

Institutt for bygg- og energiteknikk — Energi og miljø i bygg

Postadresse: Postboks 4 St. Olavs plass, 0130 Oslo

Besøksadresse: Pilestredet 35, Oslo

Webside: www.oslomet.no

MASTEROPPGAVE

OPPGAVENS TITTEL:	DATO:
Benkeventilator kontra veggmontert kjøkkenhette: Eksperimentell dokumentasjon av ytelse	25.05.2022
	ANTALL SIDER OG VEDLEGG: 61 + 33
FORFATTER:	VEILEDERE:
Øystein Eliassen	Peter Geoffrey Schild Kari Thunshelle

UTFØRT I SAMARBEID MED:	KONTAKTPERSON:
SINTEF Community	Kari Thunshelle

KORT SAMMENDRAG:
<p>Økende urbanisering fører til mer kompakte, arealeffektive og tettere bygg. Leilighetene har gjerne åpne løsninger, noe som byr på utfordringer til ventilasjonsløsninger. Dette fører til vanskeligheter med å finne ventilasjonsløsninger. Matos er en av de største kildene til innendørs luftforurensninger, spesielt partikler opp til 2,5 µm (PM_{2.5}), som kan føre til helseeffekter. Bruk av kjøkkenventilatorer reduserer matos og dermed reduseres eksponeringen. Det finnes stadig nye løsninger for kjøkkenventilatorer, som kan føre til at man må vurdere å gjøre endringer i forbindelse med krav og anbefalinger til luftmengde. Oppgaven omhandler hvordan benkeventilatoren måler seg opp mot en tradisjonell kjøkkenhette. Ulike eksperimenter ble utført for lav, medium, høy og veldig høy luftmengde hvor luftmengdene ble valgt basert på krav og anbefalinger i Norge og andre land.</p> <p>Sammenligningen av benkeventilatoren og kjøkkenhetten viser at ved uttrekking oppnår benkeventilatoren bedre resultater for osoppfangsevne ved luftmengder over 108 m³/h, under gitte forutsetninger. For benkeventilatoren er trolig den optimale luftmengden, basert på osoppfangsevne, 250 m³/h for best mulig osoppfang i forhold til energibruk. Kjøkkenhetten presterte dårligere enn benkeventilatoren ved samtlige luftmengder og har dermed trolig et behov for høyere luftmengde for å oppnå tilstrekkelig osoppfang. Høyden på stekepannene viste seg å være en faktor som har stor innvirkning på osoppfangingen for benkeventilatoren, da en høyere stekepanne reduserer osoppfangsevnen, spesielt ved lav luftmengde. Denne effekten var avtagende med økende luftmengde. Resultatene for eksperimentene med resirkulering viste seg å ha stor usikkerhet og det kan stilles spørsmål om brukt beregningsmetoden for osoppfangsevne er egnet for testing av resirkulerende kjøkkenventilatorer. Resultatene fra lydmålinger indikerer at benkeventilatoren har et betydelig lavere lydnivå enn kjøkkenhetten.</p>

NØKKEORD (en per linje):
Downdraft ventilator
Range hood
Capture Efficiency

Forord

Denne masteroppgaven ble skrevet som en avsluttende oppgave i siste semester av den 2-årige mastergradsutdanningen Energi og miljø i bygg, ved OsloMet – Storbyuniversitetet våren 2022.

Oppgaven omhandler en eksperimentell dokumentasjon av ytelse for benkeventilatoren kontra kjøkkenheten og er gjort i samarbeid med SINTEF Community. Jeg vil gjerne rette en takk til veilederne, Kari Thunshelle og Peter G. Schild, for utmerket veiledning og støtte gjennom hele prosessen. Jeg vil takke Aileen Yang for mye hjelp med korrektur og veiledning. Jeg vil også takke Iselin Alvestad for godt selskap og samarbeid. Til slutt vil jeg takke Bjørn Ludvigsen for mye hjelp med alt i tilknytning med det praktiske i laboratoriet.

Prosesen med å skrive denne oppgaven har vært en veldig lærerik og spennende. Har lært mye nytt som jeg kan ta med meg videre inn i arbeidslivet og livet generelt. Å gå inn i dybden på en ting innenfor et tema er noe jeg synes er veldig gøy og lærerikt.

Kristin Elvasson

Oslo, 25. mai 2022

Sammendrag

Økende urbanisering fører til mer kompakte, arealeffektive og tettere bygg. Leilighetene har gjerne åpne løsninger, noe som byr på utfordringer til ventilasjonsløsninger. Matos er en av de største kildene til innendørs luftforurensninger, spesielt partikler opp til $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), som kan føre til helseeffekter. Bruk av kjøkkenventilatorer reduserer matos og dermed reduseres eksponeringen. Det finnes stadig nye løsninger for kjøkkenventilatorer, som kan føre til at man må vurdere å gjøre endringer i forbindelse med krav og anbefalinger til luftmengde. Benkeventilatoren har blitt veldig populær i Norge de siste årene. Formålet med oppgaven er å undersøke hvordan benkeventilatoren måler seg opp mot en tradisjonell kjøkkenhet.

For å testen denne problemstillingen ble det satt opp ulike eksperimenter som ble utført i ventilasjonslaboratoriet på SINTEF Community. Eksperimentene ble satt opp for å se nærmere på kjøkkenventilatorenes ytelse med fokus på osopffangingssevne og eksponering ved ulike luftmengder. Luftmengdene ble valgt for å representere lav, medium, høy og veldig høy luftmengde. Den lave luftmengden ble satt til $108 \text{ m}^3/\text{h}$, da dette er dagens krav til minimumsluftmengde i TEK17. Medium luftmengde ble satt til $250 \text{ m}^3/\text{h}$, da dette er SINTEFs anbefalte luftmengde. Det ble også sett nærmere lydnivå og ulik pannehøydes innvirkning på osopffangingssevne for benkeventilatoren.

Sammenligningen av benkeventilatoren og kjøkkenheten viser at ved uttrekking oppnår benkeventilatoren bedre resultater for osopffangingssevne ved luftmengder over $108 \text{ m}^3/\text{h}$, under gitte forutsetninger. Benkeventilatoren har en stor økning i osopffangingssevne frem til $250 \text{ m}^3/\text{h}$ hvor den er beregnet til 97,7 % og økningen flates ut. Dette er trolig den optimale luftmengden basert på osopffangning i forhold til energibruk. For kjøkkenheten er det trolig behov for større luftmengder, da man for den høyeste luftmengden som ble testet for denne ventilatoren hadde en osopffangingssevne på 91,2 %.

Eksperimentene med høyere stekepanner resulterte i vesentlig reduksjon av osopffangingssevne for benkeventilatoren ved luftmengder under $350 \text{ m}^3/\text{h}$. Hvor man ved laveste luftmengde hadde en reduksjon i osopffangingssevne fra 66,5 til 25,0 % for lav og høy pannehøyde respektivt. Denne effekten var avtagende med økende luftmengde. Ved $250 \text{ m}^3/\text{h}$ viste resultatene å ha en mindre påvirkning på osopffangingen, hvor den ble redusert fra 97,7% til 88,9%. Så man kan konkludere med at en luftmengde på $250 \text{ m}^3/\text{h}$ fortsatt fører til bedre resultater for benkeventilatoren enn for kjøkkenheten, selv når benkeventilatoren har dårligere utgangspunkt.

For eksperimentene med resirkulering var resultatene veldig usikre. Årsaken til dette er at man fikk høyere partikkelantall med kjøkkenventilatorene på enn når de var av. Dette resulterer i negative verdier for osopffangingssevne for enkelte eksperimenter. Man kan trolig likevel konkludere med at benkeventilatoren gir bedre resultater for osopffangingssevne enn kjøkkenheten for alle luftmengder bortsett fra $350 \text{ m}^3/\text{h}$. På bakgrunn av den store usikkerheten, er beregningsmetoden og oppsettet som ble benyttet i oppgaven sannsynligvis ikke egnet for vurdering av resirkulerende kjøkkenventilatorer. Lydmålingene som ble utført viser også at benkeventilatoren gir lavere lydnivå enn kjøkkenheten, både ved uttrekking og resirkulering.

Abstract

Increasing urbanization leads to more compact, area-efficient, and denser buildings. This leads to open kitchen solutions and challenges in finding effective ventilation solutions. Cooking is one of the largest sources of indoor air pollution, especially particles with an aerodynamic diameter up to $2.5 \mu\text{m}$ (PM_{2.5}), which can lead to adverse health effects. The use of kitchen ventilators removes cooking emissions and thus reduces exposure. There are constantly new solutions for kitchen ventilators, which may lead to the need to consider making changes concerning requirements and recommendations for airflow rates. The downdraft ventilator is increasingly popular in Norway in late years. This study aims to investigate the performance of a downdraft ventilator compared with a traditional wall-mounted range hood.

To examine this problem, various experiments were performed in the ventilation laboratory at SINTEF Community, with the aim to look closer into capture efficiency and exposure. Thus, the experiments were set for low, medium, high, and very high airflow rates where the flow rates were chosen based on requirements and recommendations in Norway and other countries. For the low rate $108 \text{ m}^3/\text{h}$ was used since this is today's requirement for minimum airflow in TEK17. The medium flow rate was set to $250 \text{ m}^3/\text{h}$ as this is the recommendation from SINTEF. Furthermore, the effect on capture efficiency by the sound levels and pan height for the downdraft ventilator were studied.

The comparison of the downdraft and the range hood shows that with extraction, the downdraft ventilator achieves better results for capture efficiency for airflow rates above $108 \text{ m}^3/\text{h}$, under given conditions. The downdraft has a steep increase in capture efficiency up to $250 \text{ m}^3/\text{h}$, where it reached a value of 97.7 % with little increase for higher airflow rates. The conclusion is therefore the optimal airflow is likely $250 \text{ m}^3/\text{h}$ for the best possible capture efficiency considering energy consumption. The kitchen hood performed worse than the downdraft ventilator at all airflow rates except the lowest and thus probably requires a higher airflow rate to achieve sufficient capture efficiency.

The height of the frying pans turned out to be a factor that substantially impacts the downdraft ventilator's performance, as higher frying pans reduced the capture efficiency, especially at low flow rates. This effect decreased with increasing airflow rates. The results from the experiments with recirculation turned out to be very uncertain and one can question whether this method is suitable for testing recirculating kitchen ventilators. The results from sound measurements indicate that the downdraft ventilator has a significantly lower sound level than the kitchen hood.

Innhold

Forord	ii
Sammendrag	iii
Abstract	iv
Figurliste	viii
Tabelliste	x
1. Introduksjon	1
1.1. Bakgrunn	1
1.2. Hensikt og forskningsspørsmål	2
2. Teori	3
2.1. Kjøkkenventilasjon i boliger	3
2.1.1. Krav og anbefalinger til boligkjøkkenventilasjon i andre land	4
2.2. Eksponering	5
2.3. Måling av partikler	6
2.4. Standarder for testing av kjøkkenventilatorer	6
2.4.1. Oppgavens testmetode for beregning av osoppfangingssevne	8
2.5. Lydmålinger	8
3. Litteratursøk	10
3.1. Nøkkelfunn	11
4. Metoder	14
4.1. Laboratorieoppsett	14
4.1.1. Laboratorieutforming	14
4.1.2. Ventilasjonsanlegget	15
4.2. Kjøkkenoppsettene	16
4.2.1. Kjøkkenoppsettet for benkeventilatoren	16
4.2.2. Kjøkkenoppsettet for kjøkkenhetten	18
4.2.3. Kjøkkenutstyr	21
4.3. Innledende tester	22
4.3.1. Luftmengder benkeventilatoren	22
4.3.2. Luftmengder kjøkkenhetten	23
4.3.3. Effekt-trinn på benkeventilatoren	23
4.4. Eksperimentoppsettet	24

4.4.1.	Eksperimenter og luftmengder	24
4.4.2.	Matlagingen.....	26
4.4.3.	Måleinstrumenter og plassering.....	27
4.4.4.	Forsøksplan.....	30
4.5.	Beregning av osoppfangingssevne	30
4.6.	Konvertering fra partikkelantall til PM _{2,5}	33
4.7.	Tilleggstester	34
4.7.1.	Forskjellig pannehøyde.....	34
4.7.2.	Lydmålinger.....	34
4.8.	Strømningsforholdene rundt benkeventilatoren	35
4.9.	Analyse av innsamlet data	36
4.9.1.	Beregning av usikkerhet mellom repetisjoner	36
5.	Resultater og diskusjon.....	38
5.1.	Laboratorieforhold.....	38
5.2.	Nulltester	39
5.3.	Osoppfangingssevne	41
5.3.1.	Osoppfangingssevne for benkeventilatoren - uttrekking.....	42
5.3.2.	Osoppfangingssevne for benkeventilatoren – resirkulering.....	43
5.3.3.	Osoppfangingssevne for kjøkkenheten – uttrekking.....	44
5.3.4.	Osoppfangingssevne for kjøkkenheten – resirkulering.....	45
5.3.5.	Sammenligning av osoppfangingssevne for «uttrekking»	47
5.3.6.	Sammenligning av osoppfangingssevne for resirkulerende kjøkkenventilatorer.....	48
5.4.7	Pannehøyde.....	49
5.4.	Eksponering	51
5.4.1.	Eksponering ved nulltester	51
5.4.2.	Eksponering ved uttrekking.....	52
5.4.3.	Eksponering ved resirkulering.....	53
5.4.4.	Sammenligning med anbefalinger for eksponering.....	54
5.5.	Lydmålinger.....	55
5.6.	Styrker og svakheter	56
6.	Konklusjoner.....	58
7.	Anbefalinger til videre arbeid.....	60

Referanser.....	61
VEDLEGG	65
Vedlegg A – Systemskjema ventilasjonsanlegg	65
Vedlegg B – Næringsinnholdet for laksen og wok mixen.....	66
Vedlegg C – Luftmengdene for benkeventilatoren og kjøkkenheten	67
Vedlegg D – Osoppfangingssevne	69
Vedlegg E – Konsentrasjoner av PM _{2,5} for eksperimentene med uttrekking og resirkulering.....	71
Vedlegg F – Laboratorieforhold for samtlige repetisjoner av alle eksperimenter	76
Vedlegg G – Forsøksplan	83

Figurliste

Figur 1: Eksempel på ventilasjonsprinsipp i en leilighet [8]	3
Figur 2: Måleprinsippet for OPC [23]	6
Figur 3: Utformingen av laboratoriet [10, 11]	14
Figur 4: SIV-INN 1 1/2R og 1/4R [48]	15
Figur 5: Ventilen for grunnavtrekket[49]	16
Figur 6: Eksperimentoppsettet for benkeventilatoren.....	16
Figur 7: Benkeventilatoren – uttrekking modus.	18
Figur 8: Benkeventilatoren – resirkulering modus.	18
Figur 9: Eksperimentoppsettet for kjøkkenheten.....	19
Figur 10: Effekten for ulike nivåer for SIEMENS iQ100 induksjonstopp.....	20
Figur 11: Kjøkkenheten – uttrekking modus.	20
Figur 12: Kjøkkenheten - resirkulerende modus.....	21
Figur 13: Pannetemperaturer for koketopp A for eksperimentoppsettene for benkeventilatoren og kjøkkenheten.	24
Figur 14: Matvarene som ble benyttet i eksperimentene.....	26
Figur 15: Bilde av et ferdig måltid fra et tilfeldig eksperiment	26
Figur 16: Lokasjoner på målepunkter for eksperimentene, sett ovenfra.	28
Figur 17: Høyder for målepunkter for eksperimentene, sett forfra.....	29
Figur 18: Oppsett for lydmålinger	35
Figur 19: Samtlige repetisjoner av nulltesten for benkeventilatoren, målt med Aerotrak i grunnavtrekk for størrelsesfraksjon 0,3-2,5 μm (n=5)	39
Figur 20: Samtlige repetisjoner av nulltesten for kjøkkenheten, målt med Aerotrak i grunnavtrekk for størrelsesfraksjon 0,3-2,5 μm . (n=5)	40
Figur 21: Gjennomsnittlig osopptfangningsevne for benkeventilatoren - uttrekking.....	42
Figur 22: Gjennomsnittlig osopptfangningsevne for benkeventilatoren – resirkulering	43
Figur 23: Gjennomsnittlig osopptfangningsevne for kjøkkenheten - uttrekking ved ulike luftmengder.....	45
Figur 24: Gjennomsnittlig osopptfangningsevne for kjøkkenheten – resirkulering	46
Figur 25: Bilder av resultatene fra røykmaskintesten.....	47
Figur 26: Sammenligning av benkeventilatoren og den tradisjonelle kjøkkenheten (uttrekking).....	48
Figur 27: Sammenligning av benkeventilatoren og den tradisjonelle kjøkkenheten (resirkulering).....	49
Figur 28: Høy vs. lav kjelhøyde på benkeventilatoren - uttrekking	50
Figur 29: Beregnet gjennomsnittsverdi $\text{PM}_{2,5}$ massekonsentrasjon for nulltest ved lokasjon 1 og 2, med kjøkkenventilatorene av.....	51
Figur 30: Gjennomsnittlig konsentrasjon av $\text{PM}_{2,5}$ ved uttrekking for benkeventilatoren og kjøkkenheten ..	52
Figur 31: Gjennomsnittlig konsentrasjon av $\text{PM}_{2,5}$ ved resirkulering for benkeventilatoren og kjøkkenheten	53

Figur 32: Eksponering av PM _{2,5} sammenlignet med luftkvalitetskriteriet.....	55
Figur 33: Flytskjema ventilasjonsanlegg.....	65
Figur 34: Osopptfangningsevne for benkventilatoren ved samtlige luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten. Både for uttrekking og resirkulering.....	69
Figur 35: Osopptfangningsevne for kjøkkenheten ved samtlige luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten. Både for uttrekking og resirkulering.....	69
Figur 36: Osopptfangningsevne for eksperimentene med forskjellig pannerhøyde ved ulike luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten.	70
Figur 37: Eksponering ved samtlige luftmengder med standardavvik, median og maks.- verdier for hhv. lokasjon 1 og lokasjon 2. Både for uttrekking og resirkulering.	71
Figur 38: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for uttrekking ved en luftmengde på 108 m ³ /h	71
Figur 39: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for uttrekking ved en luftmengde på 250 m ³ /h.....	72
Figur 40: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for uttrekking ved en luftmengde på 350 m ³ /h.....	72
Figur 41: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for uttrekking ved en luftmengde på 500 m ³ /h	73
Figur 42: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for resirkulering ved en luftmengde på 108 m ³ /h	73
Figur 43: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for resirkulering ved en luftmengde på 250 m ³ /h	74
Figur 44: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for resirkulering ved en luftmengde på 350 m ³ /h	74
Figur 45: Konsentrasjonen av PM _{2,5} for resirkulering ved en luftmengde på 500 m ³ /h.....	75

