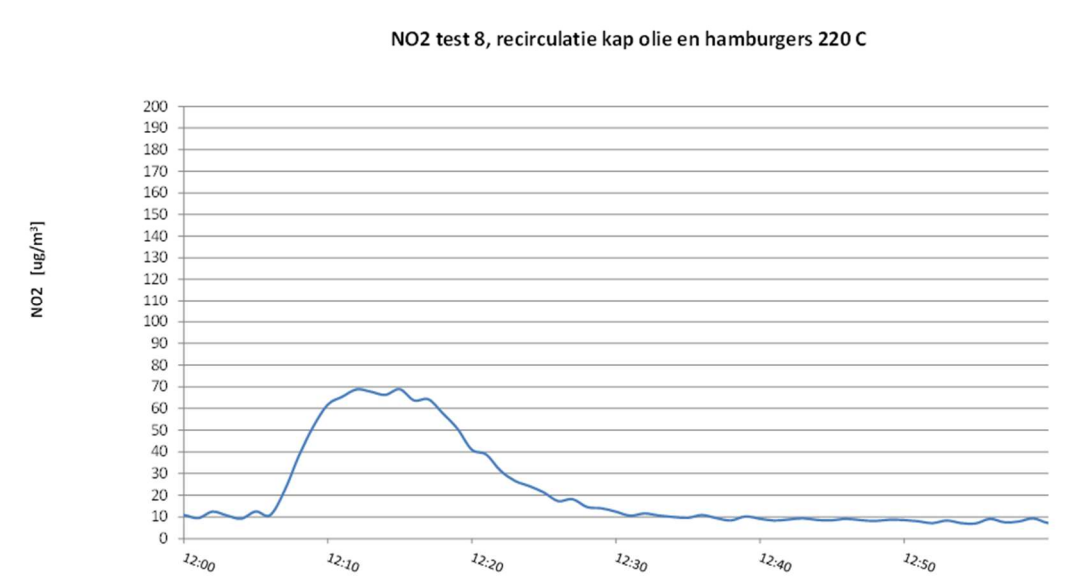
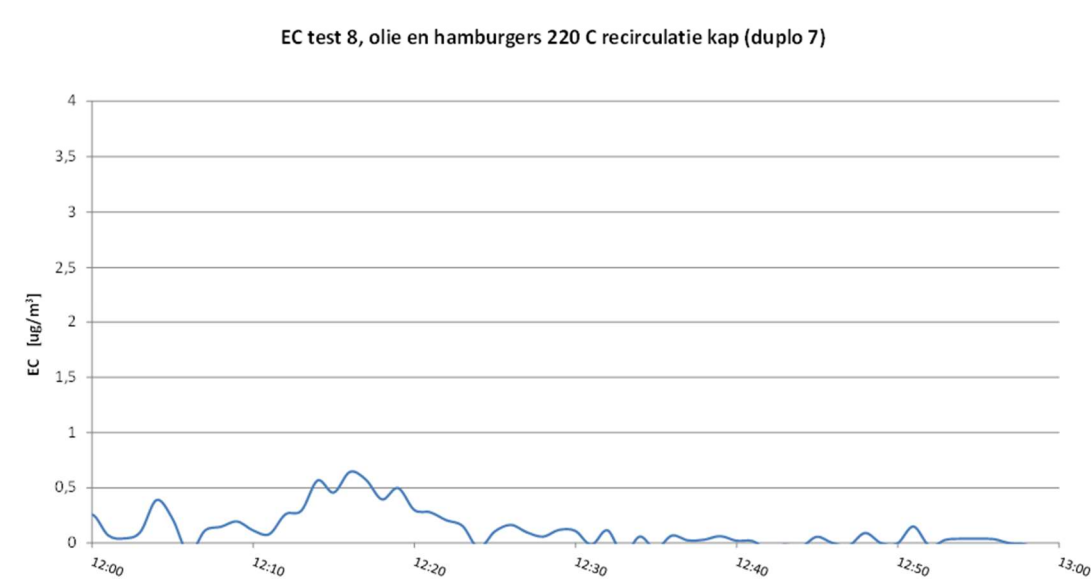
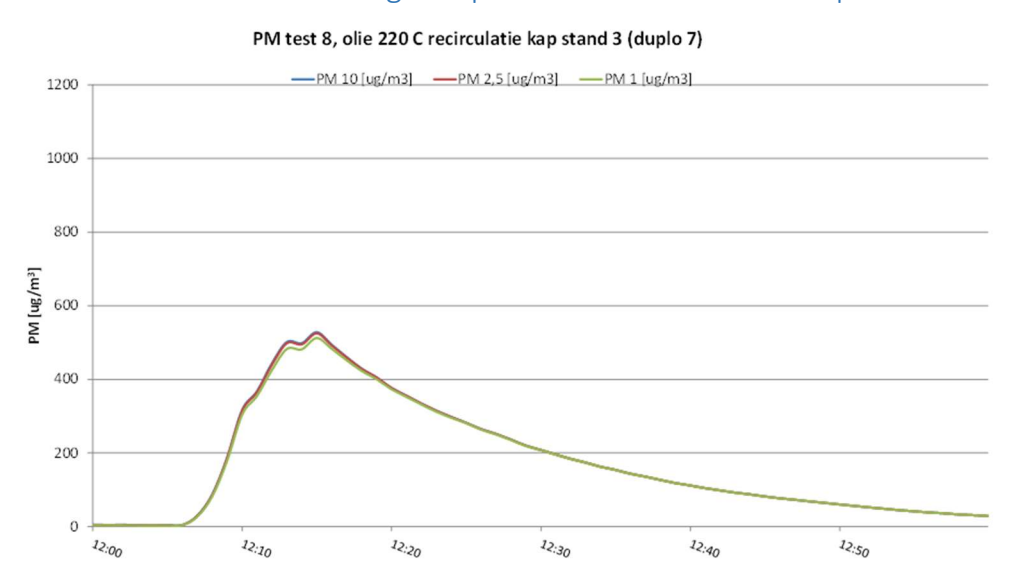
## Test 6: verhitten van olie op 220 C



## Test 7: bakken van hamburgers op 220 C met recirculatiekap

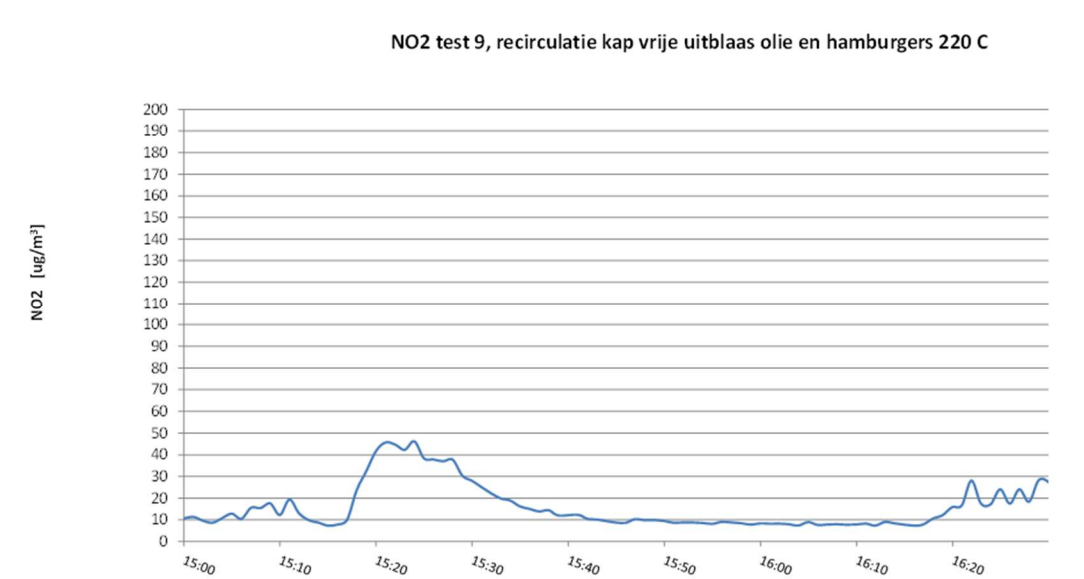
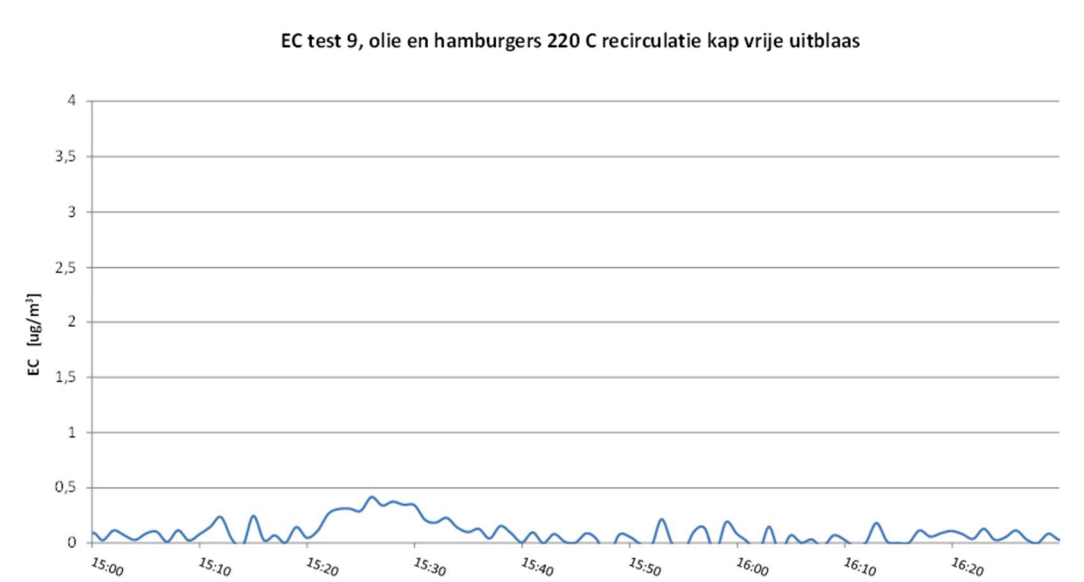
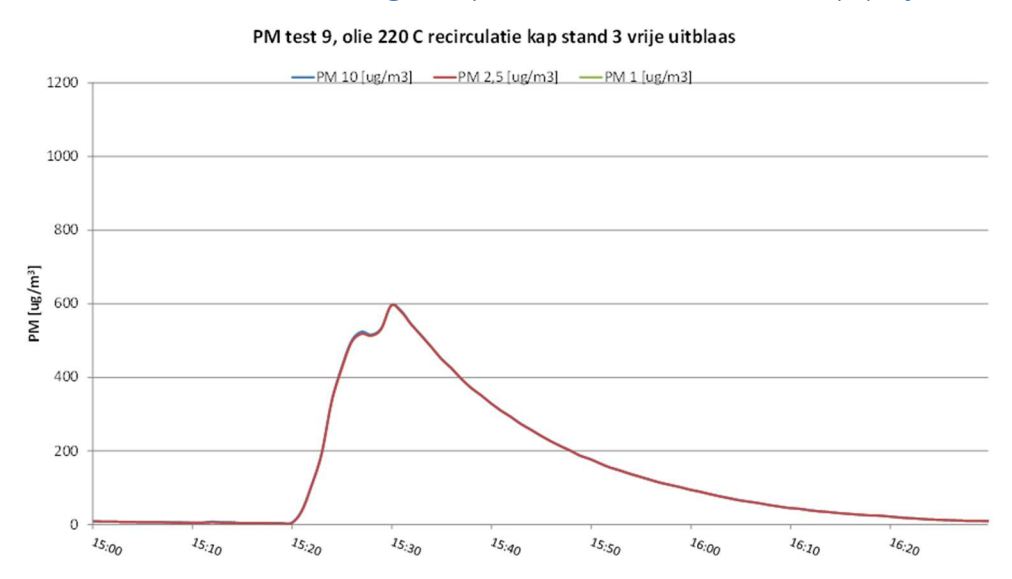