Tabelliste

Tabell 1: §13-2 Avtrekksvolum i bolig iht. TEK17[7].....	4
Tabell 2: Oversikt over noen av de mest relevante standardene for testing av kjøkkenventilatorer	6
Tabell 3: Oversikt over relevant litteratur fra litteratursøket	10
Tabell 4: Koketoppen for benkeventilatoren	17
Tabell 5: Kjøkkenutstyret som benyttet under forsøkene.....	21
Tabell 6: Målte luftmengder ved de ulike trinnene for benkeventilatoren, for både uttrekking og resirkulering	22
Tabell 7: Målte luftmengder ved de ulike trinnene for kjøkkenheten, for både uttrekking og resirkulering .	23
Tabell 8: Avtrekksluftmengdene under de ulike eksperimentene	25
Tabell 9: Testprosedyren for matlagingen. * representerer trinn for benkeventilatoren.	27
Tabell 10: Oversikt over samtlige måleinstrumenter som ble benyttet under eksperimentene	29
Tabell 11: Eksempel på timeplanen for en forsøksdag.....	30
Tabell 12: Gjennomsnittlige verdier for laboratorieforhold for samtlige eksperimenter	38
Tabell 13: Gjennomsnittlig partikkelmengde (#partikler/L) for samtlige repetisjoner	40
Tabell 14: A-veid lydtryknivå på kjøkkenheten for både resirkulering og til det fri.....	55
Tabell 15: A-veid lydtryknivå på benkeventilatoren for både resirkulering og til det fri.....	56
Tabell 16: Laksens næringsinnhold (pr. 100 g).....	66
Tabell 17: Næringsinnhold for «Fullkornsrís & grønnsaksblanding» (pr. 100 g).....	66
Tabell 18: Luftmengder for benkeventilatoren - uttrekking	67
Tabell 19: Luftmengder for benkeventilatoren - resirkulering	67
Tabell 20: Luftmengder for kjøkkenheten - uttrekking	68
Tabell 21: Luftmengder for kjøkkenheten - resirkulering.....	68
Tabell 22: Gjennomsnitt, maks.- og min.verdi av gjennomsnittsverdier for alle repetisjoner av samtlige eksperimenter.	76
Tabell 23: Tilluftsluftmengder og -temperaturer	77
Tabell 24: Gjennomsnittlig lab. temperatur, CO2 og relativ fuktighet for alle repetisjoner	79

1. Introduksjon

1.1. Bakgrunn

Mennesker tilbringer omtrent 90% av livet innendørs og mye av denne tiden i sitt eget hjem [1]. Den økende urbaniseringen fører til mer kompakte, arealeffektive og tettere bygg. Leilighetene har derfor gjerne åpne løsninger, hvilket fører til problemer med å finne effektive ventilasjonsløsninger. Matos er en stor kilde til innendørs luftforurensninger, spesielt partikler opp til $2,5 \mu\text{m}$ ($\text{PM}_{2,5}$), og kan inneholde forbindelser som kan føre til helsemessige konsekvenser [2-5]. Bl.a. er dårlig ventilasjon i forbindelse med matlaging assosiert med økt risiko for lungekreft [2]. Steking av mat har vist seg å øke innendørs $\text{PM}_{2,5}$ -konsentrasjoner med opptil 30 ganger utendørskonsentrasjon [6]. Bruk av kjøkkenventilatorer fjerner matos og reduserer dermed eksponering. Hvor mye det reduseres avhenger av bl.a. kjøkkenventilatorens luftmengde og utforming. Per i dag er det iht. Byggteknisk forskrift krav om $108 \text{ m}^3/\text{h}$ forsert ventilasjon på kjøkken i boliger, mens SINTEF anbefaler $250 \text{ m}^3/\text{h}$ [7, 8]. Det finnes stadig nye løsninger mtp. kjøkkenventilatorer, som kan føre til at man må gjøre endringer i forbindelse med krav til luftmengder.

Denne oppgaven er gjort i forbindelse med forskningsprosjektet «Healthy Energy-Efficient Urban Home Ventilation» i regi av SINTEF, som har som mål å undersøke disse utfordringene og komme med anbefalinger til energi- og effekt-reduserende løsninger som i tillegg sikrer godt inneklima i urbane boliger [9]. Oppgaven er en videreføring av fjorårets masteroppgaver i forbindelse med forskningsprosjektet [10, 11], hvor de blant annet vurderte eksponering ved å lage forskjellige typer måltid i kjøkkenlaboratoriet og vurdering av testmetoder for mer realistiske vurderinger av kjøkkenventilatorers ytelse. Kun tradisjonell kjøkkenhette med uttrekking ble vurdert.

Det finnes ulike typer kjøkkenventilatorer på markedet, både resirkulerende og med uttrekking. Benkventilatoren er blitt veldig populært i Norge de siste årene. Resirkulerende løsninger for kjøkkenventilatorer er også blitt mer aktuelle på bakgrunn av plassmangel og varmetap tilknyttet ventilasjon. Fokuset for masteroppgaven i år var derfor å undersøke hvordan disse benkventilatorene måler seg opp mot vanlige kjøkkenhetter, med uttrekking og resirkulering modus, slik at man kan komme med anbefalinger som sikrer forsvarlig bruk. Denne masteroppgaven ble gjort i samarbeid med Iselin Alvestad, som fokuserer på eksponering ved resirkulerende løsninger.

1.2. Hensikt og forskningsspørsmål

Det finnes ulike typer kjøkkenventilatorer på markedet, men ikke alle er like godt dokumenterte. Basert på helseeffektene tilknyttet dårlige ventilasjonsløsninger i forbindelse med matlaging er det dermed viktig å ha god dokumentasjon, slik at man kan sikre forsvarlig bruk. Hensikten med oppgaven er å undersøke benkeventilatorens ytelse sammenlignet med den tradisjonelle kjøkkenheten, for å vurdere i hvilken grad en slik løsning kan anbefales og eventuelt ved hvilke kriterier.

Det ble i den forbindelse definert en problemstilling som definerer den overordnede hensikten med oppgaven:

- Hvordan påvirkes osoppfangsevnen ved bruk av benkeventilator kontra tradisjonell veggmontert kjøkkenhette.
- Hvilke anbefalinger bør gis med hensyn til anbefalt luftmengde i forhold til osoppfangsevne.

I tillegg ble det også undersøkt:

- Hvordan påvirker ulike pannedøyde benkeventilatorens osoppfangsevne?
- Hvordan vil valg av kjøkkenventilator påvirke A-veid støynivå?

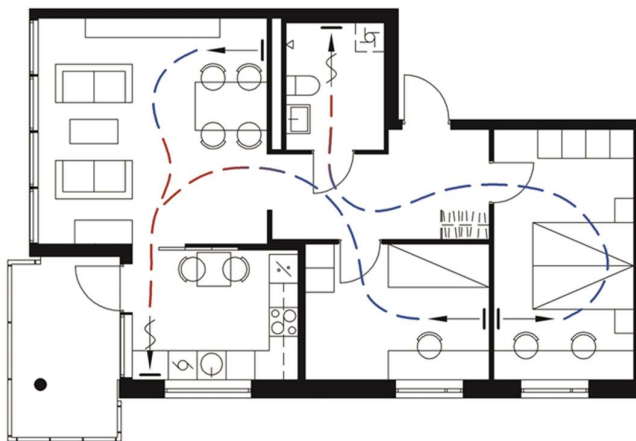
2. Teori

2.1. Kjøkkenventilasjon i boliger

Boliger ventileres med formål om å sikre tilfredsstillende luftkvalitet og for å begrense luftfuktigheten i boligen [12, 13]. Man tilfører friskluft for å erstatte brukluft. Iht. Byggteknisk forskrift (TEK17) skal luftmengdebehovet beregnes på tre måter når boenheten er bebodd: minimum gjennomsnittlig friskluftstilførsel, minimum frisklufttilførsel per sengeplass, og minimum avtrekksluftmengde fra kjøkken, toalett, vaskerom og badrom ved normalt og forsert avtrekksluftmengde [7]. Den største luftmengden av disse tre blir dimensjonerende.

Det finnes tre hovedprinsipper for ventilasjon: Balansert mekanisk ventilasjon, naturlig ventilasjon og mekanisk avtrekksventilasjon. SINTEF anbefaler balansert mekanisk ventilasjon. Med «balansert» menes det at tilluftsmengden er lik avtrekksluftmengden. På bakgrunn av energikravene i TEK17 er man mange tilfeller nødt til å velge denne løsningen. [8]

Det er viktig å ha kontroll på hvor luften i boenheten føres. Luften skal føres fra rom med høyere krav til luftkvalitet til rom med lavere krav til luftkvalitet. Soverom er eksempel på rom med høyere krav til luftkvalitet, mens toalett eller kjøkken er rom med lavere krav. Det er dermed naturlig å plassere tilluftsventiler på soverom og avtrekksventiler på kjøkken/toalett. Nedenfor er en figur som viser et eksempel på hvordan ventilasjonsluften bør føres i en tenkt leilighet. [8]



Figur 1: Eksempel på ventilasjonsprinsipp i en leilighet [8]

Byggteknisk forskrift (TEK17) §13-1 «Ventilasjon i boligbygning» [7] sier at:

«Kjøkken, [...] skal ha avtrekk med tilfredsstillende effektivitet.» Veiledningen og preaksepterte ytelser for dette kravet er som følger [12]:

Hensikten med avtrekk er å fjerne forurensning og fukt fra innelufta.

Forsert avtrekk fra kjøkken kan løses med avtrekk som utformes og plasseres slik at forurensning fra komfyr og lignende fanges opp på en effektiv måte, og forhindrer matlukt fra å spre seg i bygningen. Ugunstig utforming eller plassering av komfyr eller avtrekk vil medføre behov for økt avtrekksvolum.

Preaksepterte ytelser:

1. *Kravet til avtrekk er ivaretatt når avtrekksvolumet er minimum som angitt i Tabell 1.*
2. *Også ved forsert ventilasjon må den tilførte luftmengden være lik avtrekksvolumet gitt i tabell 1.»*

Tabell 1: §13-2 Avtrekksvolum i bolig iht. TEK17[7]

Rom	Grunnventilasjon	Forsert ventilasjon
Kjøkken	36 m ³ /h	108 m ³ /h
Bad	54 m ³ /h	108 m ³ /h
Toalett	36 m ³ /h	36 m ³ /h
Vaskerom	36 m ³ /h	72 m ³ /h

Byggedetalj 552.301 i byggforskserien omhandler ventilasjon av boliger. Her blir det bl.a. beskrevet anbefalinger til prinsipp-løsninger av kjøkkenventilasjon. SINTEF poengterer at erfaringsmessig er 108 m³/h (TEK17-krav) ikke tilfredsstillende mtp. tilstrekkelig osoppfang, også der hvor hetten er gunstig utformet (stort oppsamlingsvolum), og en høyere luftmengde da er nødvendig. Det er her ikke nevnt hva de definerer tilstrekkelig luftmengde, men 250 m³/h blir nevnt eksempelvis.[8]

2.1.1. Krav og anbefalinger til boligkjøkkenventilasjon i andre land

I Danmark er det krav om minimum 0,3 l/s per m² oppvarmet gulvareal og 20 l/s for kjøkken, det er også krav om at kjøkkenheten skal ha en minimumsluftmengde på 432 m³/h. Denne verdien kan reduseres med en korreksjonsfaktor avhengig av utformingen på kjøkkenventilatoren eller man kan dokumentere at kjøkkenventilatoren har minst 75% luktreduksjonsfaktor iht. DS/EN 61591 eller DS/EN 13141-3 [14]. I Sverige er krav om 0,35 l/s per m² oppvarmet gulvareal uten noe krav til forsering [15]. I New Zealand anbefales 43 m³/h som grunnventilasjon på kjøkkenet, som kan forseres til 180 m³/h [16]. Home Ventilating Institute anbefaler en luftmengde på 170 m³/h for veggmonterte kjøkkenhetter og 255 m³/h for kjøkkenhetter over en kjøkkenøy [17]. ASHRAE Standard 62.2-2013 anbefaler 170 m³/h for vanlige kjøkkenhetter og 510 m³/h [18]. I Nederland er det krav om 76 m³/h grunnventilasjon i boligkjøkken [19].

2.2. Eksponering

Matlaging er en stor kilde til innendørs luftforurensninger og kan inneholde forbindelser som kan føre til helsemessige konsekvenser [2-5, 20]. Svevestøv (Particulate Matter, PM) er små luftbårne partikler som stammer fra forbrenningsprosesser, eller mekanisk slitasje. [21]

Partiklene varierer mye i størrelse og utforming, og man deler svevestøvet i størrelsesgruppene [21]:

- $PM_{0,1}$ (ultrafine partikler)
- $PM_{2,5}$ som er partikler opp til $2,5 \mu m$ (finpartikler)
- $PM_{10-2,5}$ (grovpartikler)
- PM_{10} (grov- og finpartikler)

De største bidragene til svevestøv i Norge er vedfyring og veitrafikk, dette er de viktigste kildene til eksponeringen av $PM_{2,5}$ og PM_{10} . I Norge måler man disse verdiene og flere norske tettsteder og byer har problemer med partikkelnivåene.[21]

Det er mange helseeffekter forbundet med både kortvarig og langvarig eksponering av svevestøv, og er en av de største miljøårsakene til tidlig død. Kortvarig eksponering er ofte i sammenheng med eksponering av dieseleksospartikler, røyk fra vedfyring, metallrike partikler fra industriutslipp og blyluftpartikler. Korttidseksponering av disse har vist å føre til flere ulike typer helseeffekter slik som effekter på luftveier og hjerte- og karsystemet. Langtidseksponering av partikler i størrelsene $PM_{2,5}$ og PM_{10} har også vist å øke risiko for dødelighet og sykkelighet ved årsgjennomsnitt på ned mot 5 til $10 \mu g/m^3$ for $PM_{2,5}$ og $18-68 \mu g/m^3$ for PM_{10} . [21, 22]

Personer i utsatte grupper er spesielt følsomme for svevestøv. Dette er personer med luftveissykdommer som hjerte- og karsykdommer, astma og kronisk obstruktiv lungesykdom (KOLS).[21]

Når mat tilberedes ved høye temperaturer opp til $300 \text{ }^\circ C$ blir proteiner, karbohydrater og fett fra maten redusert til giftige produkter, bl.a. alkansyrer og aldehyder som kan virke irriterende på slimhinnen i luftveiene. Røyk fra matlagingen inneholder også mutagene og kreftfremkallende kjemiske forbindelser, slik som polysykliske aromatiske forbindelser (PAH) og heterosykliske forbindelser, eksponering (særlig langtidseksponering) av slike forbindelser gir dermed en økt risiko for luftveiskreft. [5]

Dagens krav til luftkvalitet sier at følgende verdier ikke skal overskride [21]:

PM_{10} :

- $30 \mu g/m^3$ i døgnmiddel
- $20 \mu g/m^3$ i årsmiddel

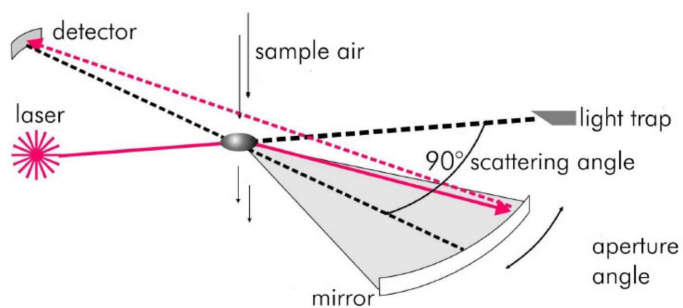
PM_{2,5}:

- 15 µg/m³ i døgnmiddel
- 8 µg/m³ i årsmiddel

2.3. Måling av partikler

Partikler kan telles vha. partikkeltellere. Slike måleinstrumenter baserer seg på ulike måleprinsipper, bl.a. OPC (optical particle counter) og CNC (condensation nuclei counter). Måleinstrumentene som benyttes i denne oppgaven baserer seg på OPC.

For måleinstrumenter som benytter OPC blir luft dratt inn og ledes inn til en målecelle. Inne i målecellen blir partiklene oppdaget og telt vha. en lysspredning. Den spredende lyspulsene til hver enkelt partikkel telles og klassifiseres ut ifra intensiteten til lysstrålen [23]. Et eksempel på lyskilde er en laserdiode, som benyttes for partikkeltellerne i denne oppgaven. Figuren nedenfor gir en illustrasjon på hvordan måleprinsippet fungerer.



Figur 2: Måleprinsippet for OPC [23]

2.4. Standarder for testing av kjøkkenventilatorer

Det finnes en rekke standarder for testing av kjøkkenventilatorer. Nedenfor er de viktigste standardene presentert.

Tabell 2: Oversikt over noen av de mest relevante standardene for testing av kjøkkenventilatorer

Standard	NEK IEC 61591:2019	EN 13141-3:2017	ASTM E3087-18
Test-tid	30 min	10 min	Beregnes vha. formel
Test-rom volum	22 ± 2 m ³	22 ± 2 m ³	≥ 21,9 m ³
Trykk	Absoluttrykk mellom 913 hPa og 1063 hPa	Ikke spesifisert.	n ₅₀ ≤ 2,5
Temperatur	Temperaturen på stekepannen: 170 ± 10 °C. Romtemperatur: 23 ± 2 °C	Temperaturen på stekepannen: 170 ± 5 °C	Temperaturen på stekepannen: 160 ± 10 °C

		Romtemp: Ikke spesifisert	
Forstyrrelser	Nei	Ja	Nei
Type hette	Kjøkkenøyhette, veggmonterte kjøkkenhetter og benventilatorer	Alle kjøkkenventilatorer.	Veggmonterte kjøkkenhetter. Ikke resirkulerende hetter.
Kjøkkenhettens plassering	600 ± 10 mm over kokketoppen	600 mm over kokketoppen	
Utstyr	Stekepannen: ytre diameter 200±20 mm, høyde 125 ± 20 mm og tykkelse 7 ± 1 mm.	Stekepannen: Ytre diameter 200 ± 20 mm og høyde 45 ± 2 mm.	Stekepannen: Elektrisk varmeelement med diameter 200 ± 20 mm.
Sporgass-type	Løsning som inneholder (12 ± 0,1) g metyletylketon (MEK) og (300 ± 1) g demineralisert vann.	MEK	Ikke spesifisert. CO ₂ er nevnt eksempelvis.
Mengde sporgass	312 ± 1,5 g	100 g av en løsning som inneholder 12 ± 0,1 g MEK i 300 ± 1 g destillert vann.	Sporgassens injeksjonsrate skal være mindre enn 0,5 % av luftstrømmen gjennom kjøkkenhetten.

NEK IEC 61591:2019

Den europeiske standarden for testing er NEK IEC 61591:2019 [24]. Dette er en standard som først ble publisert i 1997 og brukes kun for testing av kjøkkenventilatorer med innebygd vifte eller en dedikert ekstern vifte. Den har en test-periode på 30 minutter i en test-rom på 22 ± 2 m³. Teststandarden egner seg for både kjøkkenhetter med uttrekking og resirkulerende kjøkkenhetter. Testen utføres uten noen form for forstyrrelser under testperioden. Kjøkkenhettens monteringshøyde skal være 600 mm ± 10 mm over kokketoppen iht. denne standarden. Figuren nedenfor illustrer hvordan testkjøkkenet skal utformes, inkludert ulike dimensjoner. Iht. Standarden kan også benkeventilator testes, men da skal kjøkkenhyllene fjernes. For å beregne osopffangingssevnen blir det benyttet sporgass. Den består av en løsning som inneholder (12 ± 0,1) g metyletylketon (MEK) og (300 ± 1) g demineralisert vann. MEK er en kjemisk forbindelse bestående av karbon, hydrogen og nitrogen [25] I standarden brukes en formel for å beregne en luktreduksjonsfaktor [24]:

$$O_f = \frac{C_1 - C_2}{C_1} \quad (1)$$

Hvor,

C_1 er konsentrasjonen av MEK ved slutten av testperioden uten kjøkkenventilatoren på.

C_2 er konsentrasjonen av MEK ved slutten av testperioden med kjøkkenventilatoren på.

ASTM E3087.18

American Society for Testing and Materials (ASTM) har også utviklet en standard for testing av kjøkkenhetter. Denne standarden omfatter testing for veggmonterte kjøkkenhetten, men ikke for kjøkkenhetter med resirkulering. Testen utføres i et testrom på ≥ 21,9 m² med en testperiode beregnet vha. formel. Testingen

foregår, i likhet med NEK IEC 61591:2019, uten noen form for forstyrrelser. Det benyttes sporgass for å beregne osoppfangingsvevnen. Hvilken type gass er ikke spesifisert, men CO₂ er nevnt eksempelvis hvor emisjonsraten skal være under 0,5% av luftmengden som testes. Formelen for beregning av osoppfangingsvevne som benyttes i standarden er [26]:

$$CE = \frac{C_{exhaust} - C_{chamber}}{C_{exhaust} - C_{ambient}} \quad (2)$$

hvor,

$C_{ambient}$ er konsentrasjonen ved lufttilførslet

C_{chamb} er konsentrasjonen i testrommet

$C_{exhaust}$ er konsentrasjonen i avtrekket til kjøkkenheten

EN 13141:2017

Denne standarden er veldig lik sammenlignet med NEK IEC 61591:2019, bortsett fra at EN 13141:2017 har en test-periode på 10 minutter i forhold til 30 minutter og krav om en forstyrrelse [27]. Denne forstyrrelsen skal simulere et menneske som går foran koketoppen under eksperimentene. Dette er et forsøk på å få et mer realistisk bilde av luftbevegelser i kjøkkenet. Det benyttes sporgass av typen MEK. Standarden beskriver 100 g av en løsning som inneholder $12 \pm 0,1$ g MEK i 300 ± 1 g destillert vann, i likhet med NEK IEC 61591:2019. Osoppfangingsvevnen blir beregnet med samme formel som benyttes i NEK IEC 61591:2019. [27]

2.4.1. Oppgavens testmetode for beregning av osoppfangingsvevne

Denne oppgaven tar for seg en ny metode for beregning av osoppfangingsvevne, som er utviklet av Peter G. Schild. Denne tilnærmingen baserer seg på integrering av konsentrasjon over tid og er inspirert av sporgasstester av luftalder for ventilasjonseffektivitet beskrevet i NORDTEST NT VVS 047:1985 [28]. Denne metoden brukes for å kunne beregne osoppfangingsvevne for kjøkkenventilatorer ved ekte matlaging og ved mer realistiske forhold enn eksisterende standarder for testing av kjøkkenventilatorer.

2.5. Lydmålinger

Lydtransport i luft er trykkvariasjoner, eller bølger i luften [29]. Mennesker oppfatter lyd i frekvensområdet 20-20000 Hz [30]. Man skiller mellom flere målestørrelser: Lydeffekt (L_W), lydintensitet (L_I) og lydtrykk (L_P).

Lydeffekt er den energien per tidsenhet (W) som avgis fra en lydkilde. Lysintensitet er energien (W) som passerer en flateenhet vinkelrett på lydbølgens retning, med andre ord effekt per flateenhet [30]. Lydtrykk er den kraften lyden utøver på en overflate vinkelrett på utbredelsesretningen. Det er den lyden som oppfattes av mottakeren og uttrykkes i desibel (dB). Dette oppgis ofte som A-veid lydtrykknivå (dB(A))[31].

Lyd måles som lydtrykk. Måler man lydtrykknivået kommer alle frekvenser med Man har ulike typer filtre man kan bruke som vektlegger ulike frekvensbånd forskjellig. Mennesker hører bedre i høyere frekvenser enn i lave. A-filter brukes i stor grad for bedømmelse av sjenerende og skadelig støy for mennesker[30, 31]. Dette er et filter som vektet i hvert frekvensbånd slik at den oppfattede lyden er mest mulig tilpasset menneskets hørsel.

Lydmålinger innendørs fra tekniske installasjoner utføres iht. NS-EN ISO 16032.

3. Litteratursøk

Et litteratursøk i Scopus ble utført for å finne relevante studier om kjøkkenventilatorer, med utgangspunkt i disse forskningsspørsmålene:

- Hva eksisterer av relevant forskning innenfor osoppfangingssevne vedrørende kjøkkenhetter?
- Er benkeventilatoren representert i litteraturen? I så fall; hvilken osoppfangning har denne i forhold til en tradisjonell kjøkkenhette?
- Er osoppfangingssevne beregnet med matlaging, eller er det kun sporgass og olje?

Kun engelsk språklige studier ble vurdert. Basert på innholdet, ble artiklene delt inn i to kategorier, en som omhandlet osoppfang (“Capture efficiency”) og en om benkventilator (“Downdraft ventilator”). Til sammen 15 studier ble vurdert til å være relevante og systematisert i en matrise, se Tabell 3.

Tabell 3: Oversikt over relevant litteratur fra litteratursøket.

Referanse	Forfatter	Hensikt	Metodikk	Standard (hvis CE er beregnet)	Funn	Type kjøkkenventilator	Sporgass/olje?
[32]	Lv et al. (2021)	Undersøke menneskers gangmønstres effekt på spredning av forurensninger i boligkjøkken.	CFD-simulering	N/A	Gangmønstre hadde stor påvirkning på osoppfangingsvnen da det påvirket luftstrømmen rundt kjøkkenhetten. Plumen blir "dratt" ut av hetten. Størst påvirkning var når mennesker går forbi parallelt med kjøkkenbenken. Osoppfangingssevne ble redusert med imtil 50% ved verste tilfelle. Selv en stillestående person vil kunne ha en påvirkning på den termiske plumen.	Kun overhengte kjøkkenhetter. Inkluderer ikke benkeventilatorer.	Sporgass
[33]	Meleika et al. (2021)	Undersøke hvordan endring avtrekksorientering påvirker osoppfangingssevne	Eksperimenter	ASTM-E3087.18	Orienteringen av avtrekkspunktet hadde ingen signifikant effekt på osoppfangingssevne	Kun veggmonterte kjøkkenhetter	Sporgass (CO2)
[34]	Meleika et al. (2020).	Undersøke monteringshøydens innvirkning på kjøkkenhettens osoppfangingssevne	Eksperimenter	ASTM-3087.18	Osoppfangingsvnen hos de utvalgte kjøkkenhettene varierte fra 42,8%-96,2% og osoppfangingsvnen endret seg 8,2% ved endring i monteringshøyde. En av kjøkkenhettene med resirkulering viste seg å ha høyere usikkerhet og mer varierende resultater, som indikerer at luften som kommer ut av resirkuleringsventilene har påvirkning på osoppfangingsvnen.	Kun veggmonterte kjøkkenhetter. Kunne ha sett på bl.a. kjøkkenøy for eksempel.	Sporgass (CO2)
[35]	Meleika & Pate (2020)	Undersøke hvilken effekt ulike pannetemperaturer påvirker osoppfangingsvnen til kjøkkenhetter	Eksperimenter	ASTM-3087.18	Osoppfangingsvnen hos de utvalgte kjøkkenhettene varierte fra 60,3-92,9% og variasjoner opptil 9,2% ved ulike temperaturer (usikkerheten varierte mindre enn 1%). Det ble også funnet at osoppfangingsvnen ble mest påvirket av temperaturen hos kjøkkenhetter med mindre dekning av koketoppen.	Kun veggmonterte kjøkkenhetter. Burde bl.a. undersøke nærmere effekten ved kjøkkenøy.	Sporgass (CO2)
[36]	Park et al. (2019)	Å finne en effektiv løsning for å forhindre spredning av PM2,5 innendørs.	Eksperimenter	N/A	Løsningen med varmegjenvinning og ekstra tiluft reduserte spredning med opptil 60%	Forstyrrelser (fra f.eks. mennesker) ble ikke tatt med som en faktor	N/A
[37]	Zhou et al (2019).	Undersøke osoppfangingssevne og lokal termisk komfort i boligkjøkken med balansert ventilasjon.	Eksperimenter	N/A	Balansert ventilasjon effektivt forbedrer osoppfangingsvnen for kjøkkenhetter, lav-hastighets "make-up air" er viktig for å sikre god ytelse (fortrengningsventilasjon).	Lignende undersøkelse bør utføres også med resirkulerende kjøkkenhetter for å se på hvordan dette kan påvirke resultatene.	Sporgass (CO2)
[38]	Chen (2015)	Undersøke påvirkningen av trekkluft fra sidene og front på en kjøkkenhette med luft-gardin.	Eksperimenter	N/A	Kjøkkenhetten med luft-gardin hadde god evne til å motstå trekk mot front ved hastigheter opptil 0,5 m/s. Det ble funnet stor påvirkning på osoppfangingsvnen med luft fra skrå og fra siden ved hastigheter over 0,3 m/s.	Denne artikkelen ser kun på en skråstilt kjøkkenhette med luft-gardin. Det burde vært teste flere hetter og uten luft-gardin.	Sporgass (svovelheksafluorid SF6)
[39]	Lunden et al. (2015)	Osoppfangingssevne for matlaging-generert partikler for testprosedyrer for matlaging.	Eksperimenter	N/A	Steking av burger på medium varme på stekeplatene bakerst på koketoppen ga like verdier for osoppfangingssevne (hovedsakelig over 80%) sammenlignet med når man benytter stekepanner som produserer CO2 for å beregne osoppfangingssevne. Steking på de bakre stekepannene ga bedre	Mangler metode for kjøkken-øy og benkeventilatorer.	

					osopppfangingssevne. Osopppfangingssevne målt for stekeplater som produserer CO2 er ikke predikativt for osopppfangingssevne målt ved matlaging under alle forhold, men kan brukes for å identifisere enheter med osopppfangingssevne på over 80% for begge		
[40]	Claeys et al. (2015)	Å undersøke bruk av kjøkkenhette med luft-gardin for bruk i boliger.	Eksperimenter	N/A	Kjøkkenhetten med luft-gardin hadde god osopppfangingssevne ved lavere luftmengder, men var sensitiv for høyere monteringshøyde.	Burde se på flere typer hetter, inkludert resirkulerende hetter.	Sporgass (CO2)
[41]	Singer et al. (2011)	Undersøke osopppfangingssevnen hos ulike typer kjøkkenhetter for boliger.	Eksperimenter	N/A	Osopppfangingssevne for kjøkkenhetter i boliger varierer betydelig med forskjell i luftmengde og utforming, mens monteringshøyde har derimot mindre betydning.	Inkluderer ikke benkeventilator eller resirkulerende kjøkkenhetter.	Sporgass (CO2)
[42]	Sadrizade et al (2018)	Å presentere en numerisk metode for å evaluere osopppfangingssevne for veggmonterte kjøkkenhetter.	Simuleringer	ASTM-3087.18 (for å sammenligne simulerte resultater)	Den simulerte osopppfangingssevnen varierte mellom 8 og 95%. Den presenterte modellen var veldig sensitiv til diverse variabler som f.eks. størrelsen på testrommet, som viste seg å ha stor betydning for simulert osopppfangingssevne.	Ser kun på veggmonterte kjøkkenhetter. Modellen ser ikke på resirkulerende løsninger.	Sporgass (CO2)
[20]	Clark et al. (2018)	Undersøke osopppfangingssevnen til en benkeventilator.	Eksperimenter	N/A	Osopppfangingen var i stor grad avhengig av plasseringen av forurensningskilden på koketoppen. Ved plassering bak på koketoppen ble osopppfangingssevnen beregnet til over 90% ved 255 m3/h. Plassering i front av koketoppen resulterte i osopppfang på under 30%, selv ved en luftmengde på 850 m3/h.	Denne artikkelen ser på en benkeventilator med avtrekkspunktet plassert "bak" på koketoppen. Dette kan dermed antageligvis ikke direkte sammenlignes med en benkeventilator med avtrekkspunktet i selve koketoppen (i senter av koketoppen). Denne artikkelen ser heller ikke på resirkulerende løsning.	N/A
[43]	Singer et al. (2012)	Undersøke osopppfangingssevnen til flere ulike kjøkkenventilatorer (inkludert to benkeventilatorer).	Eksperimenter	Ikke fra en standard.	Målte luftmengder tilsvarte kun 70% eller mindre av hva produsentens angitte verdier. Kjøkkenhettene som var flate (altså uten karmen rundt for å fange matos) hadde vesentlig lavere osopppfangingssevne ved samme luftmengde sammenlignet med kjøkkenhetter med karmen. Omtrent samtlige kjøkkenhetter hadde høyere osopppfangingssevne ved bruk av de bakerste kokeplatene på koketoppen. Luftmengden hadde stor påvirkning på osopppfangingssevnen.	Ingen kjøkkenhetter med resirkulering ble undersøkt.	N/A
[44]	Farnsworth et al. (1989)	Å utvikle en testmetode for å evaluere osopppfangingssevne for kjøkkenhetter i boliger.	Eksperimenter	N/A	Benkeventilatoren var nesten 100% effektiv mtp. oppfangning av røkgassprodukter, men relativt ueffektiv for oppfangning av vanddamp fra matlagingen.	Det er ikke presisert hvilken orientering avtrekkspunktet for benkeventilatoren i eksperimentet har.	N/A
[45]	Han et al. (2019)	Undersøke de nåværende metodene for å bestemme avtrekksluftmengder for kjøkkenventilatorer	Gjennomgang av litteratur	N/A	Kjøkkenventilatorers osopppfangingssevne avhenger betydelig av forstyrrende luftstrømmer, hettens utforming, avstanden fra koketoppen til ventilatoren, overheng og bakspalte, tilstedeværelse og størrelsen på sidepaneler, kokeapparater, mat- og tilberedningsprosesser, så vel som avtrekksluftmengden.	Lite om benkeventilatorer	N/A

Nøkkelfunnene fra litteratursøket presenteres i neste delkapittel og er organisert i henhold til forskningsspørsmålene.

3.1. Nøkkelfunn

Eksisterende forskning innenfor osopppfangingssevne for kjøkkenhetter i boliger.

Etter en grundig gjennomgang av litteraturen som ble identifisert kan man danne et bilde av hva som allerede eksisterer av forskning på osopppfangingssevnen til kjøkkenhetter. Gjennom litteraturen kan man se at noe som er felles for mange av artiklene er at de ofte ser på faktorer som kan ha en påvirkning på osopppfangingssevne. Clark et al. [20] undersøkte benkeventilatorers ytelse på fjerning av forurensninger og konkluderte med at hvilken av kokeplatene som var i bruk hadde stor påvirkning på osopppfangingssevne. Lunden et al. [39]

observerte lignende funn for veggmonterte kjøkkenhetter. Luftbevegelser i rommet er også en faktor som ifølge Lv et al. [32], viste å ha inntil 50% redusert osopffangingssevne når mennesker gikk forbi kjøkkenhetten parallelt med kjøkkenbenken. Dette studiet undersøkte menneskers gangmønstres effekt på spredningen av forurensninger og antydte at forstyrrelser i rommet kan ha stor innvirkning på kjøkkenhettens evne til å fjerne forurensninger. Andre faktorer som f.eks. orienteringen av avtrekkspunktet i kjøkkenhetten viste seg i henhold til Meleika et al. [33] å ha ingen signifikant effekt på osopffangingssevnen for veggmonterte kjøkkenhetter og balansert tilluft- og avtrekksluftmengde var ifølge Zhou et al. [37] med lav impuls viktig for å sikre god ytelse, som tyder på at fortrenningsventilasjon trolig vil være å foretrekke i området rundt kjøkkenet. Innen storkjøkkenventilasjon er kjøkkenhetter med luft-gardin brukt for å bedre osopffangingen [46]. Dette er noe som litteraturen også har sett på, selv om det kanskje ikke er like vanlig i dagens kjøkken. Luft-gardin har ihht. Claeys et al. [40] vist å ha god osopffangingssevne ved lavere luftmengder, men er sensitiv for høyere monteringshøyde. Chen et al.[38] testet en skråstilt kjøkkenhette med luft-gardin og fant at de er mer motstandsdyktige i forhold til eksterne luftforstyrrelser.

Etter en grundig gjennomgang av litteraturen som ble identifisert kan man danne et bilde av hva som allerede eksisterer av forskning på osopffangingssevnen til kjøkkenhetter. Gjennom litteraturen kan man se at noe som er felles for mange av artiklene er at de ofte ser på faktorer som kan ha en påvirkning på osopffangingssevne. Clark et al. [20] undersøkte benkeventilatorers ytelse på fjerning av forurensninger og fant at hvilken av kokeplatene som var i bruk hadde stor påvirkning på osopffangingssevne. Lunden et al. [39] observerte lignende funn for veggmonterte kjøkkenhetter. Luftbevegelser i rommet er også en faktor som ifølge Lv et al. [32], viste å ha inntil 50% redusert osopffangingssevne når mennesker gikk forbi kjøkkenhetten parallelt med kjøkkenbenken som undersøkte menneskers gangmønstres effekt på spredningen av forurensninger, . Dette er noe som antyder at forstyrrelser i rommet kan ha stor innvirkning på kjøkkenhettens evne til å fjerne forurensninger. Andre faktorer som f.eks. orienteringen av avtrekkspunktet i kjøkkenhetten viste seg i henhold til Meleika et al. [33] å ha ingen signifikant effekt på osopffangingssevnen for veggmonterte kjøkkenhetter og balansert tilluft- og avtrekksluftmengde var ifølge Zhou et al. [37] med lav impuls viktig for å sikre god ytelse, som tyder på at fortrenningsventilasjon trolig vil være å foretrekke i området rundt kjøkkenet. Innen storkjøkkenventilasjon er kjøkkenhetter med luft-gardin brukt for å bedre osopffangingen [46]. Dette er noe som litteraturen også har sett på, selv om det kanskje ikke er like vanlig i dagens kjøkken. Luft-gardin har ihht. Claeys et al. [40] vist å ha god osopffangingssevne ved lavere luftmengder, men er sensitiv for høyere monteringshøyde. Chen et al. [38] testet en skråstilt kjøkkenhette med luft-gardin og fant at de er mer motstandsdyktige i forhold til eksterne luftforstyrrelser.