## Test 8: bakken van hamburgers op 220 C met recirculatiekap

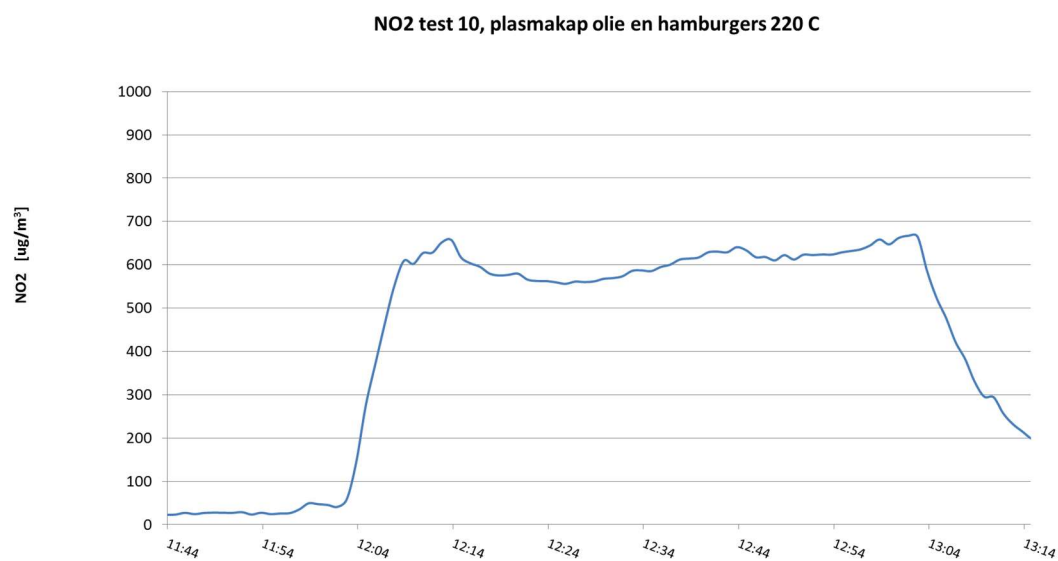
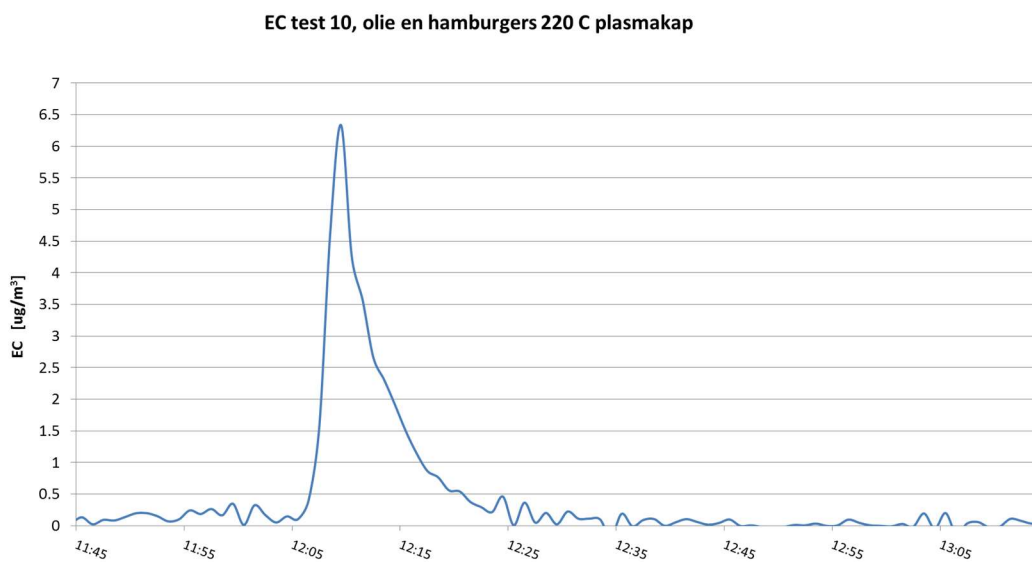
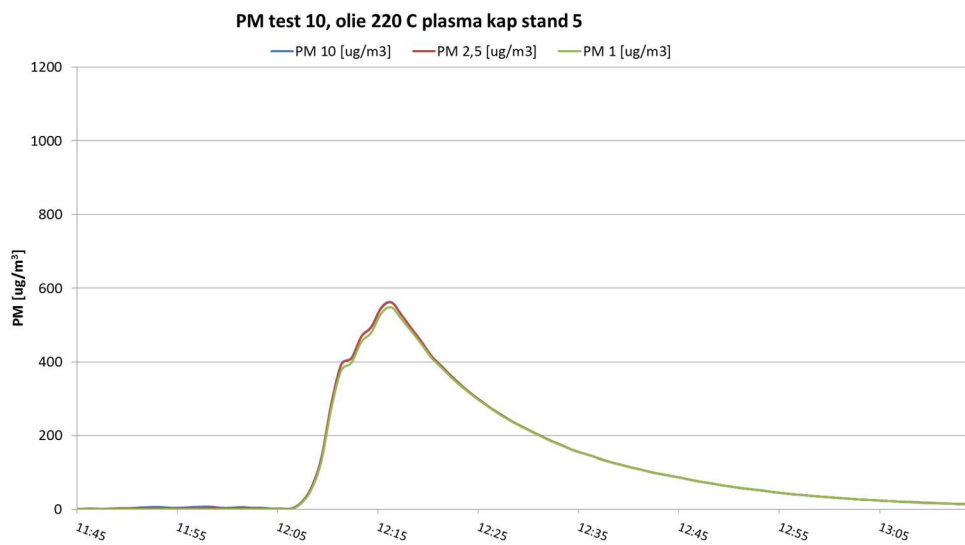


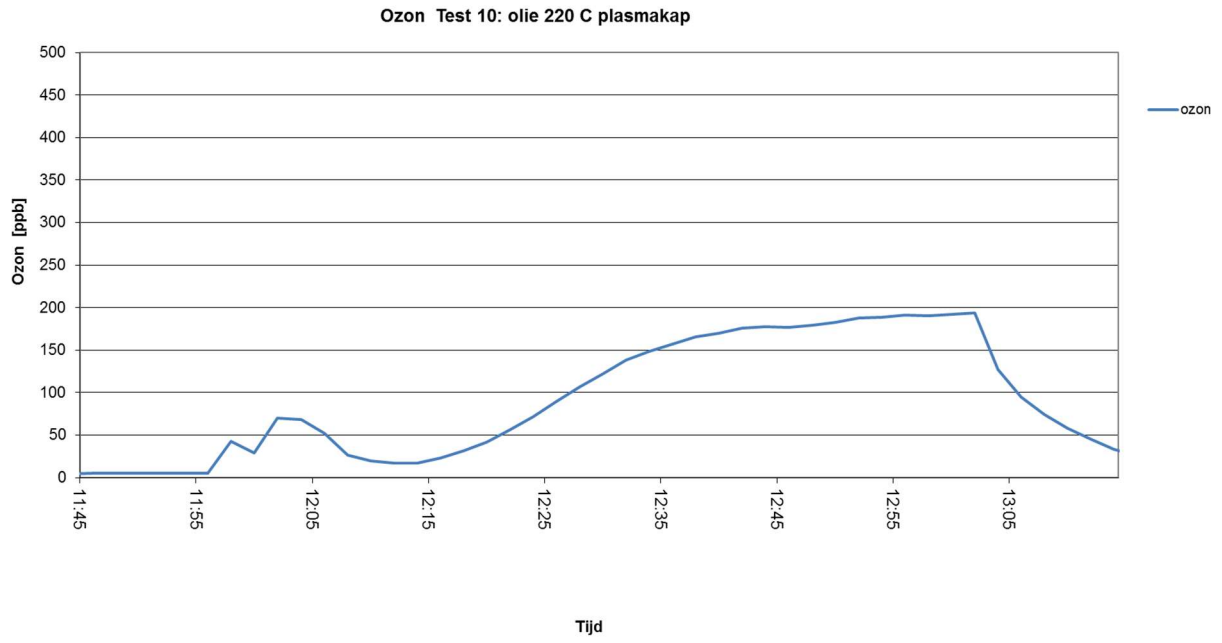


## Test 9: bakken van hamburgers op 220 C met recirculatiekap (vrije uitblaas)

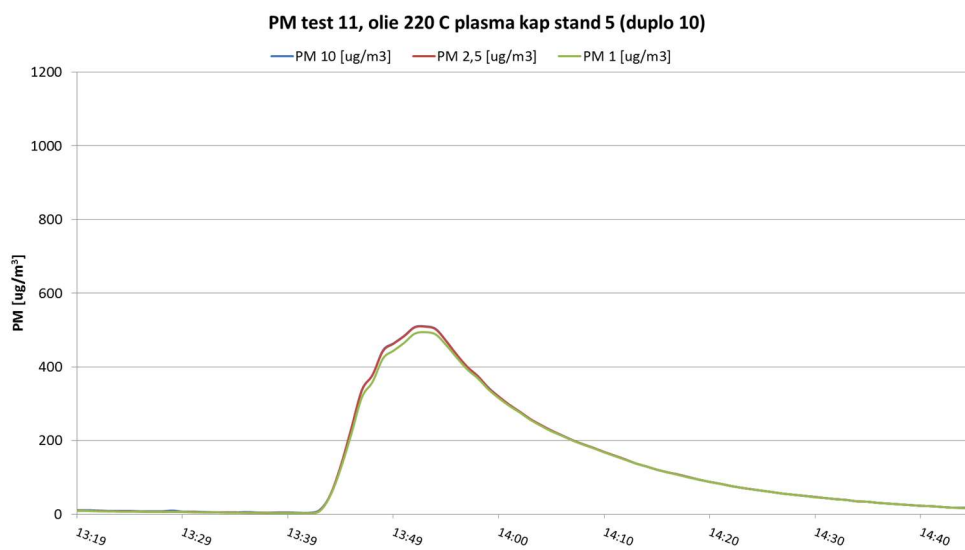


## Test 10: bakken van hamburgers op 220 C met plasmakap

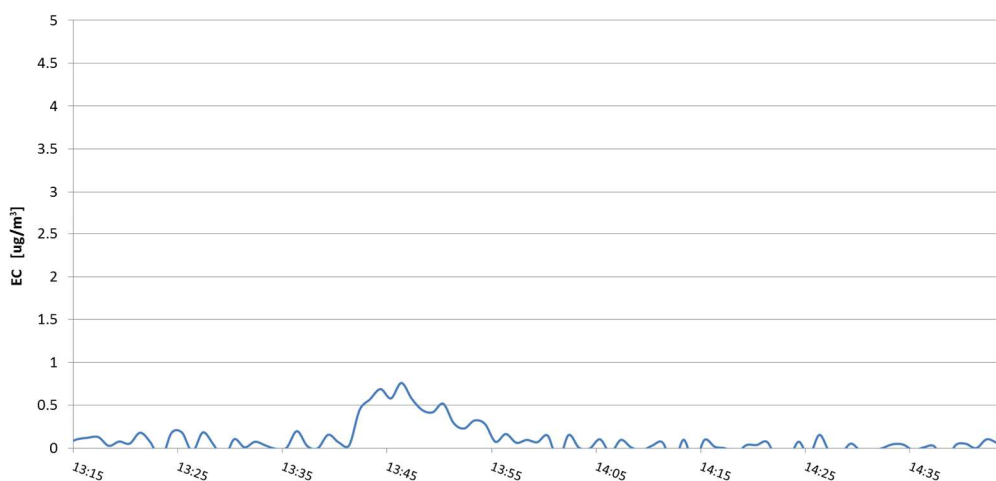




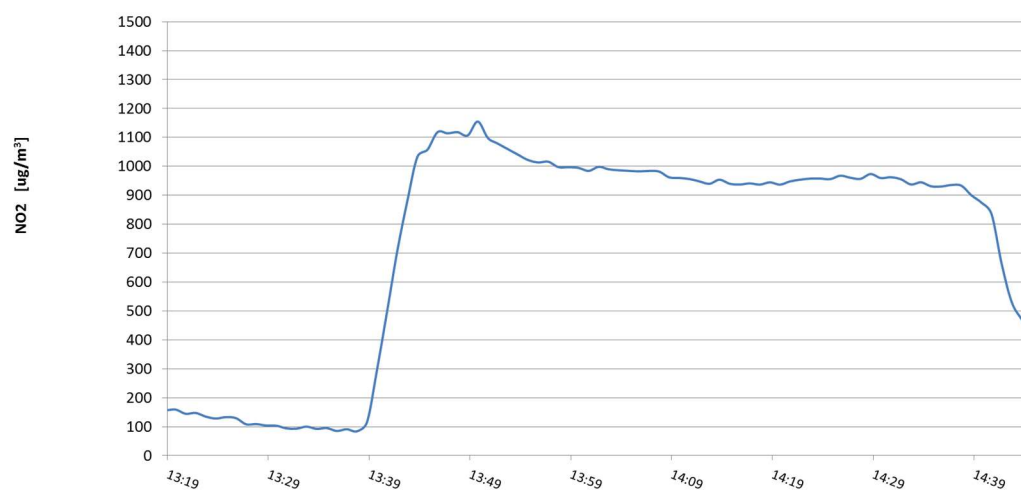
## Test 11: bakken van hamburgers op 220 C met plasmakap

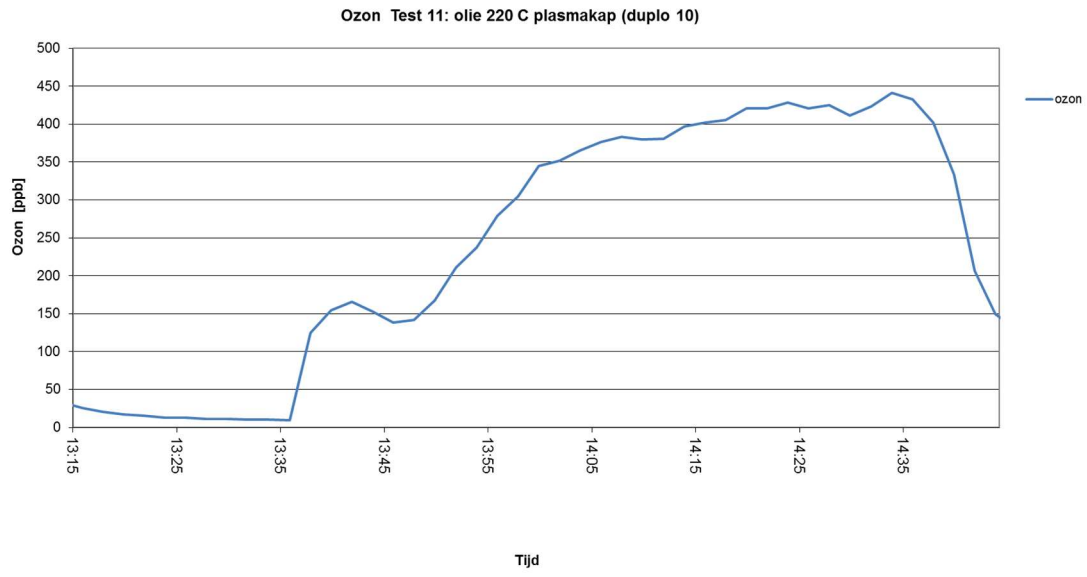


**EC test 11, olie en hamburgers 220 C plasmakap**



**NO2 test 11, plasmakap olie en hamburgers 220 C**





## Bijlage 2 CFD modellering

In the present study, numerical CFD models were set up to simulate the buoyant flow around electric and gas cooking furnaces. For all cases, evaporation of water during the cooking process was neglected.

### 1. Single cooking plate

The geometry for the CFD simulation was reduced to a 2m wide slice of the full domain (2.6m height, 2.6m long) applying symmetry boundary conditions at the lateral surfaces (Figure 1). The kitchen is reduced to one element with 0.6x0.91m cross section area. The pan has a cylindrical shape (diameter 0.19m, height 0.12m), located 0.145m away from the rear wall.

The computational mesh is generated as hybrid mesh with a prism layer at the rear wall, kitchen element and pan (Figure 2). The area around the pan is refined in order to better resolve the expected buoyancy driven flow phenomena. The mesh is additionally refined during the calculation in the wake area of the plume. This grid contains approximately 125.000 nodes/445.000 cells.

The Computations are performed with Fluent 14.5; initial results have shown that the correct flow topology can only be obtained with unsteady calculations. Steady state, turbulent calculations do not resolve the unsteadiness of the plume resulting in too concentrated, symmetric plumes with too high vertical flow velocities. Therefore the calculations were performed at laminar conditions. One additional case was performed with the  $k-\omega$  SST model with low-Re correction. Close to the pan, the turbulence model is off leading to similar plume shape results as the laminar calculation. Inside the room, the turbulent viscosity increases and the flow fluctuations are dampened.

For electric cooking the surface temperature of the pan was kept constant at 95°C. This heat source is the only source to drive the flow inside the domain. The kitchen wall was treated as adiabatic, whereas all other walls were kept constant at ambient temperature (20°C).

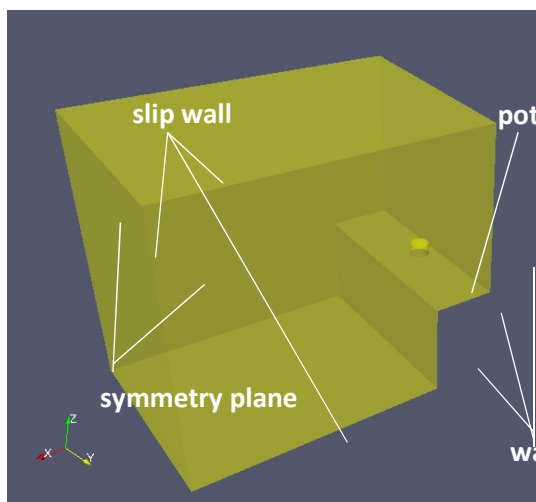


Figure 1: Geometry of simplified computational domain

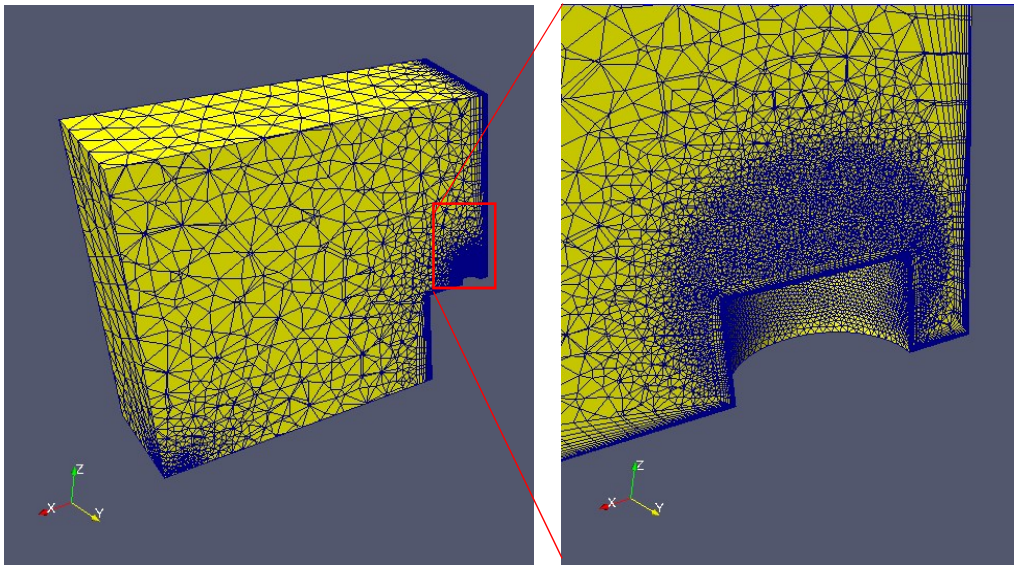


Figure 2: Computational mesh half domain (left), close to pan (right)

### 1.1 Results electric cooking

The monitored data shows clearly that the flowfield is highly unsteady. Velocity fluctuations due to unsteady vortices lead to a fluctuation in velocities between 0.1 and 0.6 m/s and the temperature fluctuates approximately 25°C at  $z=0.25\text{m}$  and 7-8°C at  $z=0.85\text{m}$  (Figure 4 and Figure 5). The flow topology is given shown in Figure 3, a moving plume is clearly visible.