Generelt sett når det gjelder osopffangingssevne er veggmonterte/overhengende kjøkkenhetter den mest undersøkte i litteraturen, årsaken til dette er trolig at denne er og har vært den mest utbredte kjøkkenhetten i boliger. Det er altså mye fokus på veggmonterte kjøkkenhetter, så fremtidig forskning bør kanskje flytte mer oppmerksomhet på f.eks. benkeventilatorer og kjøkken-øy da disse også er mye brukt.

Er benkeventilatoren representert i litteraturen? I så fall; hvilken osoppfanging har denne i forhold til en tradisjonell kjøkkenhette?

Når det kommer til hvorvidt benkeventilatoren er representert i litteraturen kan man se bare basert på antall treff i søket at dette trolig er noe mangelfullt. Av artiklene som ble funnet, var det kun 3 av disse som direkte så på benkeventilatorers ytelse. Clark et al. [20] publiserte en artikkel der det ble undersøkt en benkeventilators osoppfangingsevne, hvor de fant en beregnet osoppfangingsevne på over 90% ved en luftmengde på 255 m³/h. Denne artikkelen så kun på en benkeventilator med avtrekkspunktet plassert «bak» på koketoppen, ikke ned integrert i koketoppen slik mange nye løsninger har. Farnsworth et al. [44] undersøkte testmetoder for evaluering av osoppfangingsevne for kjøkkenventilatorer hvor det ble i den forbindelse testet en benkeventilator. Det ble funnet at den var nesten 100% effektiv mtp. oppfangning av røykgassprodukter, men relativt ueffektiv for oppfangning av vanndamp fra matlagingen. Det presiseres ikke i artikkelen hvilken orientering avtrekkspunktet for benkeventilatoren har. Singer et al. (2012) undersøkte osoppfangingsevnen til bl.a. to benkeventilatorer, hvor de fant at hvilken av kokeplatene som var i bruk hadde stor påvirkning på osoppfangingsevne. I likhet med Clark et al. [20] ble det også i denne artikkelen brukt benkeventilatorer med avtrekkspunktet orientert «bak» på koketoppen og ikke integrert i selve koketoppen.

Er osoppfangingsevne beregnet ved matlaging, eller er det kun sporgass og olje?

Blant de artiklene som ble identifisert og gjennomgått kan det konkluderes med at det er flest artikler som følger ASHRAEs standard ASTM-3087.18, hvor sporgass er brukt som grunnlag for å beregne osoppfanging. Av de 15 artiklene var det altså ingen som benyttet på matlaging som grunnlag. Årsaken til dette kan være at matlaging er en komplisert prosess med mange usikre variabler, som matens vanninnhold og fettinnhold. Bruk av sporgass gir muligens bedre repeterbarhet, men trolig et mindre realistisk resultat fordi det ikke nødvendigvis er noen sammenheng mellom partikler emittert fra matlaging sammenlignet med en sporgass. Det var også noen artikler som brukte olje, men dette var noe sjeldnere. De mest brukte sporgassene som er benyttet er svovelheksafluorid (SF₆) og karbondioksid (CO₂), hvor CO₂ var mest representert. Det var også noen artikler som så på bruk av CFD for å simulere osoppfangingsevne for kjøkkenhetter.

Oppsummering

Avslutningsvis kan man si at kjøkkenhetter har vært undersøkt i litteraturen over en lengre periode. Generelt sett har det vært mye fokus på veggmonterte kjøkkenhetter, mens benkeventilatoren og kjøkken-øy har hatt lite oppmerksomhet.

Basert på en grundig gjennomgang av litteraturen er det blitt identifisert hull i eksisterende forskning. Det er stor mangel på informasjon rundt benkeventilatorers ytelse, matlaging som grunnlag for å beregne kjøkkenhettens osoppfangingsevne og resirkulerende kjøkkenhetter. Dette danner grunnlaget for oppgaven.

4. Metoder

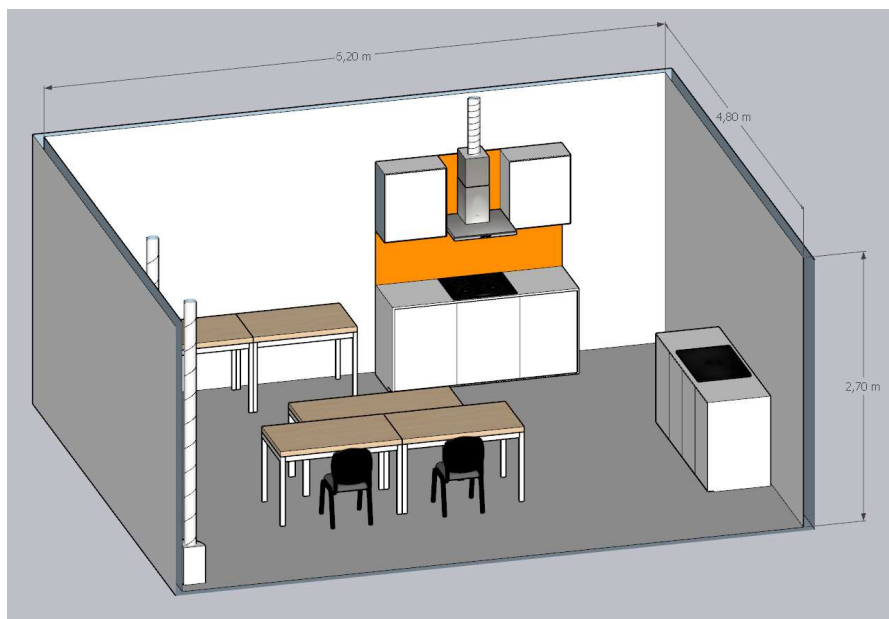
I dette kapitlet blir de innledende testene, laboratorie- og eksperimentoppsettet, som ble benyttet under eksperimentene, presentert.

4.1. Laboratorieoppsett

Dette kapitlet omhandler hvordan kjøkkenlaboratoriet, ventilasjonsanlegget og kjøkkenventilatorene er utformet. I tillegg blir det også presentert hvilke kjøkkenutstyr og måleutstyr som ble anvendt.

4.1.1. Laboratorieutforming

Kjøkkenlaboratoriet skal simulere en åpen kjøkkenløsning, også kalt stue-kjøkken. Kjøkkenet er plassert inne i et testrom på 6,2m x 4,8m x 2,7m, som gir et romvolum på ca. 80,4 m³. Kjøkkenet er utformet slik som illustrert i Figur 3 nedenfor, hvor det er tatt utgangspunkt i NEK IEC 61591:2019 [24]. Laboratoriet er større enn modellen i standarden, men å gjøre endringer for å redusere størrelsen ble dømt problematisk og urealistisk. Kjøkkenlaboratoriet skal simulere en åpen kjøkkenløsning, noe som er vanlig for moderne norske leiligheter.



Figur 3: Utformingen av laboratoriet [10, 11]

4.1.2. Ventilasjonsanlegget

Laboratoriet er utstyrt med et mekanisk ventilasjonsanlegg som gjorde det mulig å ha full kontroll over det termiske og atmosfæriske klimaet inne i laben. Ventilasjonsanlegget ble kontrollert vha. GK Cloud, som er et system man kan kontrollere anlegget via. Figur 33 i vedlegg A viser et flytskjema som viser hvordan ventilasjonsanlegget er oppbygd. Det er brukt en væskekoblet varmegjenvinner for å sikre at det ikke er noen form for luftsmitte fra avtrekk til tilluft via gjenvinneren som kan føre til kortslutning der man får partikler sendt tilbake til laboratoriet. Ventilasjonsanlegget er også utstyrt med et varmebatteri og et kjølebatteri for temperaturkontroll. Luften som kommer inn fra inntaket blir filtrert av et fin-filter, av typen G95 glassfiberfilter fra Deltrian [47].

Tilluftsventiler

For å kompensere for undertrykket som blir produsert av kjøkkenhettene ble det brukt to tilluftsventiler i testlaben, dette er essensielt da man forhindrer undertrykk som fører til at det blir dratt inn luft fra omgivelsene utenfor laben som virker forurensende og kan påvirke partikkelkonsentrasjonen i laben. Disse tilluftsventilene skal simulere luft som strømmer fra nærliggende rom (f.eks. stue). Disse ventilene var fortrengningsventiler av typen SIV-INN 1 1/4R og 1/2R produsert av TROX Auranor [48]. Figur 4 nedenfor viser et bilde av disse ventilene.



Figur 4: SIV-INN 1 1/2R og 1/4R [48]

Avtrekksventilen

Avtrekksventilen som ble brukt for grunnavtrekket i laboratoriet er av type DSO-160. Dette er en ventil som er designet for montasje i vegg eller tak. Ventilen er produsert av stål og har en kjeGLE i midten som kan reguleres for å gi ønsket luftmengde [49]. Figur 5 nedenfor viser et bilde av denne ventilen.



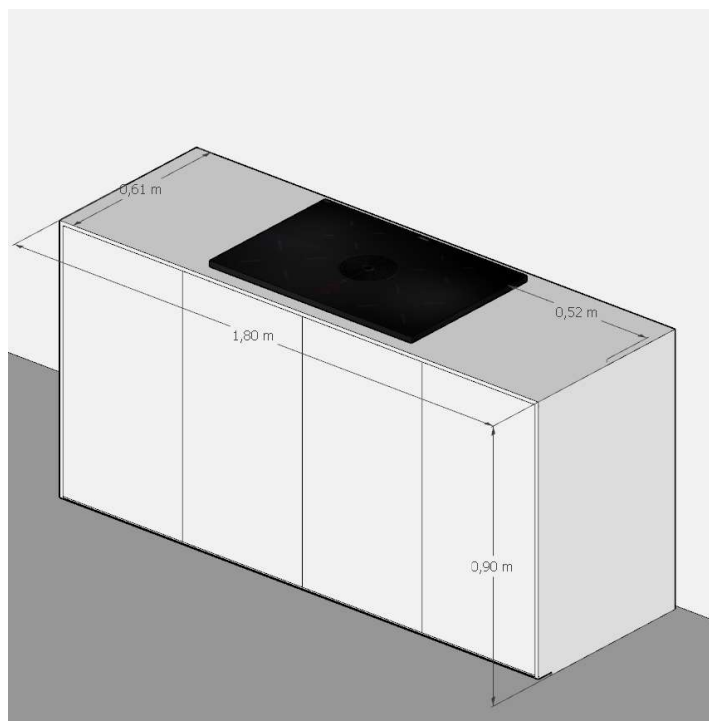
Figur 5: Ventilen for grunnavtrekket[49]

4.2. Kjøkkenoppsettene

I dette delkapittelet blir de to kjøkkenoppsettene presentert.

4.2.1. Kjøkkenoppsettet for benkeventilatoren

Kjøkkenoppsettet for benkeventilatoren var plassert på den ene kortsiden av kjøkkenlaboratoriet, som vist i Figur 3 i kap. 4.1.1. Figur 6 nedenfor viser kjøkkenoppsettet med dimensjoner.

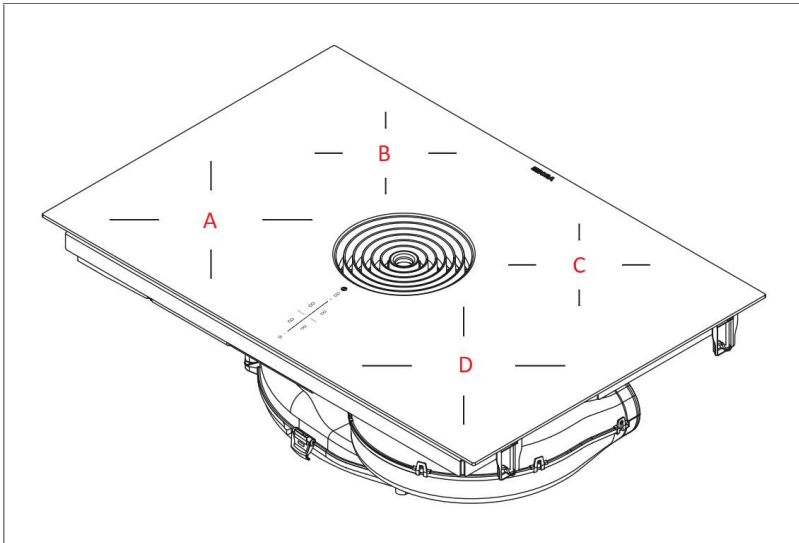


Figur 6: Eksperimentoppsettet for benkeventilatoren

For benkeventilator-oppsettet ble det brukt koketoppen BORA Pure induksjonstopp med innebygd ventilator. Denne benkeventilatoren har et spesialutviklet aktivt kullfilter som følger med som gjør at man kan velge

mellom resirkulering eller ut til det fri. Filteret har aktivt kull med ionebytter [50]. BORA Pure-koketoppen er en induksjonskoketopp og har fire soner. Nedenfor er en figur som viser effekten på de ulike platene på koketoppen. Selve ventilatoren har en sirkulær åpningsdiameter på 175 mm. Den har et innebygd fettfilter i rustfritt stål under ventilatoråpningen. Iht. produsent har den en maksimal kapasitet på 622 m³/h [51]. Luftmengdene for hvert trinn ble målt for hver løsning (uttrekking/resirkulering) og er presentert i Tabell 6 i kap. 4.3.1.

Tabell 4: Koketoppen for benkeventilatoren



Platetopp	Effekt
Effekt kokesone foran (A,D) (power-trinn)	2300 W (3000 W)
Effekt kokesone bak (C,B) (power-trinn)	1400 W (2100 W)

Hvis man sammenligner koketoppen for benkeventilatoren med koketoppen for kjøkkenhette-oppsettet ser man at det er ulik effekt på de forskjellige kokeplatene. Koketoppen for benkeventilatoren er to-delt, hvor de kokeplatene foran på koketoppen har høyere maks effekt enn de bak. For koketoppen for kjøkkenhette-

oppsettet har alle de fire kokeplatene forskjellige maks effekter. Det er også verdt å nevne at begge koketoppene er fra forskjellige produsenter og trolig har ulik induksjonsteknologi.



Figur 7: Benkeventilatoren – uttrekking modus.

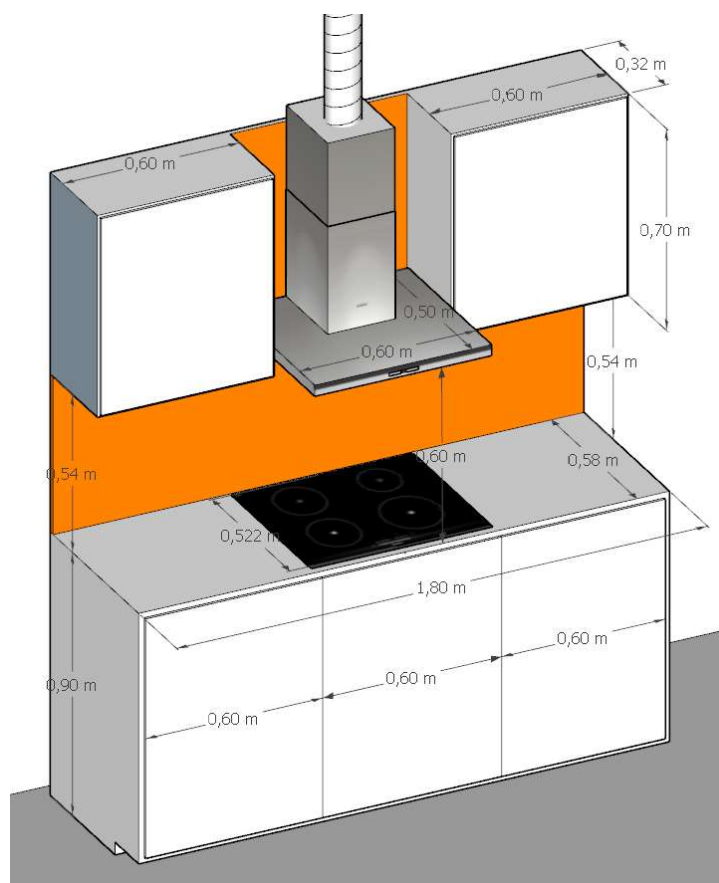
I Figur 7 ser man en boks som avtrekkskanalen går inn til. Denne boksen var i utgangspunktet tenkt som et plenums-kammer, slik at man kunne bruke en hjelpevifte. Denne hjelpeviften viste seg underveis å være unødvendig, men boksen ble likevel beholdt for å ikke endre oppsettet underveis og da den trolig ikke har påvirkning på resultatene.



Figur 8: Benkeventilatoren – resirkulering modus.

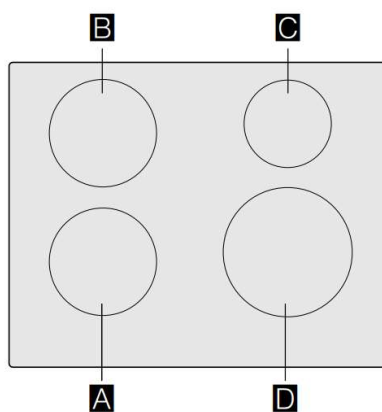
4.2.2. Kjøkkenoppsettet for kjøkkenheten

Kjøkkenoppsettet for kjøkkenheten var plassert på den ene langsiden av kjøkkenlaboratoriet, som vist i Figur 3 i kap. 4.1.1. Figur 9 nedenfor viser en illustrasjon av oppsettet med dimensjoner.



Figur 9: Eksperimentoppsettet for kjøkkenheten

For kjøkkenhette-oppsettet ble det brukt SIEMENS iQ100 (EH651FEB1E) induksjonstopp. Denne har 17-trinns regulering av effekten tilført til hver enkelt platetopp. Figur 10 viser effekten for nivå 9 og «boost»-funksjonen for hver enkelt platetopp. I denne oppgaven ble kun platetopp A og D benyttet.



		g*	b*
A / B	Ø 18	1.800 W	3.100 W
C	Ø 14,5	1.400 W	2.200 W
D	Ø 21	2.200 W	3.700 W

*  IEC 60335-2-6

Figur 10: Effekten for ulike nivåer for SIEMENS iQ100 induksjonstopp

Ventilatoren til kjøkkenhette-oppsettet ble valgt på bakgrunn av å være representativ for en vanlig kjøkkenhette i norske boliger. Kjøkkenventilatoren for dette oppsettet var en veggmontert kjøkkenhette kalt iQ500 (LC67BHP55) fra produsenten SIEMENS. Denne har mulighet for både uttrekking og resirkulering. For resirkulering ble det brukt et aktivt kullfilter, av typen Siemens CleanAir [52]. Luftmengdene for kjøkkenhetten ble målt vha. en Swema 3000 på en BAAS målestasjon. Resultatene er presentert i Tabell 7 i kap. 4.3.2.