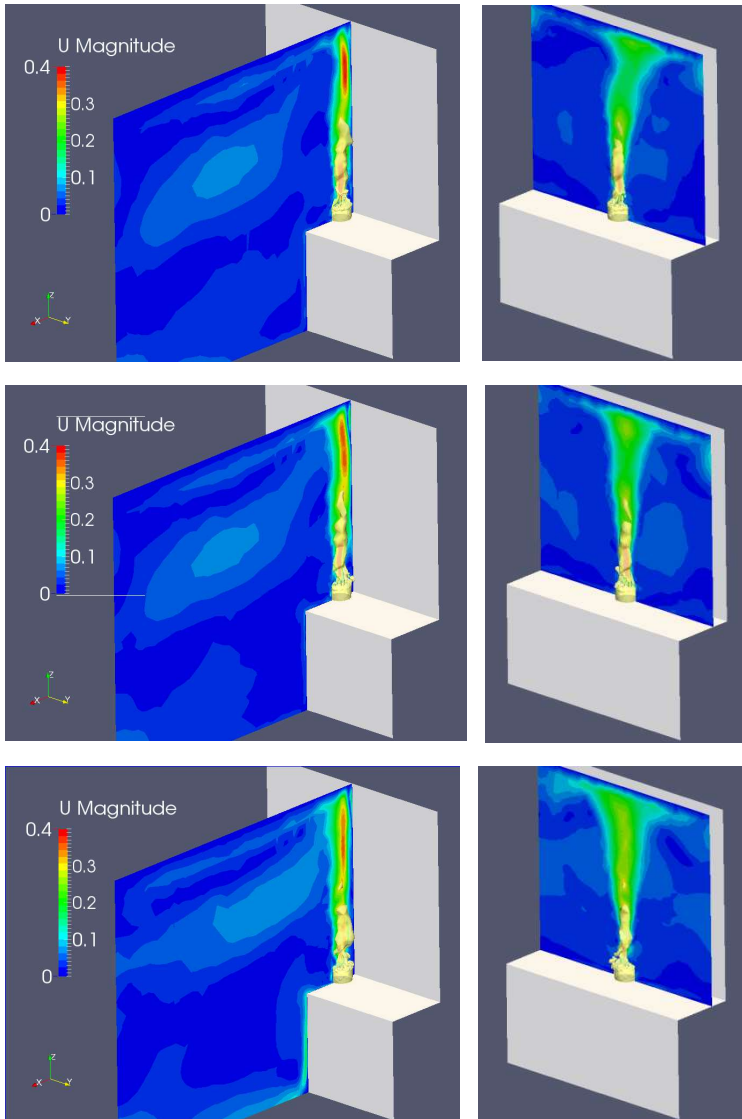


Figure 3: Unsteadyness of flow topology at 3 different time steps shown by velocity contour and iso-surface of temperature ( $T=24^{\circ}\text{C}$ )



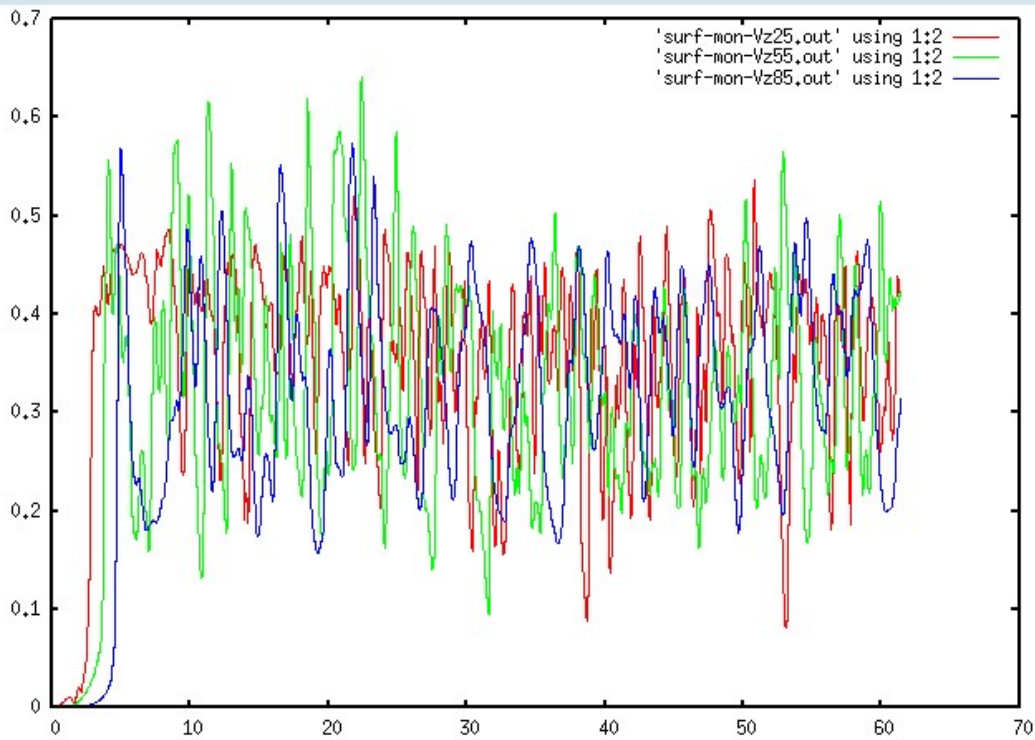


Figure 4: Velocity magnitude history of central point at height of  $z=0.25, 0.55$  and  $0.85\text{m}$  for electric cooking

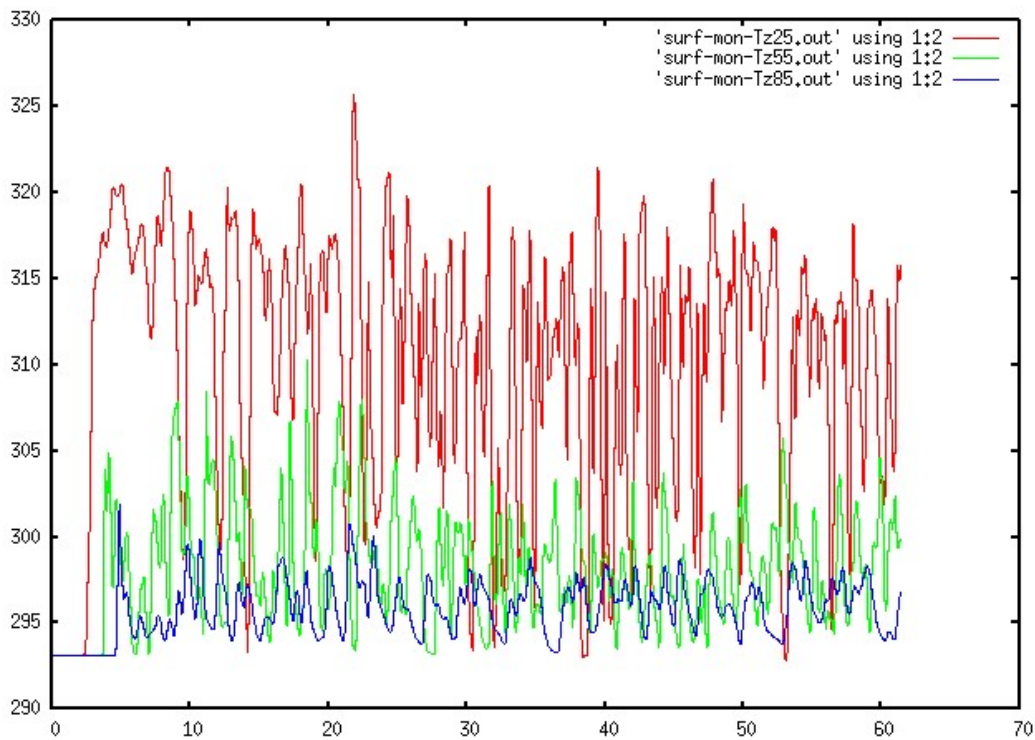


Figure 5: Temperature history of points of central at height of  $z=0.25, 0.55$  and  $0.85\text{m}$  for electric cooking

The time averaged numerical is compared with the experimental data in Table 1 and shows a fair comparison for the numerical and experimental data. Although the turbulent solution seems to be closer to the experimental data it has to be taken case that already a small misalignment of the plume (closer of further away from the wall) leads to quite strong changes in velocity and temperature. Therefore, both results have to be considered as satisfactory.

In addition, the experimental data were obtained with a hot sphere (thermal) anemometer (testo 0635 1049). Since it does not measure temperature and velocity independently it is not suited for fluctuating flow temperatures as in the present case. In addition, the hot sphere is quite insensitive to velocity fluctuations and needs a quite long time (10-20s) to reach a steady signal. Therefore the experimental data are considered somehow questionable with respect to its accuracy for the present cases.

z [m]	EXP T [°C]	EXP velocity [m/s]	CFD laminar T [°C]	CFD laminar velocity [m/s]	CFD turbulent T [°C]	CFD turbulent velocity [m/s]
0.25	37.2	0.260	36.8	0.355	39.4	0.363
0.55	29.6	0.375	25.25	0.331	30.0	0.395
0.85	27.1	0.292	23.0	0.333	26.3	0.358

Table 1: Experimental and numerical data for electric cooking

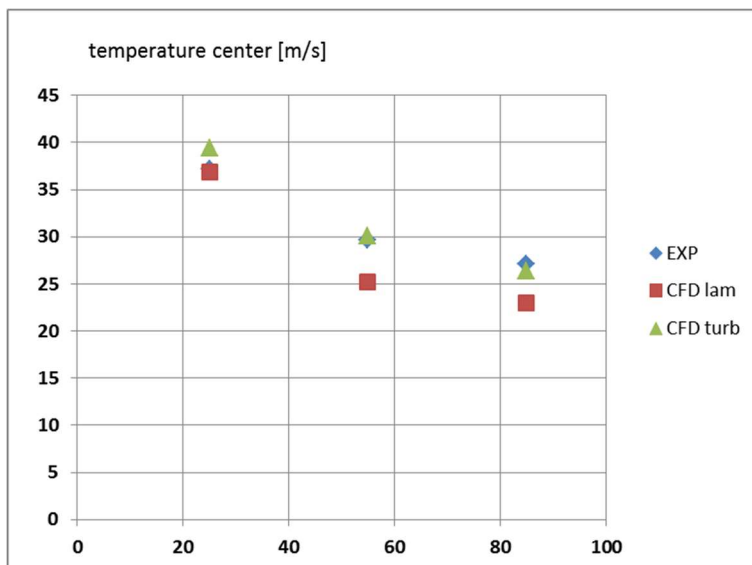


Figure 6: Experimental and numerical temperature data for electric cooking

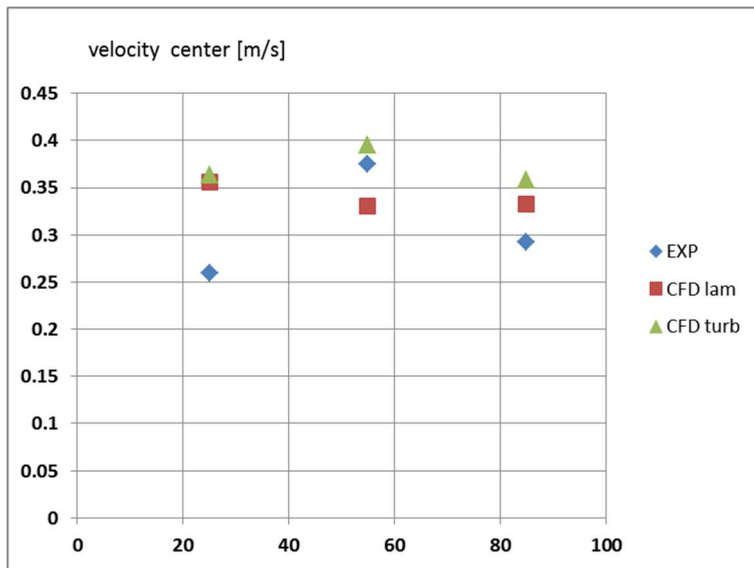


Figure 7: Experimental and numerical velocity data for electric cooking

The volumetric flow rate was derived from the experimental data by integration of the velocity signal over the plume area (Figure 1). The data for  $z=0.65\text{m}$  is included in Figure 9, the average is approximately 11 l/s plume volume flow for electric cooking. The postprocessed CFD data (not shown here) showed a mean value of approximately 9l/s. The agreement between the numerical and experimental data can be considered as reasonable. According to these results, as a rule of thumb, a buoyant plume of one cooking pan can be estimated as approximately 10l/s or  $36\text{m}^3/\text{h}$ . For a 3-pit setup, a plume of at least  $108\text{m}^3/\text{h}$  can be expected.

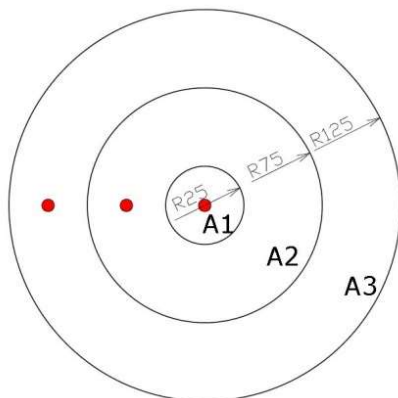


Figure 8: Left: top view of the anemometer positions and corresponding plume cross section areas, right: overview of the experimental rig.

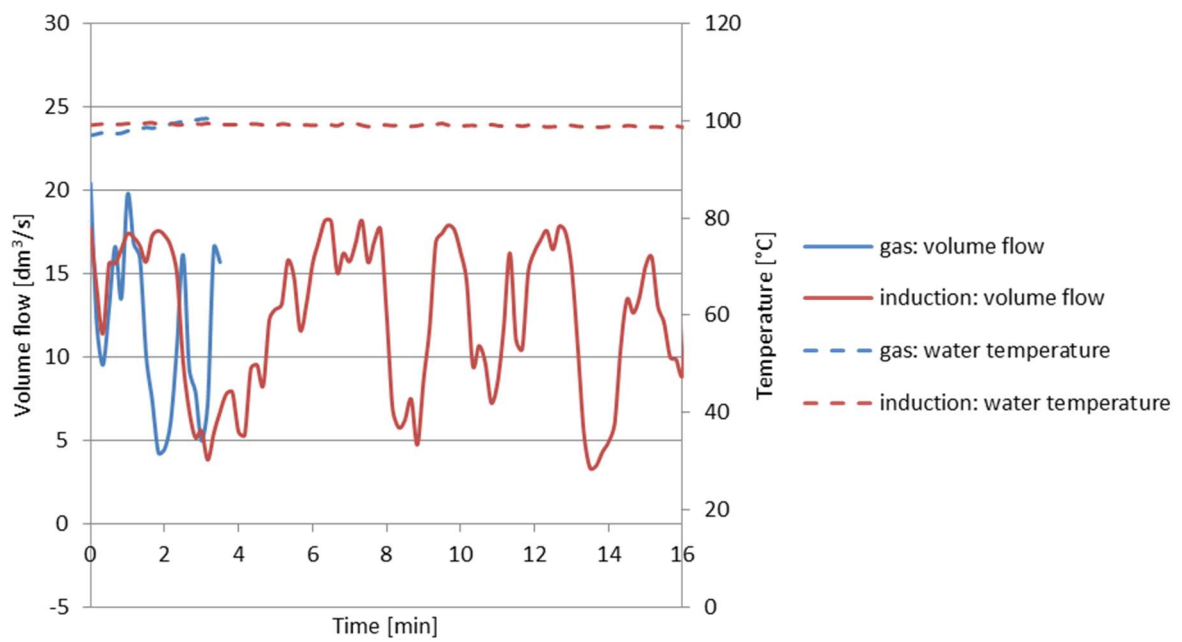


Figure 9: Volumetric flow rate at z=0. 65m derived from experimental data

## 1.2 Gas cooking

For the simulation of gas cooking, the geometry was updated such that the pan is 3cm above the kitchen desk; in addition, a heat release zone and gas inlet below the pan were added (Figure 10, Figure 11). By this, heat and mass can be added corresponding to the power settings during the experiments without detailed modelling of the combustion process.

The power settings were derived from the settings during the experiment (minimum setting) and the data from the manufacturer (Pelgrim). According to this, the minimum power setting corresponds to 31% of the maximum power of the burner. For the present case, the heat loss into the air was calculated to be 164 W. This heat was released in the heat release zone. The mass flow rate was calculated at  $1.24 \cdot 10^{-5} \text{ kg/s}$ . The temperature was set to a constant value of 95°C at the pan surface comparable to the case for electric cooking.

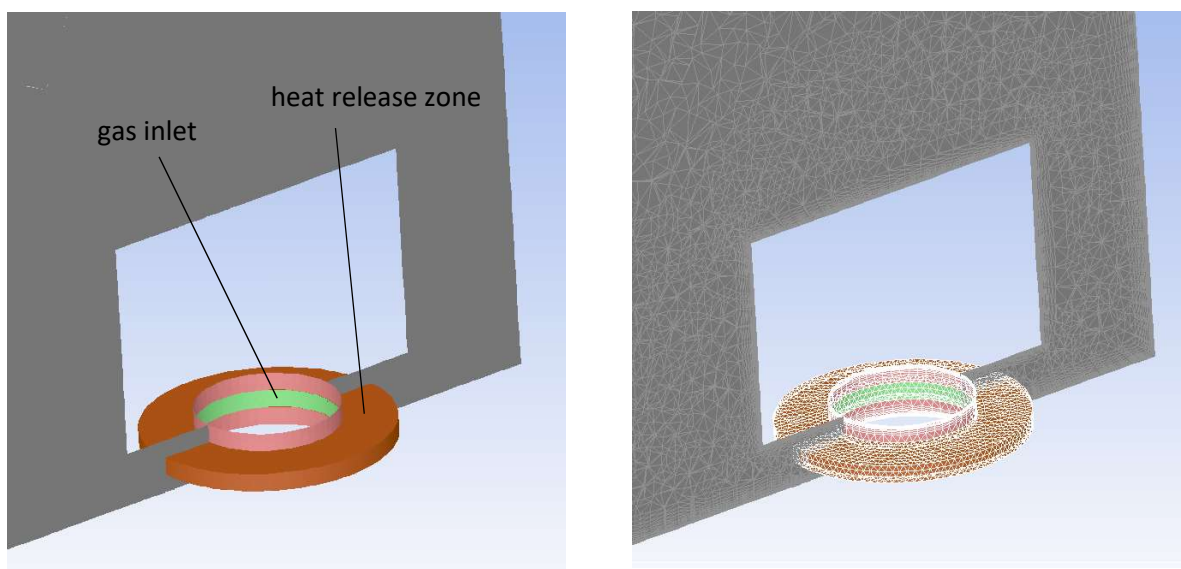


Figure 10: Geometry and mesh in pan area including heat release region and gas inflow

Comparable to the case of electric cooking, the hot plume is unsteady (Figure 11). The maximum and average velocities and temperatures are higher since more heat is released into the surrounding air. The point at  $z=0.25$  has a questionable data since the temperature is higher than with electric cooking and the measured velocity is quite low (Table 2). Temperature and velocities show strong fluctuations with the numerical solution due to plume instabilities (Figure 12, Figure 13).

The mean values are compared in Figure 14 and Figure 15. Except for the lowest point, the agreement of the experimental and numerical data is satisfactory.