Figur 11 og Figur 12 nedenfor viser løsningene som ble benyttet for uttrekking og resirkulering.



Figur 11: Kjøkkenhetten – uttrekking modus.

Som Figur 11 viser ser man at kanalen fra kjøkkenhetten føres opp gjennom taket på laboratoriet. På taket er det montert et spjeld av typen DRS-160 fra TROX Auranor [53] for å kunne regulere luftmengden. Dette spjeldet kan ses montert i kanal i Figur 12 nedenfor.




Figur 12: Kjøkkenheten - resirkulerende modus.




Figur 12 viser løsningen for resirkulering for kjøkkenheten. Kanalanlegget for begge løsningene med resirkulering måtte utformes slik at man hadde mulighet for å måle luftmengdene, for innregulering i forhold til hvilken luftmengde som skulle testes. Dette er bakgrunnen for at det er relativt stor avstand fra kjøkkenventilatorene til avkastet med filtrert luft, da man har behov for gode rettstrekk som sikrer best mulig forhold for måling med BAAS målestasjoner.

4.2.3. Kjøkkenutstyr

Kjøkkenutstyret som ble brukt før eller under alle eksperimentene er illustrert i Tabell 5 nedenfor.

Tabell 5: Kjøkkenutstyret som ble benyttet under forsøkene

Utstyr	Beskrivelse	Bilde
Stor og liten stekepanne	TEFAL stekepannesett med diameter 24cm (høyde = 4,8 cm) og 28cm (høyde = 5,0 cm) ingenio resource av aluminium, med avtagbart håndtak og non-stick belegg.	
Kjeler	Modern House Rix gryte m/lokk med diameter 20 cm (høyde = 11,0 cm) produsert i stål med non-stick belegg. Cuisine Chef kasserolle med diameter 24 cm (høyde = 10,7 cm) i aluminium med non-stick belegg.	

Utstyr	Beskrivelse	Bilde
Stekeutstyr	Stekepader og sleiver med varmemotstand opptil 200°C og non-stick belegg.	
Måleskjeer	Funktion måleskjesett av stål med 4 måleskjeer (2,5 ml, 5 ml, 10 ml og 15 ml)	
Målebeger	Oxo målebeger vinklet 1L	

4.3. Innledende tester

Det ble foretatt to innledende tester. Det ble sett nærmere på hvilke luftmengder de ulike trinnene på kjøkkenventilatorene gir og hvilke effekt-trinn som må brukes for benkeventilatoren under eksperimentene.

4.3.1. Luftmengder benkeventilatoren

Det ble gjort foretatt luftmengdemålinger på benkeventilatoren for å se hvilke luftmengder man får ved de ulike trinnene på benkeventilatoren. Dette ble gjort vha. en BAAS målestasjon. Årsaken til at luftmengdene er forskjellige på de to løsningene fordi det er ulikt utformet kanalanlegg som fører til ulikt trykkfall. Resultatene fra målingene er presentert i Tabell 6 nedenfor.

Tabell 6: Målte luftmengder ved de ulike trinnene for benkeventilatoren, for både uttrekking og resirkulering

Trinn	Luftmengde [m ³ /h]	
	Uttrekking	Resirkulering
0 (nøytral)	101,9	85,5
1	143,4	121,7
2	182,3	160,2
3	216,1	198,1
4	255,1	235,2
5	293,9	267,8
6	355,3	328,5
7	390,6	363,9
8	426,2	397,8

9	459,7	428,3
BOOST	530,4	496,7

4.3.2. Luftmengder kjøkkenheten

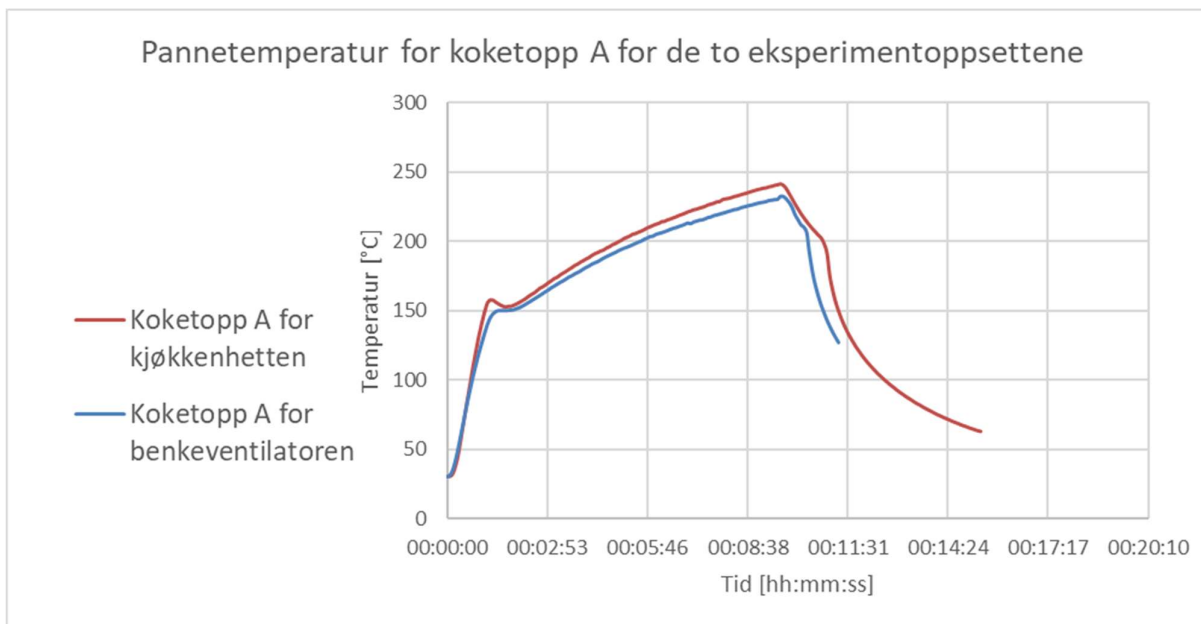
Det ble foretatt samme type luftmengdemålinger på standard-ventilatoren for å undersøke hvilke luftmengder man får ved de ulike trinnene. Dette ble gjort på samme måte som for benkeventilatoren. Her er det også, som for benkeventilatoren, forskjell mellom luftmengdene for de to løsningene på bakgrunn av ulikt kanalanlegg og dermed ulikt trykkfall. Tabell 7 viser resultatene for luftmengdene for både resirkulering og uttrekking.

Tabell 7: Målte luftmengder ved de ulike trinnene for kjøkkenheten, for både uttrekking og resirkulering

Trinn	Luftmengde [m ³ /h]	
	Uttrekking	Resirkulering
1	183	155
2	286	255
3	362	316
BOOST	496	393

4.3.3. Effekt-trinn på benkeventilatoren

For å oppnå mest mulig sammenlignbare resultater er det viktig at man har mest mulig lik tilført effekt og temperatur i pannen. For å forsøke å oppnå dette ble det utført forsøk med ulike trinn på benkeventilatoren, disse testene ble utført ved bruk av 2 dl rapsolje i stekepannen og fulgte testprosedyren i kap. 4.4.2. For koketoppen for kjøkkenheten var det for kokeplate A benyttet trinn 9 og 7. Det ble utført forskjellige tester med ulike trinn for begge koketoppene for å oppnå mest mulig like temperaturer under eksperimentperioden. Figur 13 nedenfor viser pannetemperaturen som ble målt for koketopp A for trinn 8 og 6 for benkeventilatorens koketopp, sammenlignet med 9 og 7 for kjøkkenhettens koketopp.



Figur 13: Pannetemperaturer for koketopp A for eksperimentoppsettene for benkeventilatoren og kjøkkenheten.

Som figuren viser ser man at temperaturene ser relativt like under eksperimentperioden. Det er noen avvik, men de følger samme trend. Tilsvarende tester ble også utført for kokeplate D for begge koketopper. Det ble konkludert med at trinn 7 for benkeventilatorens koketopp resulterte i relativt like temperaturer sammenlignet med kjøkkenhettens koketopp, som benyttet trinn 8. Det ble dermed valgt å benytte disse trinnene som grunnlag for videre eksperimenter.

4.4. Eksperimentoppsettet

Dette delkapittelet omhandler eksperimentene og de ulike parameterne som inngår i eksperimentene.

4.4.1. Eksperimenter og luftmengder

For å se nærmere på de aktuelle forskningsspørsmålene i oppgaven, ble det satt opp en rekke eksperimenter. Det ble valgt å utføre eksperimenter med ulike luftmengder for 4 ulike eksperimentoppsett:

- Kjøkkenhette – uttrekking (referert til som «SE»)
- Kjøkkenhette – resirkulering (referert til som «SR»)
- Benkeventilator – uttrekking (referert til som «DE»)
- Benkeventilator – resirkulering (referert til som «DR»)

Luftmengdene som det ble valgt å utføre eksperimentene med var som følger: 108, 250, 350 og 500 m³/h. Disse luftmengdene representerer lav, medium, høy og veldig høy luftmengde. Bakgrunnen bak valget av disse luftmengdene er forskjellige. 108 m³/h ble valgt fordi dette er dagens TEK17-krav til luftmengde for forsert ventilasjon [7]. 250 m³/h ble valgt på bakgrunn av at dette er SINTEFs anbefalte luftmengde for kjøkkenventilatorer [8]. 350 m³/h ble valgt på bakgrunn av at dette var omtrent det maksimale kjøkkenhettens som ble benyttet kunne oppnå. Til slutt ble 500 m³/h valgt, kun for benkeventilatoren, da denne luftmengden samsvarer omtrent med anbefalte luftmengde i ASHRAE Standard 62.2-2013 på 540 m³/h [18]. Det var også for å undersøke hvilke resultater maksimal luftmengde for benkeventilatoren førte til, da det er lite dokumentasjon på ytelsen for en slik kjøkkenventilator. Underveis i eksperimentene ble det også valgt å se på 180 m³/h, da kun for uttrekking. Det ble kun gjort 2 repetisjoner for hver kjøkkenventilator ved denne luftmengden på bakgrunn av tidsbegrensninger. Denne luftmengden samsvarer også bedre med anbefalinger fra New Zealand, ASHRAE og Home Ventilating Institute. [16-18]

I Tabell 8 nedenfor er en oversikt over eksperimentene som ble utført, og avtrekksluftmengdene for grunnavtrekk og kjøkkenhettene for hvert eksperiment. Eksperimentene er navngitt ut ifra hvilket eksperiment som ble utført og hvilken luftmengde som ble testet. Eksempelvis «DE_108» refererer til benkeventilatoren – uttrekking (Downdraft Extraction), og en luftmengde på 108 m³/h. Tilluftmengden ble justert for å få tilstrekkelig overtrykk i laboratoriet, det ble valgt å benytte + 0,5 ± 0,1 Pa overtrykk. Dette medførte noe ubalanse i tilluft og avtrekksluft, men var nødvendig for å sikre at luft utenfra ikke kom inn gjennom utettheter i laben. Dette ble gjort slik at resultatene ikke kunne bli påvirket av «uren» luft fra omgivelsene utenfor laboratoriet.

Tabell 8: Avtrekksluftmengdene under de ulike eksperimentene

Eksperiment	Luftmengde grunnavtrekk [m³/h]	Avtrekksluftmengde kjøkkenventilator [m³/h]	Sum avtrekksluftmengde [m³/h]
D_0	36	0	36
DE/DR_108	36	108	144
DE/DR_250	36	250	286
DE/DR_350	36	350	386
DE/DR_500	36	500	536
S_0	36	0	36
SE/SR_108	36	108	144
SE/SR_250	36	250	286
SE/SR_350	36	350 ¹	386

1: For kjøkkenhettens – resirkulering ble maksimalt målte luftmengde 327 m³/h

4.4.2. Matlagingen

For å gjøre eksperimentene så repeterbare som mulig, ble det valgt å ikke ha for mange ulike ingredienser. Med grunnlag i resultatene fra fjorårets masteroppgave, i forbindelse med forskningsprosjektet skrevet av Adele Jutulstad, falt valget på laks og wok på bakgrunn av lukt og høye antall partikler under tilberedning. Laks er veldig fettrik mat, som ifølge STUDIE er mat som avgir mye partikler og dermed fører til økt eksponering under tilberedning. Nedenfor er en figur som viser hvilke matvarer som ble benyttet under eksperimentene.



Figur 14: Matvarene som ble benyttet i eksperimentene

Alt av innhold i pakkene tilsatt under eksperimentene. For laksen ble den mindre stekepannen brukt (24 cm diameter), mens for steking av wokblandingen ble den større brukt (28 cm diameter). For steking ble også tilsatt 5 ml rapsolje i hver stekepanne. Laksen ble også saltet og pepret før steking for realismens skyld. For hele måltidets næringsinnhold se vedlegg B. Figur 15 nedenfor viser et bilde av et ferdig tilbered måltid fra et tilfeldig eksperiment.



Figur 15: Bilde av et ferdig måltid fra et tilfeldig eksperiment

For å få sammenlignbare resultater er det essensielt å ha en detaljert testprosedyre. Testprosedyren ble satt opp med utgangspunkt i testprosedyren fra fjorårets masteroppgaver. Den største endringen fra den opprinnelige testprosedyren var at steketiden for laks ble utvidet med 2 minutter 30 sekunder. Det ble laget to testprosedyrer; en for oppsettet for kjøkkenheten og en for benkeventilatoren. Det eneste som er forskjellig mellom disse to prosedyrene er trinnene på koketoppen. For kjøkkenheten ble trinn 9 og 7 brukt for koketopp A og trinn 8 for koketopp D. For benkeventilatoren ble det brukt trinn 8 og 6 for koketopp A og 7 for koketopp D. Dette gir sammenlignbar effektilførsel for begge koketoppene. Tabell 9 nedenfor viser testprosedyren som ble fulgt under samtlige eksperimenter for alle løsningene.

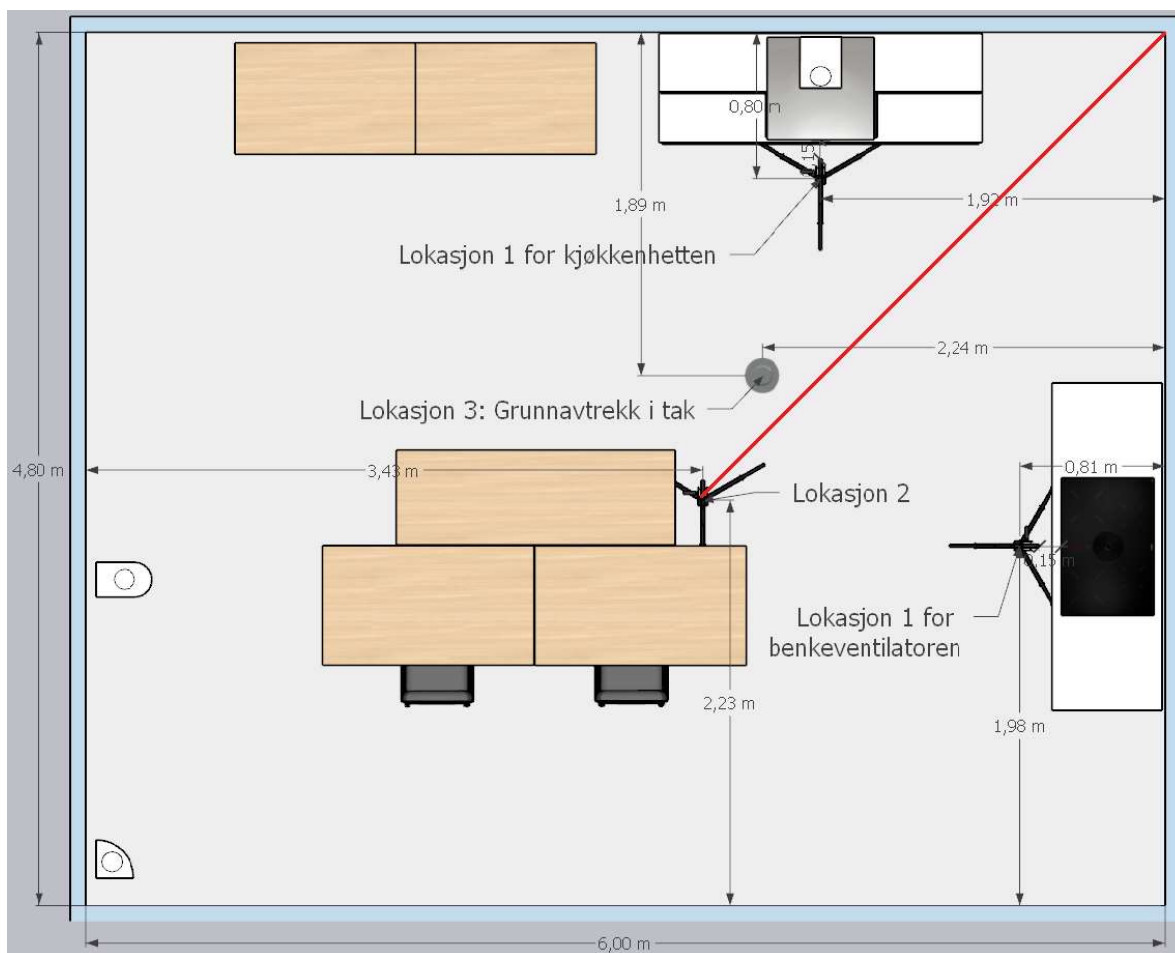
Tabell 9: Testprosedyren for matlagingen. * representerer trinn for benkeventilatoren.