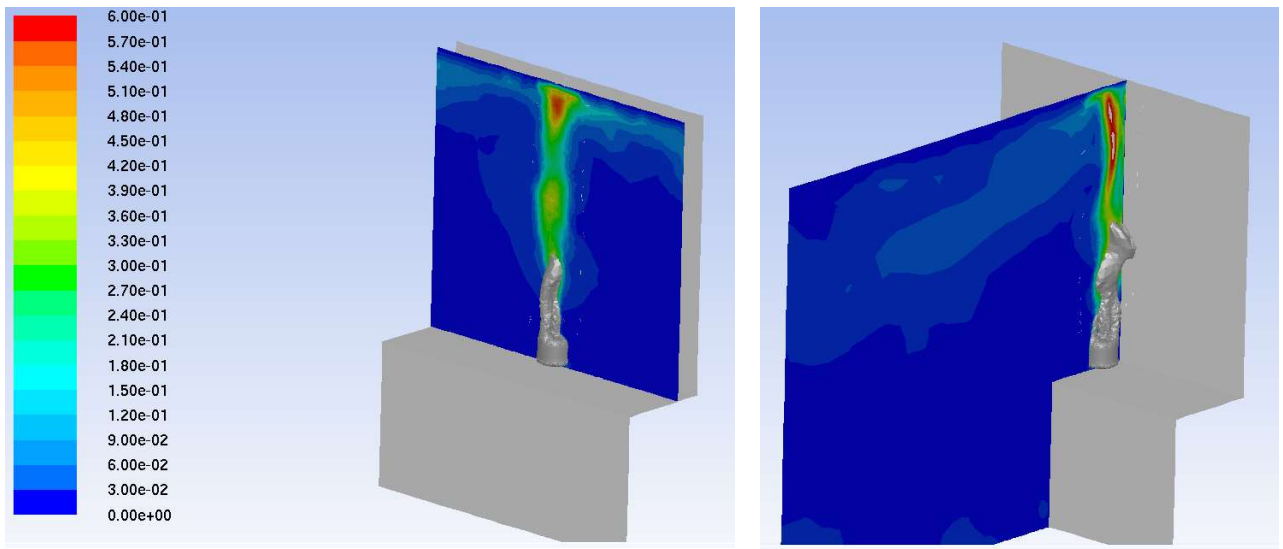


Figure 11: Unsteadiness of flow topology at instantaneous time steps shown by velocity contour and iso-surface of temperature ( $T=27^{\circ}\text{C}$ )

z [m]	EXP T [ $^{\circ}\text{C}$ ]	EXP velocity [m/s]	CFD laminar T [ $^{\circ}\text{C}$ ]	CFD laminar velocity [m/s]
0.25	35.36	0.247	46.13	0.416
0.55	33.56	0.428	30.42	4.38E-01
0.85	31.29	0.427	26.12	4.09E-01

Table 2: Experimental and numerical data for gas cooking

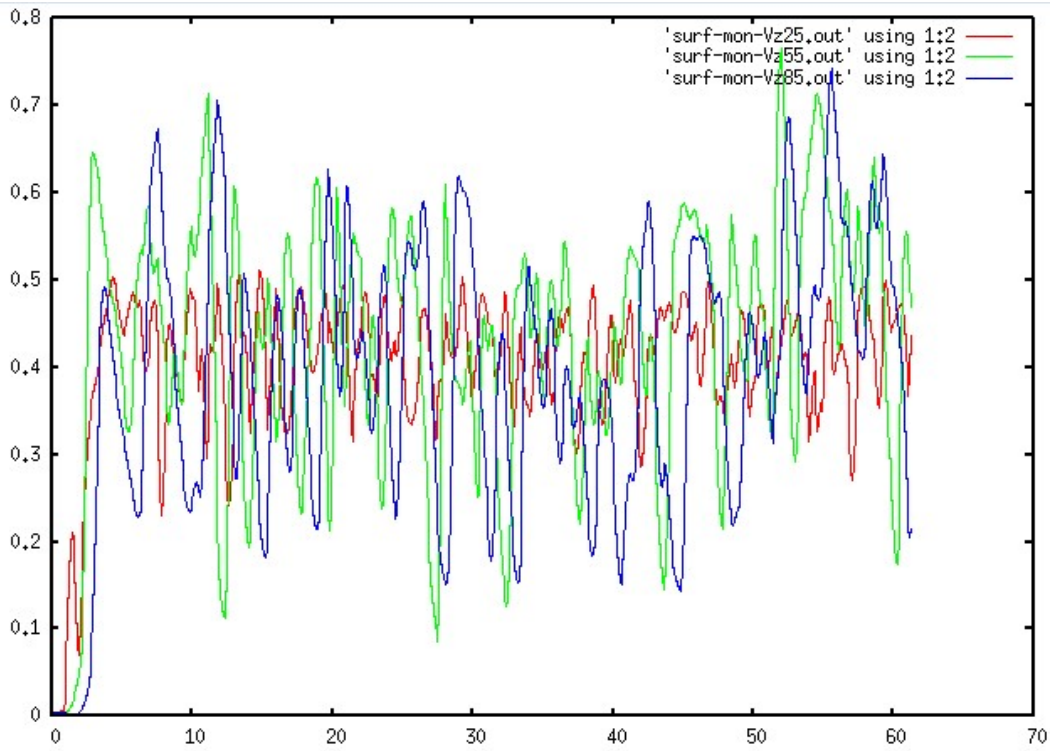


Figure 12: Velocity history of points of central at height of  $z=0.25, 0.55$  and  $0.85\text{m}$  for gas cooking

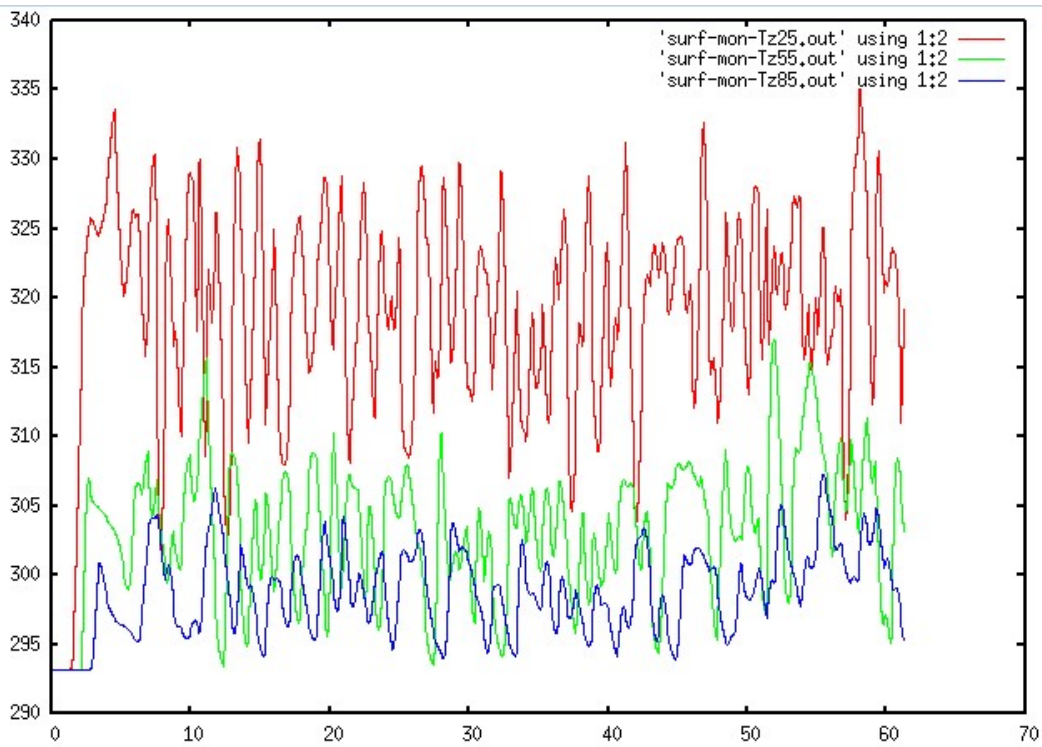


Figure 13: Temperature [K] history of points of central at height of  $z=0.25, 0.55$  and  $0.85\text{m}$  for gas cooking

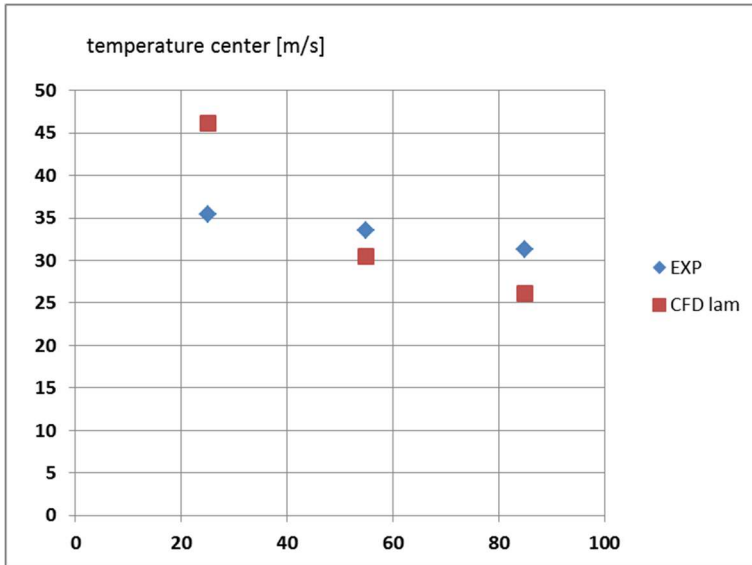


Figure 14: Experimental and numerical temperature data for gas cooking

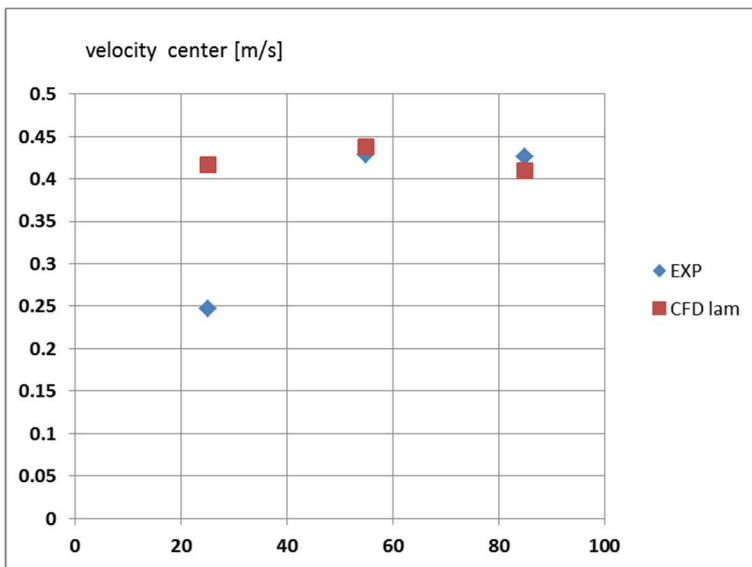


Figure 15: Experimental and numerical velocity data for gas cooking



## 2. Simulation of hood efficiency

In addition to the generic simulations shown before, additional simulations were performed for a realistic scenario with three pans and a hood (ATAG WS9011QAM) installed. The furnace was gas-powered and experimental data is available for the hood efficiency for different volume flow rates. The geometry of the hood was taken from original CAD files, whereas the kitchen layout was taken from the actual setup featuring the main desk components (Figure 16, Figure 17).

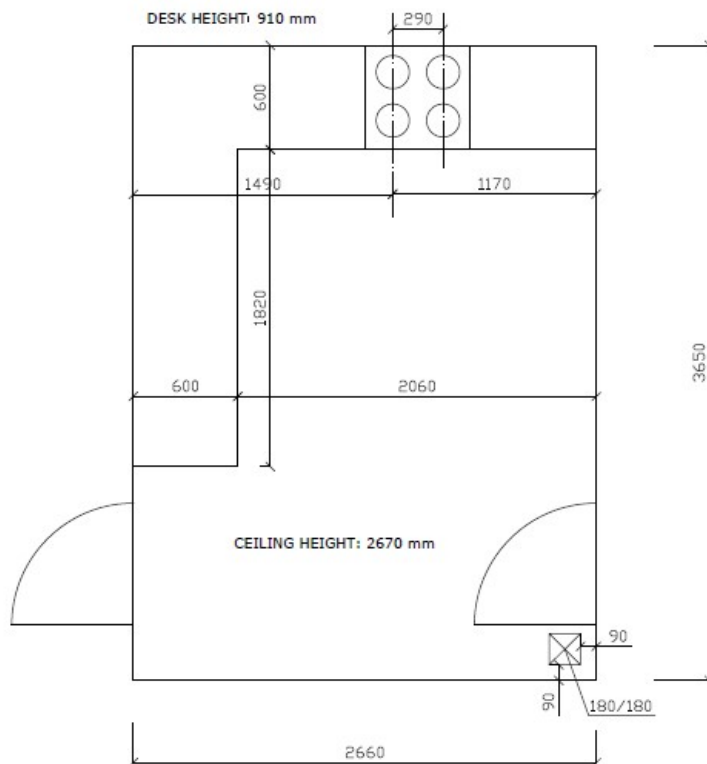


Figure 16: Top view setup kitchen

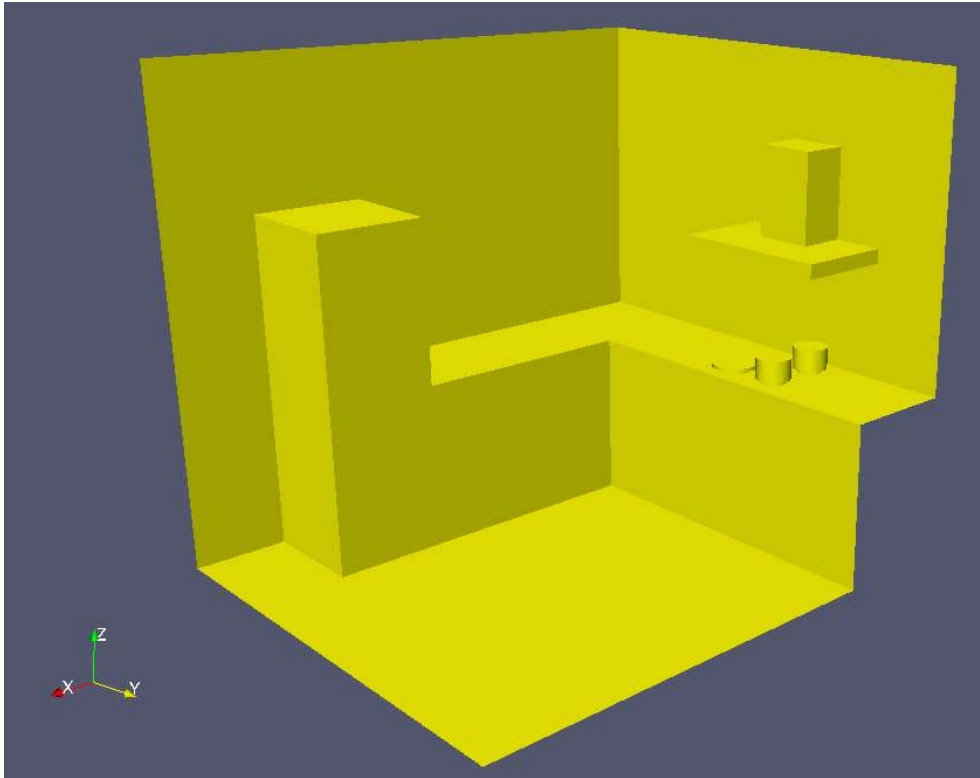


Figure 17: Geometry setup kitchen including the main features

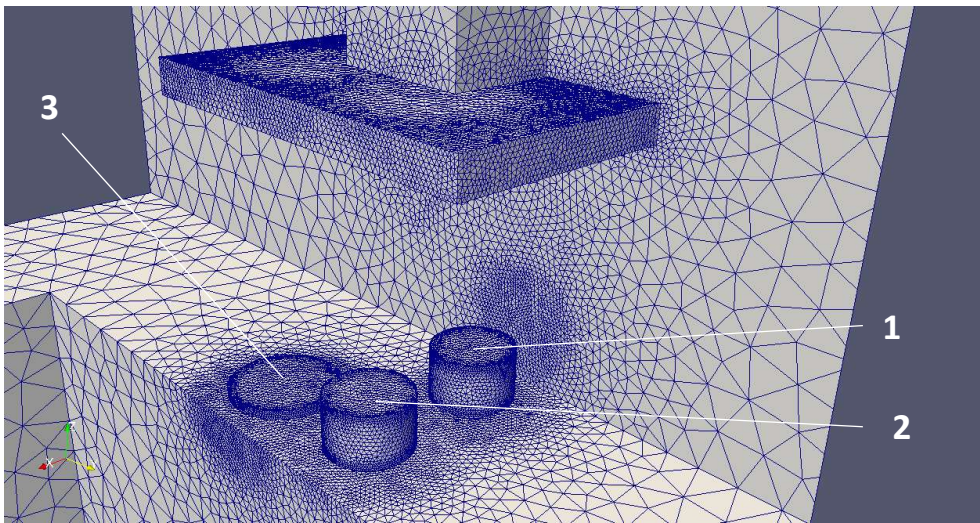


Figure 18: Surface mesh furnace and hood, top view

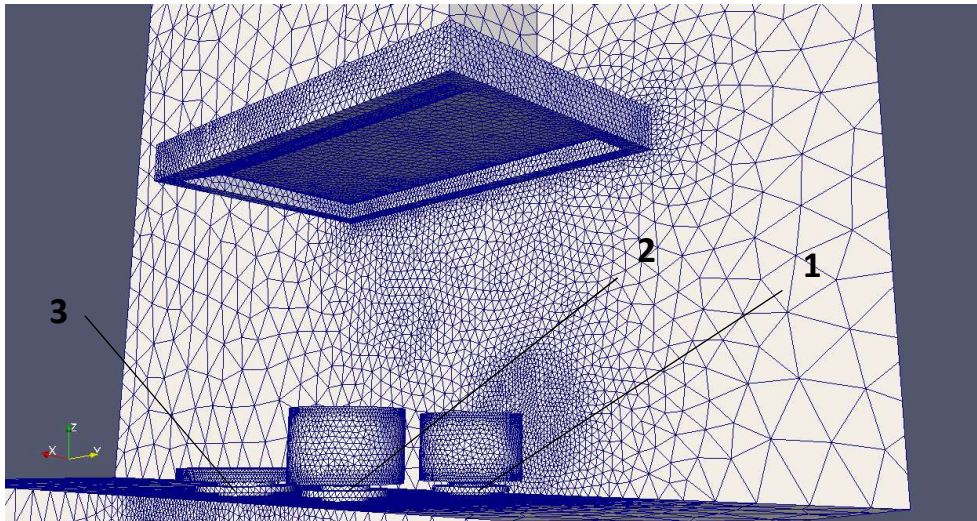


Figure 19: Surface mesh furnace and hood, bottom view

The mesh is refined in the furnace and hood area in order to sufficiently resolve the plumes (Figure 18, Figure 19). It contains approximately 485.000 nodes/1.76 million cells. All calculations were performed as time accurate simulations with simulation times in the order of 30s. The power settings were derived from experimental data, where the overall CO<sub>2</sub> volume flow rate was measured. From this data, the heat releases for the gas burner was calculated and distributed among the burners according to their minimal power setting (Table 3).

Table 3: Power settings and boundary conditions for 3-pit gas cooking

Location (Figure 18)	Power setting [%]	Heat release [W]	Surface temperature location (Figure 19)	Surface temperature [°C]	Massflow rate gas [kg/s]
1	31	193.5	1	100	1.16e-06
2	20.5	392.5	2	100	1.14e-05
3	27.5	230	3	180	7.63e-06

Two simulations were performed for hood volume flow rates of 75 and 300m<sup>3</sup>/h; the airflow was modelled by an inlet through a porous ceiling and a fixed outlet through the hood.

During the simulation a small amount of tracer gas was released from the gas inlet. The gas mass flow rates were monitored at the ceiling and the hood. Since the inflow velocity is not fixed but the pressure is kept constant, the fraction of the rising plume which is not removed by the hood is able to leave the porous ceiling at low speed. Due to this, the efficiency of the hood can be calculated by the fraction of the mass flow extracted by the hood compared with the released mass flow of tracer gas.

## 2.1 Simulation results hood efficiency at 300m<sup>3</sup>/h flow rate

In

Figure 20, the flow topology of the buoyant plumes is shown. The three plumes are nicely extracted by the hood, no lateral spillage is observed. Only at the front of the hood where a ramp-like shape (featuring the spot-lights in the original configuration) is present, minor spillage is observed. The overall (time averaged) efficiency is 94.5% derived from the CFD solution. The comparison with the experimental data (94.9%), is excellent. Due to the unsteadyness of the flow, the efficiency of the

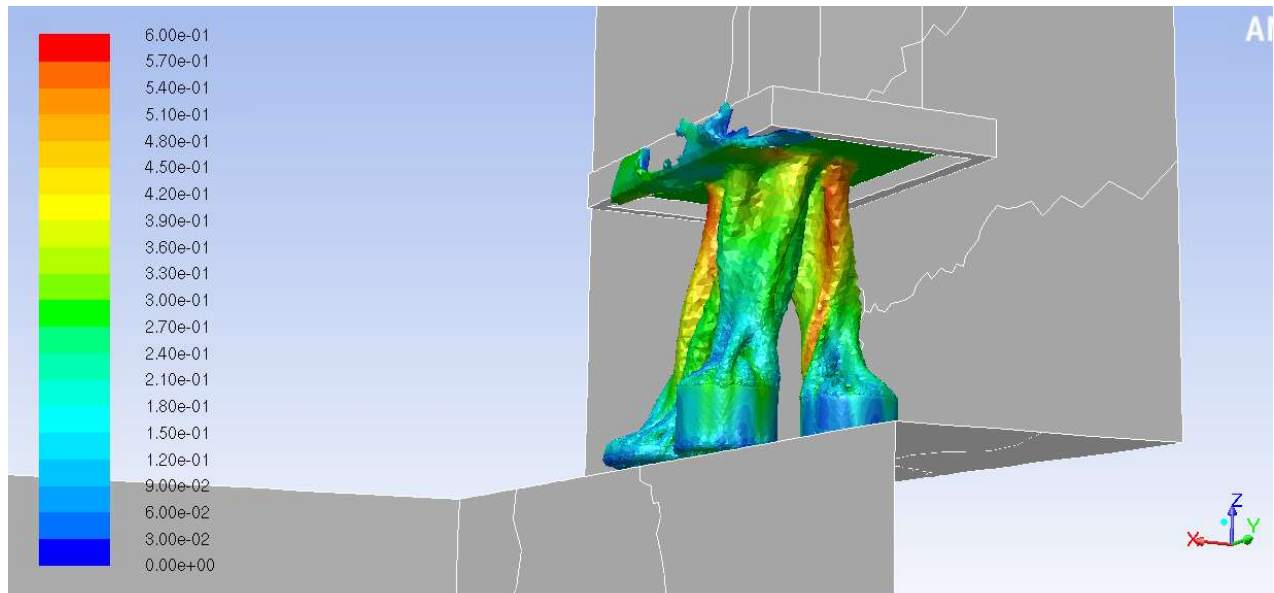


Figure 20: Instantaneous snapshot of buoyant plumes (hood volume flow rate 300m<sup>3</sup>/h). Iso-surface of constant CO<sub>2</sub> mass fraction [ $5 \cdot 10^{-4}$ ] carrying flow velocity contour [m/s]