Beskrivelse	Starttid
Slå på instrumentene (for å måle bakgrunnskonsentrasjonen), mål alle ingrediensene, plasseres på kjøkkenbenken. Tilsett olje.	-00:05:00
Krydre fisken med salt og pepper.	-00:01:00
Slå på koketopp A for liten panne, trinn 9 (8*), skru på hetten, vent 1 min.	00:00:00
Skru ned varmen til 7 (6*) på platetopp A, tilsett laks med skinnsiden ned.	00:01:00
Press laksen ned med stekespaden, stek deretter fisken i totalt 7 min med skinnsiden ned.	00:01:30
Bytt plassering av filetene (flytt dem rundt i pannen).	00:03:00
Snu filetene (skinnsiden opp), stek i 1,5 min.	00:08:00
Fjern laksen fra pannen, legg på en tallerken.	00:09:30
Slå på koketopp D for storpanne, trinn 8 (7*), tilsett olje, vent 1 min.	00:10:00
Tilsett wokblanding, bland hvert minutt.	00:11:00
Slå av koketoppen, slå av hetten, overfør woken til en tallerken og flytt måltidet til location 2.	00:16:00
Testperson setter seg ved spisebordet.	00:17:00
Stopp instrumenter og øk ventilasjonen før neste eksperiment.	01:08:00

4.4.3. Måleinstrumenter og plassering

Kjøkkenoppsettene ble plassert langs to ulike vegger i kjøkkenlaboratoriet. Måleinstrumentene ble plassert på tre forskjellige lokasjoner i henhold til kjøkkenoppsettene. Lokasjon 1 skal representere eksponeringen til den som lager mat, dvs pustehøyde for en gjennomsnittlig nordmann. Den gjennomsnittlige høyde for en norsk mann er 179,9 cm, mens den gjennomsnittlige høyde for norske kvinner er 167,7 cm. Hvis man da antar en lik fordeling mellom menn og kvinner, blir den gjennomsnittlige høyden 173,8 cm. Høyden for lokasjon ble dermed satt til 154 cm, hvis man antar man at munnen er ca. 20 cm lavere enn den totale kroppshøyden. Den horisontale avstanden til kjøkkenbenken ble satt til 15 cm, da dette skal simulere en kokk som står foran koketoppen og lager mat. Lokasjon 2 skulle forestille en person som sitter ved et spisebord og var plassert ca. midt i kjøkkenlaboratoriet i en høyde av 110 cm, da dette tilsvarer høyden på en person som sitter. Lokasjon 3 var plassert ved avtrekksventilen for grunnavtrekket. Årsaken til dette er at all luften i rommet går til slutt gjennom dette punktet. Avtrekkspunktet gir dermed en god måling av den gjennomsnittlige

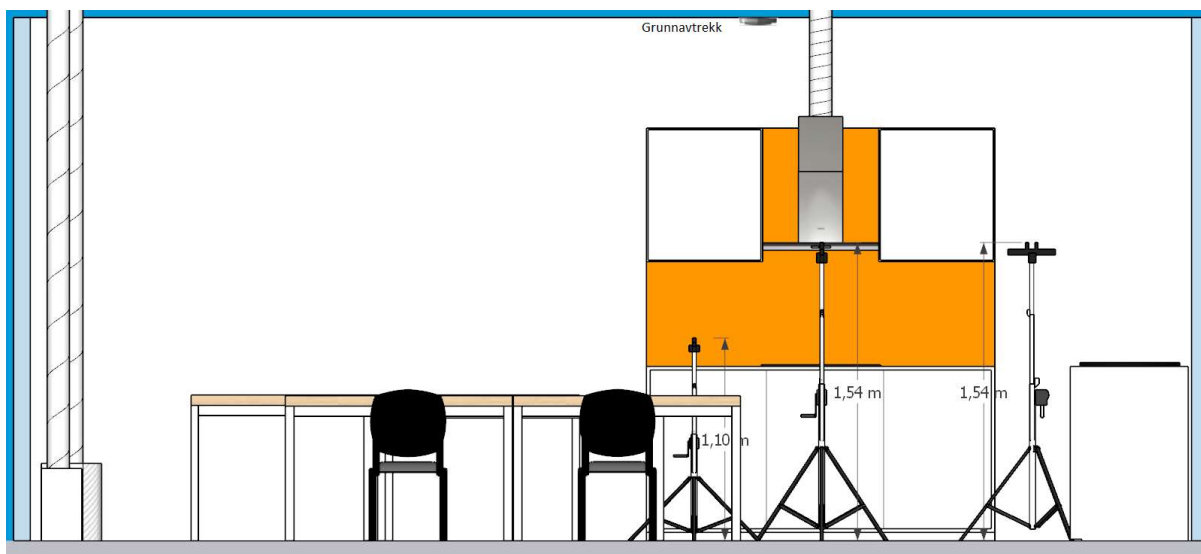
verdien for antall partikler i rommet. Figur 16 nedenfor viser plasseringene av målepunktene med dimensjoner.



Figur 16: Lokasjoner på målepunkter for eksperimentene, sett ovenfra.

For å få mest mulig sammenlignbare resultater, ble det valgt å speilvende kjøkkenoppsettene i forhold til en diagonal fra det ene felles hjørnet mellom oppsettene. Lokasjonene ble dermed plassert med omtrent lik avstand til denne linjen. Dette var også bakgrunnen for valg av plassering av grunnavtrekket.

Figur 17 nedenfor viser et bilde lokasjonenes målehøyder, sett forfra. Lokasjon 3 var nesten helt oppe ved taket, med en høyde på 2,65 m.



Figur 17: Høyder for målepunkter for eksperimentene, sett forfra.

Tabell 10 nedenfor viser en oversikt over samtlige måleinstrumenter som ble benyttet under eksperimentene.

Tabell 10: Oversikt over samtlige måleinstrumenter som ble benyttet under eksperimentene

Måleutstyr	Plassering	Parameter	Måleområde	Nøyaktighet	Måleprinsipp	Driftsforhold
GRIMM: Portable dust monitor 11-D	1	Antall partikler [Partikler/L]	Størrelsen 0,253- 35,15 µm fordelt på 31 kanaler	98.2% for 0.3 µm, 99.5% for 0.5 µm, 91.8% for 1.0 µm, 91.0% for 5 µm	OPC	Mellom 0 og +40 °C RF<95%
GRIMM: Portable dust monitor 1.108	2	Antall partikler [Partikler/L]	Fra 0,30 µm til 20 µm fordelt på 15 kanaler.	Reproduserbarhe t: ± 3 %	OPC	Mellom 0 og +40 °C RF<95%
AeroTrak Handheld Particle Counter 9303	1,2 og 3	Antall partikler [Partikler/L]	13 kanaler. Fra 0,3 til 25 µm.	50% ved 0,3 µm; 100% for partikler > 0,45µm.	OPC	Mellom 0°C og 25°C. 20% < RF < 95%
Rotronic CP11 [54]	2	Relativ fuktighet, temperatur og CO ₂ [%] og [°C]	0 ... 5000 ppm, 0,1 ... 99,95% RF, -20 ... 60°C	± 30 ppm ± 5% av avmålt verdi ± 2% RF (10 ... 90% RF), ellers ± 5% RF ± 0,3 K	Ikke-dispersiv infranød (NDIR) med automatisk grunnlinjekorreksjo n (ABC)	Ikke spesifisert.
BAAS målestasjon	Tilluftskanal Grunnavtrekkskanal Avtrekkskanal for kjøkkenventilatorene	Luftmengde [m ³ /h]	Ikke spesifisert	±4%	Differansetrykk	Ikke spesifisert
DPC controller [55]	Grunnavtrekk og tilluftskanal	Luftmengde [m ³ /h]	0 ... 2500 Pa	Trykk < 125 Pa = 1% ± 2 Pa Trykk > 125 Pa = 1% ± 1 Pa	Differansetrykk	-20 ... +50 °C

Thermocouple [56]	Tilluftskanal og avtrekkskanal	Temperatur [°C]	-200 ... +1260 °C	± 2,2 °C eller ±0,75 % (den største av disse)	Chromel-alumel	Ikke spesifisert
--------------------------	--------------------------------	-----------------	-------------------	---	----------------	------------------

4.4.4. Forsøksplan

Det ble utarbeidet en forsøksplan for å sikre tilstrekkelig fremdrift. Det ble dedikert en uke per eksperimentoppsett, hvor fire dager ble brukt til utførelse av eksperimenter og en dag for bearbeiding av data samt ombygging til neste oppsett. For en forsøksdag ble det utført 3-4 eksperimenter, avhengig av hvor mye uforutsette komplikasjoner som oppstod. Forsøksdagene ble satt opp ut ifra hvilke luftmengder som skulle testes, da man testet høyeste luftmengde først og gikk videre til neste luftmengde i en nedadgående rekkefølge. Det ble satt av ca. 45 minutter etter hvert eksperiment for innsamling av data, ventilering av laboratoriet og klargjøring før neste eksperiment. Mellom hvert eksperimentoppsett ble alle overflater støvkostet og vasket. Tabell 11 nedenfor viser timeplanen for en typisk forsøksdag. En oversikt over hele forsøksplanen er presentert i vedlegg G.

Tabell 11: Eksempel på timeplanen for en forsøksdag

Forsøksdag	
08:30	Første forsøk
	Ventilere ut til neste forsøk
	Gjør klart til neste forsøk
10:15	Andre forsøk
	Ventilere ut til neste forsøk
	Gjør klart til neste forsøk
12:00	Tredje forsøk
	Ventilere ut, samle data
	Gjør klart til neste forsøk
13:45	Fjerde forsøk
	Kontrollere data
	Gjøre klart til neste dag

4.5. Beregning av osopppfangsevne

Osopppfangsevne ble beregnet vha. et regneark i Excel, utviklet av veileder Peter G. Schild. Regnearket regner ut osopppfangsevne for kjøkkenventilatorene og tilhørende usikkerhet. Inndata fra samme lokasjon, måleinstrument og ved lik grunnventilasjon brukes til beregningene. Denne beregningsmetoden kan brukes for faktisk matlaging og baserer seg på den eksponentielle reduksjonen av partikkelmengden i rommet over en lengre tidsperiode etter at kjøkkenventilatoren er slått av. Antallet partikler integreres fra starten av eksperimentet til uendelighet:

$$CE = \left(1 - \frac{\Sigma C_{on}}{\Sigma C_{off}}\right) \times 100\% \quad (3)$$

Hvor CE er osoppfangingssevne i %.

Hvor ΣC er summen av alle loggede verdier av partikkelmengden (logget ved jevne intervaller):

$$\Sigma C = \left[\sum_{i=1}^N c_i \right] + \Sigma C_{tail} \quad (4)$$

Tilleggsleddet ΣC_{tail} ekstrapolerer partikkelmengden fra slutten av loggingsperioden til tiden $t = \infty$ og beregnes med følgende formel:

$$\Sigma C_{tail} \approx c(0) \cdot EXP\left(\frac{N}{\tau_i}\right) \quad (5)$$

Osoppfangingssevnen kan beregnes ved en vilkårlig plassering i rommet, f.eks ved kokken eller ved spisebordet. I denne oppgaven ble ventilen til grunnavtrekket i kjøkkenet brukt som plassering. Årsaken til dette er at dette er mer representativt for rommet som helhet. Videre ble det beregnet osoppfangingssevnen for en «gjest», som kommer inn på kjøkkenet akkurat når måltidet er klart. Dette er en person som ikke er til stede i kjøkkenet i hele matlagingsperioden ($0 \leq t \leq \infty$) og er sammenlignbart med CE for IEC-standarden. For beregning av osoppfangingssevnen for kokken ble hele tidsserien fra tid $t=0$ integrert.

Bakgrunnskonsentrasjonen var høyst varierende mellom eksperimentene. Det er essensielt at eksperimentene blir korrigert for bakgrunnskonsentrasjonen, slik at man kan sammenligne eksperimentene på mest mulig likt grunnlag. Dette ble gjort vha. en algoritme som estimerer og subtraherer på følgende måte:

1. Den opprinnelige bakgrunnskonsentrasjonen ble logget i 5 minutter før matlagingen startet (Dette er altså perioden -00:05:00 t.o.m 00:00:00 som illustrert i testprosedyren, se Tabell 9) Medianverdien ble deretter beregnet.
2. Etter matlagingen oppnår bakgrunnskonsentrasjonen en ny stabil verdi, pga. drift av hetten under matlaging. Denne bakgrunnskonsentrasjonen tilpasses samtidig med den eksponentielle nedbrytningskurven, som starter etter matlagingen. Dette innebærer at tre parametere på tilpasses samtidig, ved bruk av en metode inspirert av Kendall-Theil-Sen (KTS) regresjon:

- I. For hver verdi av bakgrunnskonsentrasjonen (c_{bck}) ble mediantidskonstanten (τ_i) tilpasset ved KTS-regresjon, basert på alle kombinasjoner av par av loggede verdier av korrigert konsentrasjon som er atskilt med minst halvparten av hele loggingsperioden. Hvert enkelt estimat av τ_{ij} beregnes i hht. formel (6) nedenfor, hvor i og j er to spesifikke logindekser.

$$\tau_{ij} = -\frac{i-j}{LN\left(\frac{c_i}{c_j}\right)} \quad (6)$$

- II. Gitt mediantidskonstanten (τ_i) beregnet ovenfor, tilpasses den ekstrapolerte startkonsentrasjonen ved KTS-regresjon, basert på alle loggede verdier for konsentrasjon i perioden etter matlagingen. Hvert enkelt estimat av $c(0)$ ble beregnet basert på én logget verdi av c_i iht. formel (7) nedenfor.

$$c(0)_i = \frac{c_i}{EXP\left(-\frac{i}{\tau_i}\right)} \quad (7)$$

- III. Trinn 1 og 2 ovenfor gjentas med et stort søk av prøveverdier med konstant bakgrunnskonsentrasjon (c_{bck}) fra ingen bakgrunnskonsentrasjon, $c_{\text{bck}} = 0$ til den høyeste målte konsentrasjonen under eksperimentet. Det endelige valget av c_{bck} er det som gir best tilpasning til den eksponentielle nedbrytningskurven ved å minimere tapsfunksjonen i formel (8). Tilleggsleddet +500 i tapsfunksjonen står for oppløsningen (usikkerheten) i partikkeltelleren.

$$\text{Tapsfunksjon} = \sum_i^N \left| LN\left(\frac{c(0) \cdot EXP\left(-\frac{i}{\tau_i}\right) + 500}{c_i + 500}\right) \right| \quad (8)$$

3. Til slutt ble de mellomliggende verdien for bakgrunnskonsentrasjon under matlagingen antatt å være lineære. Denne lineære trenden ble ansett som en akseptabel antagelse, da den er relativt kort sammenlignet med resten av hele eksperimentet.

4.6. Konvertering fra partikkelantall til PM_{2,5}

Et forhåndsutviklet Excel-regneark, utviklet av Peter G. Schild ble brukt for konverteringen av partikkelantall til PM_{2,5} (µg/m³). For å kunne sammenligne eksponeringen fra matlagingen med Folkehelseinstituttets gjeldene anbefalinger for maksimal eksponering per dag/ per år. Det finnes ingen eksakt verdi for tettheten for partikler emittert fra matlaging, det ble derfor besluttet å gjøre en forenkling der den ble satt lik tettheten for utendørs partikkeltetthet (ρ) 1650 kg/m³. Denne verdien er ikke nødvendigvis representativ for partikler emittert fra matlaging og medbringer en viss usikkerhet [57]. Partikkelstørrelsesdistribusjonen innenfor hver «bin» er ukjent. Det ble derfor antatt at mediandiameteren i hver «bin» er et geometrisk gjennomsnitt:

$$\overline{D_{12}} = D_1 \sqrt{\frac{D_2}{D_1}} = \sqrt{D_1 D_2} \quad (9)$$

Den gjennomsnittlige partikkelmassen i hver «bin» kan dermed estimeres med følgende formel:

$$\overline{V}_{12} = \frac{1}{6} \pi \overline{D_{12}}^3 \quad (10)$$

Til slutt ble massekonsentrasjonen [µg/m³] beregnet ved å summere massen av partikler i hver «bin» (dvs. partikkelantallet i hver «bin» multiplisert med gjennomsnittlig volum og partikkeltetthet) vha. følgende formel:

$$PM_{2.5} = \sum_{i=1}^{n-1} [N_{i,i+1} \cdot \rho \cdot \overline{V}_{i,i+1}] + N_{n-1,n} \cdot \rho \cdot \overline{V}_{n-1,n} \cdot \frac{2.5 \times 10^{-6} - D_{n-1}}{D_n - D_{n-1}} \quad (11)$$

Hvor $i = 1$ til n omfatter kun de «bin» med en nedre nedre diameter på $D_i < 2.5 \mu\text{m}$. Det siste leddet i formelen tar hensyn til at den siste «bin» har en blanding av partikler mindre og større enn 2,5 µm, dvs. den har en øvre diameter $D_n > 2.5 \mu\text{m}$.

Det ble også antatt at partikler mindre enn den laveste målbare diameteren er ubetydelig, altså $\overline{V}_{0,1} \approx 0$.

4.7. Tilleggstester

For å bidra til å kunne vurdere og gi anbefalinger til løsning og luftmengder for de ulike løsningene er det viktig å se næyere på flere ulike faktorer som definerer en god kjøkkenhette. Det ble valgt å se nærmere på to av faktorene som ble dømt særlig viktige; kjelhøyde (relevant for benkeventilatoren) og lydmålinger.

4.7.1. Forskjellig pannehøyde

Det ble utført eksperimenter med en høyere panner for å se på hvilken effekt dette ville ha for benkeventilatoren. Disse eksperimentene var identiske med de andre eksperimentene, eneste forskjellen var at stekepannene ble byttet ut med kjeler som hadde en høyere kant. Dette fører til at avstanden fra senter av innløpet til viften og kanten til stekeutstyret blir økt. Kjelen som ble brukt var av typen Cuisine Chef kasserolle og Modern House Rix gryte, med høyder på 10,7 og 11,0 cm respektivt og er illustrert i Tabell 5 i kap. 4.2.3.

På bakgrunn av tidsbegrensninger ble det kun valgt å se på effekten ved benkeventilatoren med luftmengdene 108, 180, 250 og 350. Det ble kun gjort 2 repetisjoner av hvert eksperiment. Det ble også utført egne nulltester for disse eksperimentene, da man bruker andre stekepanner og kan da få andre verdier for partikkelantall. Disse målingene vil kunne brukes til å sammenligne forskjellen i osopffangsevne med de samme luftmengdene som ble utført fra de originale eksperimentene, altså DE_108 og DE_350.

4.7.2. Lydmålinger

Spørreundersøkelsen utført av Adele Jutulstad viser at 10-50% av deltagerne (avhengig av alder) ikke brukte kjøkkenheten hver gang de lagde mat [11]. En spørreundersøkelse i USA indikerte at støy var en av årsakene til hvorfor folk ikke bruker kjøkkenheten [58]. Årsaken til dette var iht. undersøkelsen ofte en av to; at de glemmer å skru på, eller pga. for mye støy. Ifølge SINTEF bør ikke kjøkkenhetter ha et støynivå på over 45 dB [8]. Det ble på bakgrunn av dette valgt å utføre lydmålinger av alle de 4 oppsettene i oppgaven, som en bidragende faktor ved vurdering av hvilke luftmengder som skal anbefales.

Lydmålingene ble utført med en forenklet metode av NS-EN ISO 16032 [59], med kun en måling i rommet. Årsaken til dette var fordi dette kun var ment for å gi en indikasjon på opplevd lydnivå. Måleinstrumentet som ble brukt var Nor 140 fra Norsonic [60]. Denne ble montert på et stativ, som ble plassert foran kjøkkenheten. Avstanden mellom måleinstrumentet og kjøkkenheten var 1 meter, dette for å ha et best mulig sammenligningsgrunnlag for de ulike oppsettene. Måleinstrumentets høyde ble satt til å være halvveis mellom benkeventilatoren (90 cm fra gulv) og kjøkkenheten (150 cm fra gulv), altså 120 cm fra gulv.



Figur 18: Oppsett for lydmålinger

Figur 18 ovenfor viser hvordan instrumentet var oppsatt for lydmålinger for kjøkkenheten. Det ble foretatt målinger for samtlige oppsett og alle trinnene for hver kjøkkenhette. Målingene som ble utført var lydtrykk normert over en 30-sekunders periode.

4.8. Strømningsforholdene rundt benkeventilatoren

Rundt en punktformet avtrekksåpning plan med en vegg, eller i dette tilfelle en koketopp, kan hastigheten i en avstand x fra åpningen defineres vha. formel (12): [61]

$$V_x = 1,33 \times \frac{\dot{V}}{(A+10x^2)} \quad (12)$$

Hvor,

V_x er lufthastigheten i et punkt med ved en avstand x [m/s]

A er tverssnittsarealet [m²]

\dot{V} er luftmengden [m³/s]

x er avstanden fra avtrekkspunktet [m]

4.9. Analyse av innsamlet data

Resultatene er presentert deskriptivt, det vil si, med medianer og gjennomsnittsverdi med standardavvik. Maks. og min. verdi er den største verdier av osoppfangingssevne for alle kombinasjoner av repetisjoner innad i et eksperiment med tilhørende repetisjoner. Eksempelvis har man 8 repetisjoner i en beregning av osoppfangingssevne, hvor "hette av" (nulltestene) er 5 av disse og "hette på" er resterende 3, har man 15 ulike kombinasjoner av beregnet osoppfangingssevne. Maks og min. av disse er den kombinasjonen av "hette på" og "hette av" som gir hhv. den største og minste osoppfangingssevne. Gjennomsnittsverdien er i denne sammenheng gjennomsnittet av samtlige kombinasjoner av repetisjoner.

Mange ulike måleinstrument ble benyttet under eksperimentene. Alt av rådata ble eksportert, sortert og prosessert vha. Excel-regneark. Måten dette ble gjort på er som følger:

1. Først ble rådata overført fra hvert måleinstrument og over på en lokal datamaskin og lastet opp på en digital sky. Rådataen ble sortert baster på hvilket måleinstrument, eksperiment og repetisjon det tilhørte.
2. Rådataen ble deretter behandlet ut ifra formålet. For f.eks. beregning av osoppfanging ble rådata fra Aerotrak lokasjon 3 uthentet og importert inn i Excel-regnearket for videre beregninger.
3. Til slutt ble det opprettet nye regneark for oppsamling av bearbeidet data for presentering vha. grafer og beregninger av bl.a. gjennomsnittsverdier og RSD.

4.9.1. Beregning av usikkerhet mellom repetisjoner

For beregning av usikkerheten mellom repetisjonene for de ulike eksperimentene ble det utført deskriptiv statistikk med bl.a. gjennomsnittverdier for hele eksperimentet på 73 minutter iht. testprosedyren.

Standardavviket sier noe om hvor stor spredningen er på resultatene, altså hvor langt hver enkeltverdi gjennomsnittlig ligger i forhold til gjennomsnittsverdien. Et stort standardavvik betyr at det er stor spredning i forhold til gjennomsnittsverdien, og motsatt. Det ble foretatt forskjellige repetisjoner av samme eksperiment, det ble dermed funnet gjennomsnittlige verdier basert på disse repetisjonene. Dette ble beregnet vha. formel (13):

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_n \quad (13)$$

Hvor

n er antall repetisjoner

x_n er verdien for repetisjon n

Variansen, som er et mål på hvor stor variasjon det er i resultatene, ble deretter beregnet med følgende formel:

$$\mu = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (14)$$

Til slutt ble standardavviket beregnet etter formelen:

$$\sigma = \sqrt{\mu} \quad (15)$$

For å enklere sammenligne og for presentasjonens skyld ble standardavviket omgjort til et relativt standardavvik (RSD), vha. følgende formel:

$$RSD = 100 \times \frac{\sigma}{\bar{x}} \quad (16)$$

5. Resultater og diskusjon

I dette kapitlet blir resultatene fra beregningene for osopptfangsevne og eksponeringen, i tillegg til tilleggseksperimenter presentert og diskutert.

5.1. Laboratorieforhold

Tabell 12 nedenfor viser gjennomsnittlige laboratorieforhold for alle eksperimenter og alle repetisjoner av hvert eksperiment. Data fra hver enkelt repetisjon er presentert i vedlegg F.

Tabell 12: Gjennomsnittlige verdier for laboratorieforhold for samtlige eksperimenter

Eksperiment	Temperaturer [°C]			Luftmengder [m ³ /h]		CO ₂ [PPM]	RF [%]
	Laboratoriet	Tilluft	Grunnavtrekk	Tilluft	Grunnavtrekk		
Nulltester	22,8 ± 1,2	21,7 ± 0,4	22,7 ± 1,0	117,7 ± 13,0	31,8 ± 5,9	508,1 ± 34,7	21,2 ± 5,0
DE	23,1 ± 0,4	23,4 ± 0,6	23,4 ± 0,4	189,4 ± 51,4	40,0 ± 5,0	471,1 ± 25,3	19,5 ± 6,4
DR	22,1 ± 0,9	22,0 ± 0,8	22,4 ± 0,9	124,0 ± 19,7	31,9 ± 4,0	522,4 ± 25,8	22,6 ± 2,0
SE	22,6 ± 0,5	23,1 ± 0,9	23,1 ± 0,5	166,1 ± 37,7	36,3 ± 6,8	477,7 ± 34,8	23,3 ± 2,4
SR	23,3 ± 0,4	21,9 ± 0,2	22,9 ± 0,3	123,6 ± 4,8	34,9 ± 2,9	499,1 ± 28,8	12,3 ± 1,8
Pannehøyde	25,6 ± 0,8	22,8 ± 0,5	23,9 ± 0,4	161,3 ± 30,3	33,5 ± 4,5	477,7 ± 13,8	20,4 ± 5,9
Totalt	23,1 ± 1,2	22,5 ± 0,9	23,1 ± 0,8	149,6 ± 42,4	35,4 ± 5,8	492,8 ± 33,7	20,2 ± 5,4

Laboratorieforholdene var generelt sett stabile mellom de ulike repetisjonene, slik man kan se fra tabellen. Disse verdiene er gjennomsnittlige verdier for hele eksperimentperioden på 73 minutter iht. testprosedyren. Det er viktig å presisere at tabellen viser kun gjennomsnittlig verdi for tilluftsmengde for eksperimentet. Dette er dermed en normert verdi for hele eksperimentperioden og skiller ikke mellom når kjøkkenventilatoren var påskrudd eller ikke. Man kan se dette på hvor stort standardavviket er, da eksperimenter med uttrekking har vesentlig høyere standardavvik enn nulltestene og eksperimentene med resirkulering.

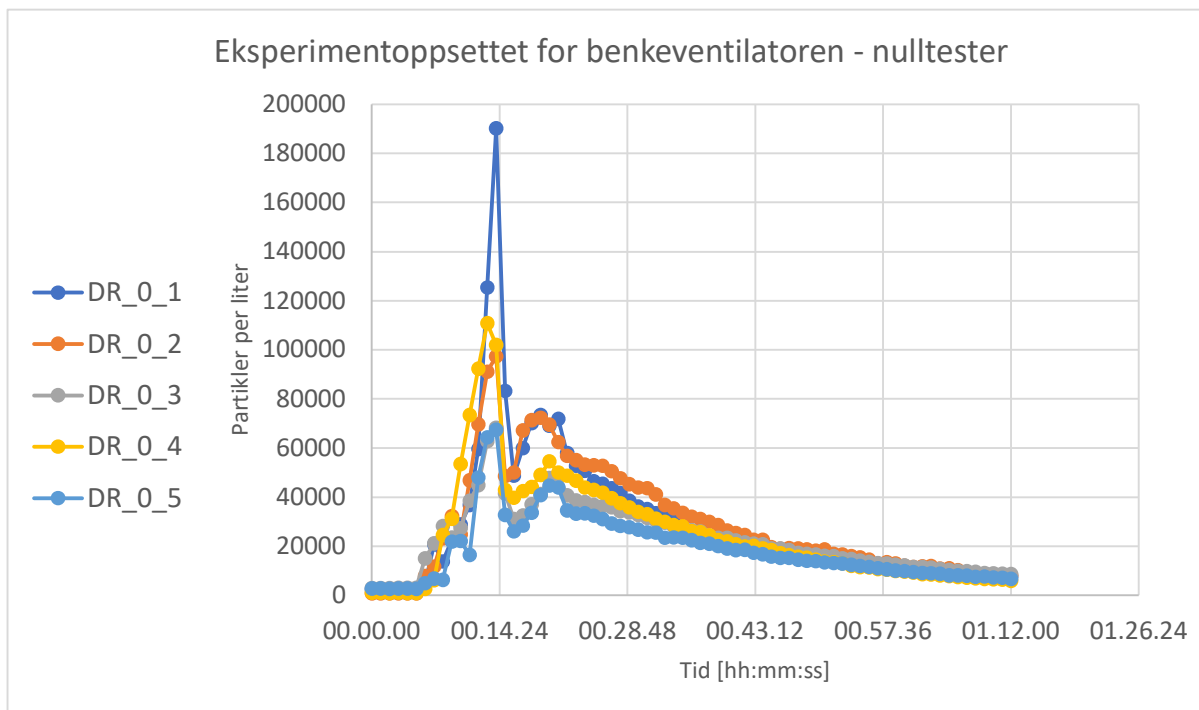
For pannehøyde-eksperimentene kan man se at den gjennomsnittlige temperaturen i laboratoriet var omtrent 2,5 °C over den gjennomsnittlige temperaturen for alle eksperimentene. Årsaken til dette er fordi det ble tilført et nytt måleinstrument som målte parallelt, som ikke var til stedet i de opprinnelige eksperimentene. Dette instrumentet hadde stor varmeavgivelse, som resulterte i en høyere romtemperatur. Temperaturen har i utgangspunktet ingen stor betydning for partikkel telling direkte. En økning i temperatur kan derimot føre til en reduksjon i relativ fuktighet, men som tabellen viser ser man at den relative fuktigheten lå omtrent nøyaktig

på den gjennomsnittlige verdien for relativ fuktighet. Dermed ble det antatt at denne temperaturøkningen ikke påvirket resultatene for osoppfangingssevne og eksponering signifikant.

Man så også store variasjoner i luftmengdene for grunnavtrekket, hvor den i enkelte repetisjoner hadde et bunnpunkt på 0 m³/h. Dette ble observert under eksperimentene og sannsynligvis er dette feilmålinger, da man målte helt klare luftbevegelser i kanalen ved avkastet for grunnventilasjonen. Hvorfor man erfarte slike variasjoner kan forklares ved at man antageligvis hadde for stor kanaldimensjon på avtrekkskanalen, da diameteren på denne var 160 mm. En luftmengde på 36 m³/h i en Ø160-kanal fører til en lufthastighet på 0,5 m/s, som kan føre til ustabile målinger. Dette kunne sannsynligvis vært unngått ved bruk av en mindre kanaldimensjon.

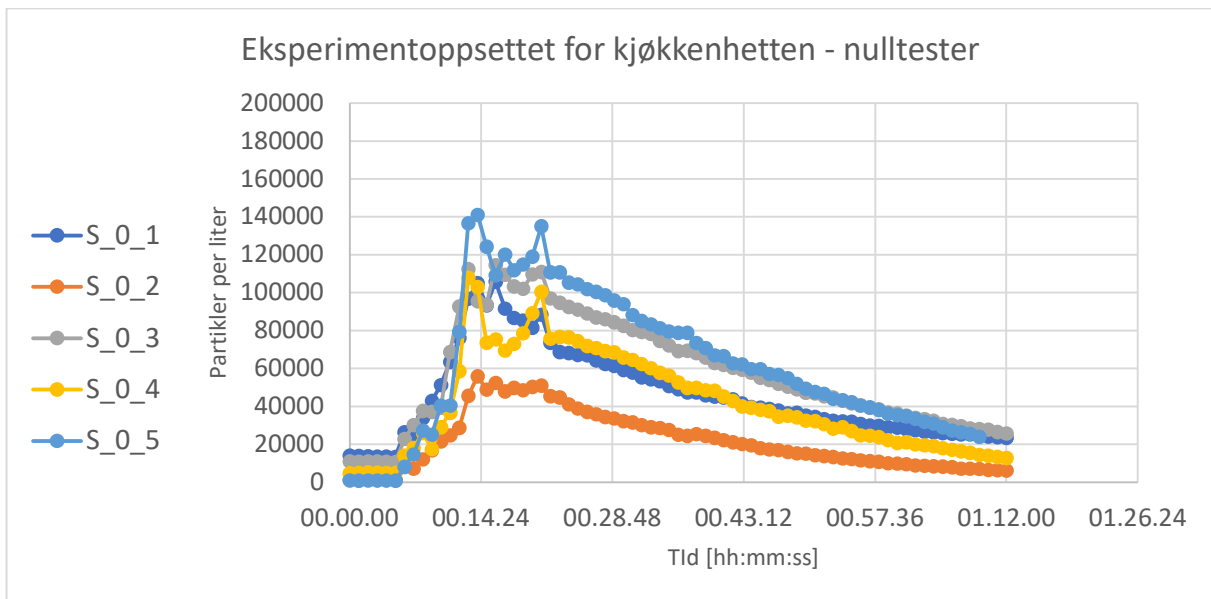
5.2. Nulltester

For å beregne osoppfangingssevnen ble det gjennomført eksperimenter hvor kjøkkenventilatoren var slått av, såkalte «nulltester». Nedenfor er resultatene fra nulltestene for benkeventilatoren. Resultatene er kun presentert for lokasjon 3, som gir et godt inntrykk av den gjennomsnittlige konsentrasjonen i rommet.



Figur 19: Samtlige repetisjoner av nulltesten for benkeventilatoren, målt med Aerotrak i grunnavtrekk for størrelsesfraksjon 0,3-2,5 µm (n=5)

Figuren ovenfor viser resultatene for samtlige repetisjoner av nulltesten for eksperimentene med benkeventilatoren slått av, med 60 sekunders normering.



Figur 20: Samtlige repetisjoner av nulltesten for kjøkkenhetten, målt med Aerotrak i grunnavtrekk for størrelsesfraksjon 0,3-2,5 μm . (n=5)

Figur 20 ovenfor viser resultatene fra repetisjonene for eksperimentene med kjøkkenhetten slått av, også her med 60 sekunders normering.

I disse figurene kan man se to topper i hvert forsøk, hvor den første toppen kommer fra steking av laks og det andre i forbindelse med steking av wok mixen. Man kan se at samtlige repetisjoner for begge kjøkkenventilator-oppsettene har et toppunkt ca. 18-19 minutter inn i forsøket, hvor D_0_1 har et toppunkt som er vesentlig høyere enn de andre repetisjonene, dette kan være en tilfeldighet eller mye bevegelse i forbindelse med snuing av fisken da punktene samsvarer godt med dette punktet i testprosedyren.

Den største forskjellen mellom disse to eksperimentoppsettene er hvor stor forskjell i partikelmengden er mellom oppsettene. For visse forsøk er det i gjennomsnitt opptil 3 ganger så mange partikler for kjøkkenhetten sammenlignet med benkventilatoren. Dette kan skyldes forskjell i temperaturen i pannen, som ble observert under eksperimentene. Det kan også skyldes ulik teknologi mellom de to koketoppene. Dette ble observert til tross for at det ble utført et innledende eksperiment hvor det ble dokumentert omtrent lik temperatur i pannen, se kap. 4.3.3.

Tabell 13: Gjennomsnittlig partikelmengde (#partikler/L) for samtlige repetisjoner

Oppsett	Gjennomsnittlige partikelmengde for repetisjoner (10^3)					Gjennomsnitt (10^3)	RSD%
	1	2	3	4	5		

Kjøkkenheten	45,8	21,7	57,3	41,6	60,0	45,3	33,7
Benkeventilatoren	28,4	29,0	23,0	25,3	19,1	25,0	16,4

Ut ifra tabellen kan man se at RSD er relativt stort for begge eksperimentoppsettene, dette kan tyde på at det er variasjoner i maten som tilberedes. Særlig kan fisken har store naturlige variasjoner av fettprosent og vanninnhold, som kan ha store påvirkninger i mengden avgitte partikler. En laksefilet med høyt vanninnhold antakeligvis vil gi større mengde partikler pga. fordampingen og vil detekteres av partikkeltellerne.

Som tabellen viser kan man se at den gjennomsnittlige partikkelmengden er vesentlig høyere for kjøkkenheten enn for benkeventilatoren. Oppsettet for kjøkkenheten har 81,4% høyere gjennomsnittlig partikkelmengden for nulltestene enn oppsettet for benkeventilatoren, men har dog et høyere relativt standardavvik som tyder på større variasjoner mellom repetisjonene. Årsaken til dette er vanskelig å definere, men variasjoner av tilført effekt fra koketoppen for kjøkkenheten kan være en mulig forklaring. En annen forklaring kan være, slik som nevnt tidligere, være variasjoner i maten. Sistnevnte er antageligvis mindre sannsynlig, da man da ville sett større variasjoner innad mellom repetisjonene for benkeventilatoren enn resultatene tilsier. En tredje forklaring kan være at det er interne forskjeller mellom koketoppen, da disse sannsynligvis ikke har samme teknologi på bakgrunn av at de er produsert av ulike produsenter.

Angående pannetemperatur ble det under eksperimentene, ved 20 sekund før fisken og wok mixen, målt temperaturen i stekepannene. Der ble det erfart store variasjoner mellom hver repetisjon i tillegg til en stor forskjell på temperaturen på stekepannene mellom koketoppene og iht. O'Leary et al. (2019) har pannetemperaturen innvirkning på emisjonsrate. Dette bygger opp under hypotesen om at det kan ha vært ulik tilførsel av energi mellom de to eksperimentoppsettene. Dette er i så fall en systematisk feil som kan ha påvirkning på antall avgitte partikler, og må tas i betraktning. Denne forskjellen gjelder for samtlige eksperimenter og påvirker resultatene.