## 2.2 Simulation results hood efficiency at 75m<sup>3</sup>/h flow rate

In Figure 21, the buoyant plume is shown for the volume flow rate of 75m<sup>3</sup>/h. For this condition, massive spillage also in lateral direction is observed and therefore the efficiency is only 58% (CFD solution). Again, the comparison with the experimental data (50.2%) is good regarding the quite complex flow topology. Due to the unsteadyness of the flow, the efficiency of the hood is strongly time dependent in the CFD solution, the minimum and maximum values within the simulated time series 34.5% and 82.6%.

As explained earlier and derived from the single pit electric cooking results, the plume volume flow of a 3-pit cooking setup can be taken as at least 108m<sup>3</sup>/h which is well above the hood capacity of 75 m<sup>3</sup>/h. By this, the low efficiency can be explained by the too low volume flow and not a poor design of the hood.

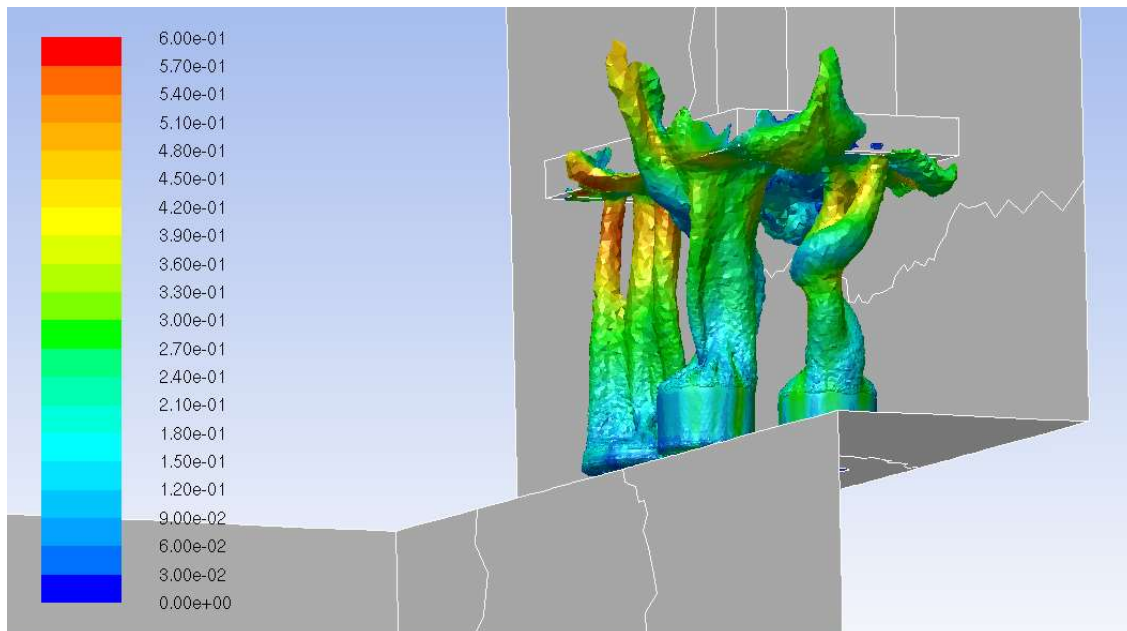


Figure 21: Instantaneous snapshot of buoyant plumes (hood volume flow rate  $75\text{m}^3/\text{h}$ ). Iso-surface of constant  $\text{CO}_2$  mass fraction [ $5 \cdot 10^{-4}$ ] carrying flow velocity contour [m/s]

### 3. Summary

In the present study, buoyant plumes from generic single cooking plates (electric and gas powered) and multi-cooking plates including a simplified kitchen setup including hood were analyzed. On the one hand, the plume flow topology for the generic cases could be validated with experimental results and showed reasonable agreement. Due to the fact that the sensors used during the experiment were not fully suitable (low response time, not corrected for fluctuating temperature) discrepancies can be explained. On the other hand, for the 3D setup, the hood efficiencies for two different hood volume flow rates ( $75$  and  $300\text{m}^3/\text{h}$ ) agreed well with the experimental data.

For all cases, time accurate computations have to be performed; the agreement with steady state solutions was poor due to a different plume topology (temperatures were too high, the plume is too concentrated and therefore plume velocities were over predicted).

According to these results, the CFD simulations can be applied to this kind of buoyant flow for the improvement of different aspects such as:

- Hood layout (external design optimization) to improve capture efficiency
- Furnace geometry and layout (improved plume positions, reduce unsteadiness)
- Measures at furnace and hood (blowing suction of secondary air) including balanced ventilation
- In addition, the internal flow of hood can be analyzed and possibly improved (efficiency of filters and pressure drop)

## Bijlage 3 Analyse rapport PAK's

**Tabel 1: PAK meetresultaten**

Monstercode TNO Code opdrachtgever	52016139-001 NR 0, 17 aug. 2016; Blanco XAD	52016139-002 NR 3, 15 aug. 2016; Filter+XAD	52016139-003 NR 4, 15 aug. 2016; Filter+XAD	52016139-004 NR 5, 15 aug. 2016; Filter+XAD; duplo 4	52016139-005 NR 6, 16 aug. 2016; Filter+XAD					
16 EPA PAK	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)
naftaleen	30	82	61	93	64	95	54	108	74	54
acenaftyleen	< 1,0	91	1,1	102	1,4	100	1,6	98	1,5	78
acenaftaleen	4,0	87	8,6	95	10	96	9,5	99	8,3	96
fluoreen	4,5	97	9,0	98	11	99	11	91	7,5	93
fenantreen	8,1	95	21	92	24	99	22	97	18	82
antraceen	Q	< 1,0	94	1,4	98	1,5	101	2,6	98	< 1,0
fluorantreen	Q	< 1,0	97	2,2	101	3,4	111	4,2	90	2,6
pyreen	Q	< 1,0	96	2,6	100	3,2	108	3,6	105	2,2
benzo[a]antraceen	Q	< 1,0	99	< 1,0	101	< 1,0	118	< 1,0	100	< 1,0
chryseen	Q	< 1,0	101	< 1,0	109	< 1,0	108	< 1,0	96	< 1,0
benzo[b]fluorantreen	Q	< 1,0	101	< 1,0	119	< 1,0	128	1,3	99	< 1,0
benzo[k]fluorantreen	Q	< 1,0	102	< 1,0	96	1,8	100	3,3	96	5,0
benzo[a]pyreen	Q	< 1,0	101	< 1,0	105	< 1,0	109	< 1,0	103	< 1,0
indeno[1,2,3-cd]pyreen	Q	< 1,0	78	< 1,0	96	< 1,0	105	< 1,0	97	< 1,0
dibenzo[a,h]antraceen	Q	< 1,0	94	< 1,0	109	< 1,0	105	< 1,0	102	< 1,0
benzo[g,h,i]peryleen	Q	< 1,0	94	< 1,0	107	< 1,0	105	< 1,0	106	< 1,0
Σ16EPA PAK	47		107		120		113		120	

**Tabel 1 (vervolg): PAK meetresultaten**

Monstercode TNO Code opdrachtgever	52016139-006 NR 7, 17 aug. 2016; Filter+XAD	52016139-007 NR 8, 17 aug. 2016; Filter+XAD	52016139-008 NR 9, 17 aug. 2016; Filter+XAD; duplo 7	52016139-009 NR 10, 1 sept. 2016; Filter+XAD; herh. 7 en 8	52016139-010 NR 11, 1 sept. 2016; Filter+XAD; duplo 10					
16 EPA PAK	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)	PAK ng/m3	terugv. (%)
naftaleen	37	86	36	82	25	105	36	78	43	79
acenaftyleen	< 1,0	93	< 1,0	92	< 1,0	98	< 1,0	92	1,1	93
acenaftaleen	6,2	83	5,3	98	5,4	93	3,8	102	4,9	93
fluoreen	7,0	90	7,0	91	6,8	101	4,9	96	5,9	101
fenantreen	Q	17	91	17	92	19	101	16	93	15
antraceen	Q	< 1,0	93	1,0	95	< 1,0	102	< 1,0	90	< 1,0
fluorantreen	Q	2,5	102	2,7	99	2,9	113	4,3	108	1,8
pyreen	Q	2,4	97	2,8	96	2,4	108	8,7	102	< 1,0
benzo[a]antraceen	Q	< 1,0	89	< 1,0	106	< 1,0	107	< 1,0	105	< 1,0
chryseen	Q	< 1,0	100	< 1,0	90	< 1,0	106	< 1,0	98	< 1,0
benzo[b]fluorantreen	Q	< 1,0	112	< 1,0	103	< 1,0	104	< 1,0	105	< 1,0
benzo[k]fluorantreen	Q	1,1	103	1,2	91	1,7	108	< 1,0	105	< 1,0
benzo[a]pyreen	Q	< 1,0	104	< 1,0	99	< 1,0	93	< 1,0	96	< 1,0
indeno[1,2,3-cd]pyreen	Q	< 1,0	102	< 1,0	97	< 1,0	90	< 1,0	92	< 1,0
dibenzo[a,h]antraceen	Q	< 1,0	96	< 1,0	101	< 1,0	102	< 1,0	105	< 1,0
benzo[g,h,i]peryleen	Q	< 1,0	104	< 1,0	98	< 1,0	100	1,4	96	< 1,0
Σ16EPA PAK	73		73		63		75		72	