5.3. Osoppfangingssevne

I dette delkapittelet blir resultatene fra beregnet gjennomsnittsverdi av osoppfangingssevne med tilhørende standardavvik for samtlige løsninger presentert og diskutert. Disse resultatene er korrigerert for bakgrunnsnivåer, så verdiene er endret eller påvirket på bakgrunn av dette. Samtlige verdier er hentet fra Aerotrak for lokasjon 3. Forskjellen på osoppfangingssevne til kokk og gjest er forklart i kap. 4.5.

Tabellen nedenfor viser deskriptiv statistikk for samtlige eksperimenter med gjennomsnittsverdi, standardavvik, min.- og maks. verdier. Verdiene er beregnet for eksperimentene med samtlige repetisjoner. Osoppfangingssevnen for hvert eksperiment er den gjennomsnittet av osoppfangingssevnen for samtlige

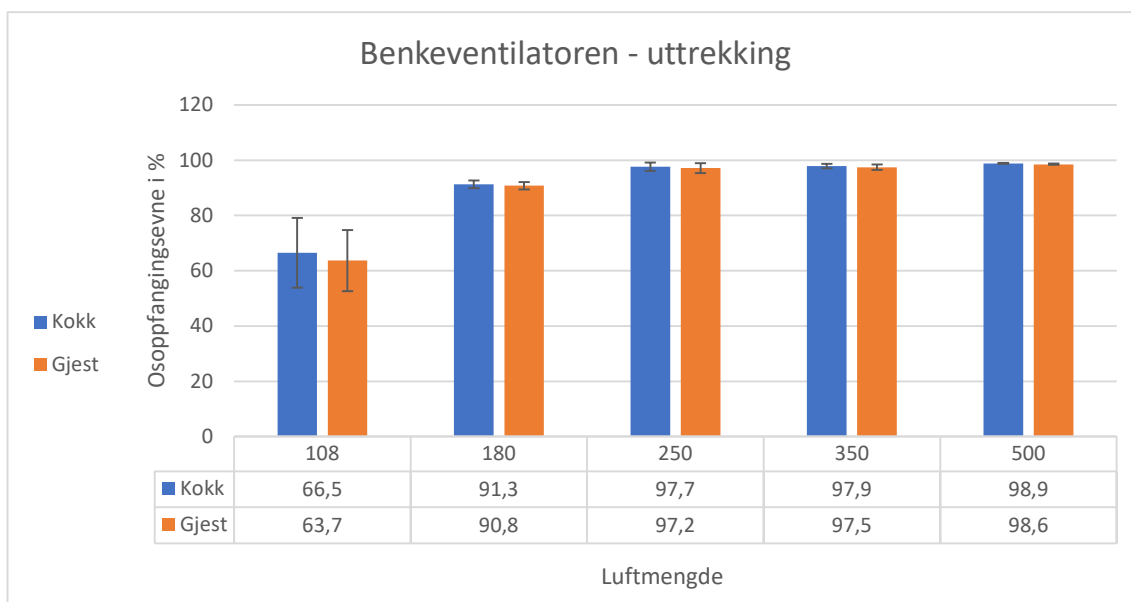
kombinasjoner av repetisjoner. Maks. og min.-verdier er den høyeste og laveste beregnede osoppfangingsvevnen fra alle kombinasjoner av repetisjoner. Se nærmere forklaring i kap. 4.9.

Tabell 14: Oppsummering av osoppfangingsvevne for benkeventilatoren og kjøkkenheten.

Oppsummering av osoppfangingsvevne				
Luftmengde	Uttrekking		Resirkulering	
	Benkeventilatoren	Kjøkkenheten	Benkeventilatoren	Kjøkkenheten
108 (n=3)	66,7 ± 12,6 (84,8 , 45,2)	71,1 ± 14,3 (86,6 , 35,0)	41,3 ± 9,1 (53,9 , 20,2)	-21,0 ± 54,5 (38,6 , -134,3)
180 (n=2)	91,3 ± 1,4 (93,4 , 88,5)	79,9 ± 8,9 (88,3 , 64,0)	Ikke testet	Ikke testet
250 (n=3)	97,7 ± 1,5 (99,1 , 94,9)	68,6 ± 27,5 (93,4 , -6,0)	4,7 ± 42,7 (52,4 , -79,7)	-59,3 ± 79,3 (30,6 , -250,0)
350 (n=3)	97,9 ± 0,8 (99,1 , 96,6)	91,2 ± 4,5 (96,6 , 81,7)	-28,1 ± 65,3 (62,5 , -125,6)	-32,2 ± 75,1 (47,8 , -231,9)
500 (n=3)	98,9 ± 0,2 (99,2 , 98,4)	Ikke testet	43,0 ± 28,4 (76,5 ± -12,5)	Ikke testet

5.3.1. Osoppfangingsvevne for benkeventilatoren - uttrekking

I Figur 21 nedenfor er resultatene fra eksperimentene med benkeventilatoren med uttrekking presentert. Utfyllende data er i vedlegg D.



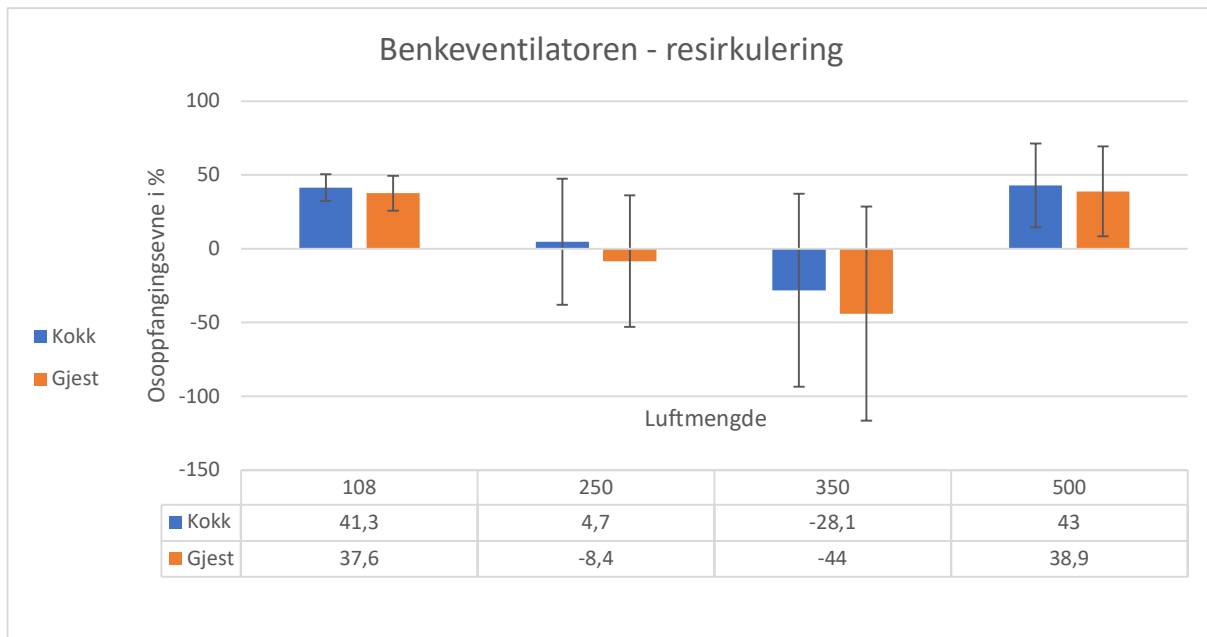
Figur 21: Gjennomsnittlig osoppfangingsvevne for benkeventilatoren - uttrekking

Som man kan se fra figuren er luftmengden fra TEK17-kravet (108 m³/h) den luftmengden som gir dårligst osoppfangingssevne på 66,5% for kokken. Denne har i tillegg den største usikkerheten sammenlignet med de andre luftmengdene, på ± 12,6%. Endringen i osoppfangingssevne ved å øke luftmengden fra 250 til 500 m³/h er marginal, hvor man får en økning på 1,2%. Det er også verdt å merke at man får veldig lite standardavvik desto høyere luftmengden er, dette fordi man trolig har relativt like repetisjoner som kan tyde på gode resultater.

Resultatene indikerer at benkeventilatoren har en god osoppfangingssevne ved luftmengder høyere en TEK17-kravet. Resultatene for 350 m³/h samsvarer bra med produsentens egen rapport, hvor de fikk en beregnet osoppfangingssevne på 96,8 % ved 350,1 m³/h gjort iht. DS/EN 61591:1997 [62].

5.3.2. Osoppfangingssevne for benkeventilatoren – resirkulering

Resultatene fra eksperimentene for benkeventilatoren i resirkulerende modus er presentert nedenfor i Figur 22. Utfyllende data ligger i vedlegg D



Figur 22: Gjennomsnittlig osoppfangingssevne for benkeventilatoren – resirkulering

Fra figuren kan man se at det er negative verdier for eksperimentene med 250 og 350 m³/h, som indikerer at det genereres flere partikler med kjøkkenventilatoren på. Dette er noe som kan virke ulogisk, da man kanskje forventer en positiv effekt pga. kullfilteret. En mulig forklaring på denne effekten er at den høye lufthastigheten ut fra filteret skaper mye turbulens i rommet, som kan føre til oppvirvling av partikler som i utgangspunktet ligger parat på ulike overflater i rommet. Dette kan medføre en kunstig økning av luftbårne partikler i rommet og gjør det vanskelig å anslå i hvor stor grad kullfilteret fungerer. Det er også viktig å ta i betraktning at filtreringseffektiviteten til kullfilteret sannsynligvis reduseres med økende luftmengde. Man ser en reduksjon

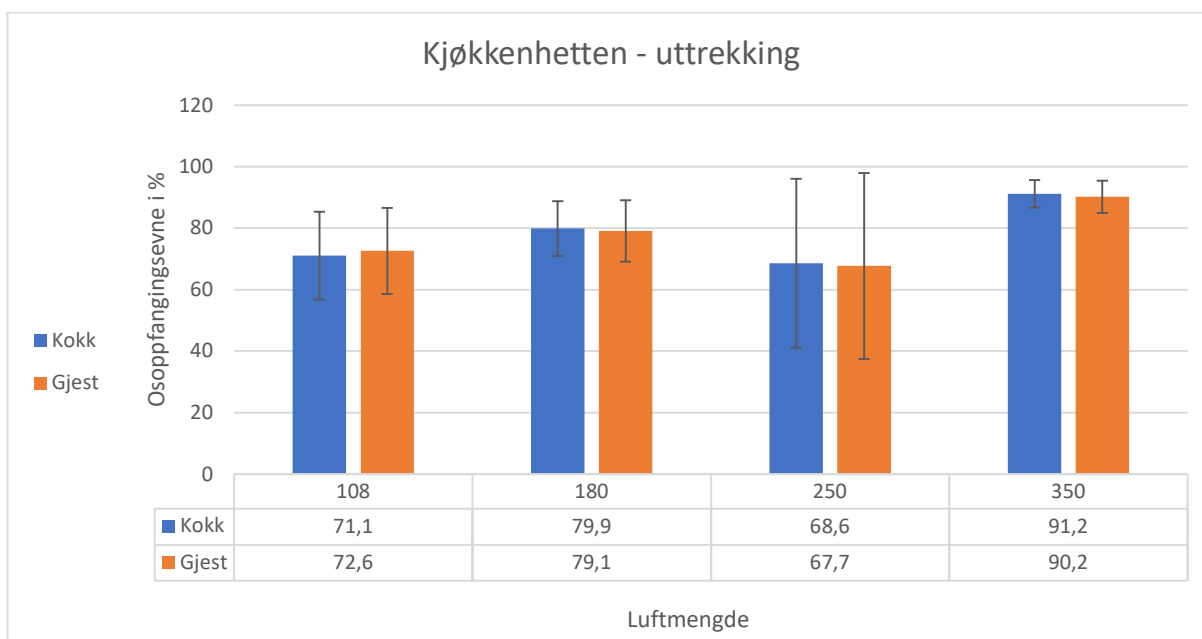
av osopffangingssevnen ved økning i luftmengde frem til 350 m³/h, men får en positiv osopffangingssevne igjen ved 500 m³/h. Dette kan skyldes at den luften som føres gjennom filteret returnerer tilbake til ventilatoren og blir på nytt filtrert, denne effekten kan være repetert flere ganger i løpet av tiden hetten er på avhengig av luftmengden. Man ser også at standardavvikene for de forskjellige luftmengdene er relativt store, dette tyder på at det er mye variasjoner mellom repetisjonene og dermed usikkerhet. Meleika et al. [34] observerte også store usikkerheter i forbindelse med testing av en resirkulerende kjøkkenhette.

Man har dermed antageligvis flere, både eksterne og interne, faktorer her som påvirker osopffangingssevnen positivt og negativt. På en side har man effekten hvor partikkelkonsentrasjonen i luften øker med luftmengde, men denne effekten er ikke nødvendigvis lineær og øker ikke nødvendigvis uendelig. Den positive effekten er at en økning i luftmengde fører til at den samme luften blir filtrert gjentatte ganger i løpet av perioden kjøkkenheten er på.

Plasseringen av utløpet fra ventilatoren er også antageligvis lite gunstig, da denne er plassert på gulvet og er rettet mot senter av rommet. Sannsynligvis er gulvet hovedkilden til bidraget i partikler da gulvet er den største horisontale overflaten. Det kan også være verdt å nevne at man også får en Coanda-effekt, fordi utløpet ligger helt ved gulv og er rettet parallelt med gulvet. Dette kan medføre en vesentlig økning i lufthastighet. Så dette kan føre til en større mengde oppvirlende partikler, enn hvis plasseringen hadde eksempelvis vært ved tak eller bak kjøkkenbenken, og samtidig unngå at luftstrålen får direkte kontakt med overflater.

5.3.3. Osopffangingssevne for kjøkkenheten – uttrekking

I Figur 23 nedenfor er resultatene fra eksperimentene for den tradisjonelle kjøkkenheten med uttrekking. Resultatene er presentert for osopffangingssevnen for kokken og for gjesten hver for seg, gjesten ankommer kjøkkenet på et senere tidspunkt enn kokken, altså når maten er ferdig. Utfyllende data ligger i vedlegg D.

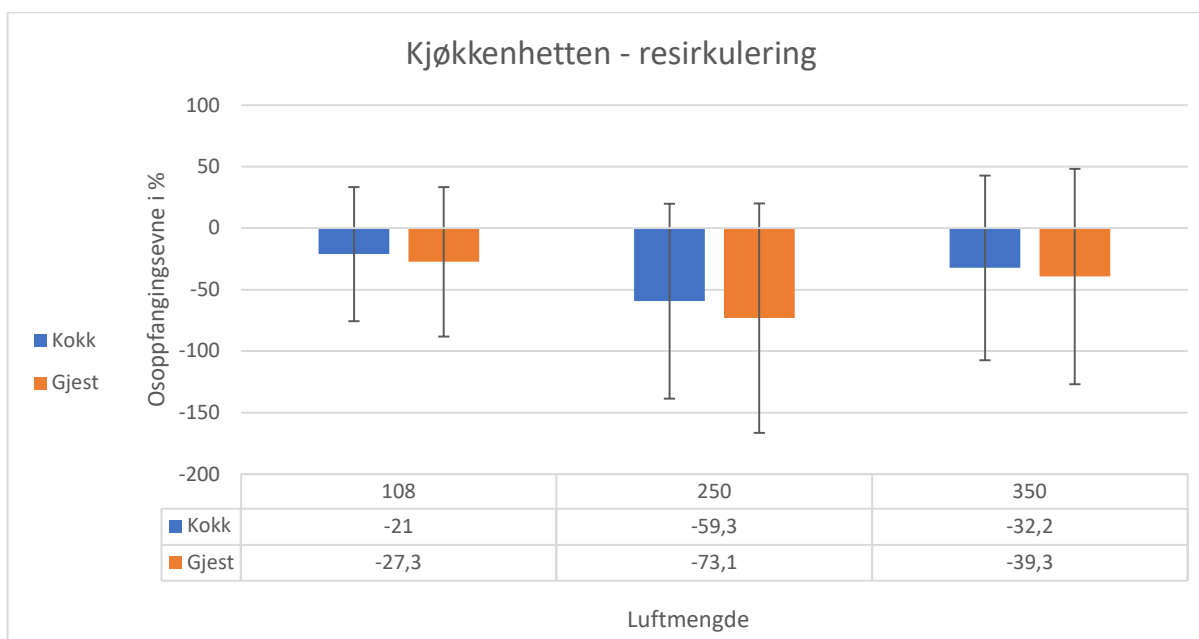


Figur 23: Gjennomsnittlig osoppfangingssevne for kjøkkenheten - uttrekking ved ulike luftmengder

Slik man ser fra figuren kan man se at ved 108 m³/h har den tradisjonelle kjøkkenheten en osoppfangingssevne på 71,1% for hele eksperimentperioden. Ved 350 m³/h, altså maksimal luftmengde, hadde den en gjennomsnittlig osoppfangingssevne på 91,2%. Det er for alle luftmengdene liten forskjell på osoppfangingssevnen for gjesten sammenlignet med kokken. Man ser at det er en relativt jevn økning i osoppfanging i forhold til luftmengde, bortsett fra for testene med 250 m³/h. Denne testen et forholdsvis stort standardavvik på ± 27,5 %. Ved nærmere undersøkelse på repetisjonene for disse eksperimentene ble det funnet at den ene repetisjonen hadde mye høyere partikkelkonsentrasjoner enn de to andre repetisjonene, årsaken til dette kan være naturlig variasjon i fiskens fettprosent og vannmengde som kan medføre høyere utslipp av partikler under matlagingen. For å se hvor stor effekt denne repetisjonen har på det gjennomsnittlige resultatet ble det valgt å fjerne denne repetisjonen (dette ble kun gjort for å illustrere hvor stor innvirkning denne repetisjonen har). Dette resulterte i en osoppfanging for kokken og gjesten på 83,3% og 83,7% respektivt. Standardavviket endret seg også til 9,6 og 9,8% for kokken og gjesten. Dette er resultater som samsvarer bedre med trenden mellom eksperimentene på 108, 180 og 350 m³/h, men det ble valgt å inkludere denne repetisjonen til tross for at resultatene antageligvis blir noe mer unøyaktige.

5.3.4. Osoppfangingssevne for kjøkkenheten – resirkulering

I Figur 24 nedenfor er resultatene for den tradisjonelle kjøkkenheten i resirkulerende modus. Utfyllende data ligger i vedlegg D



Figur 24: Gjennomsnittlig osoppfangingssevne for kjøkkenheten – resirkulering

Resultatene viser at samtlige gjennomsnittlige verdier er negative verdier for osoppfangingssevne. Dette er resultater som samsvarer til en viss grad med resultatene for benkeventilatoren i resirkulerende modus. Også her har man antageligvis en effekt, som konsekvens av stor luftturbulens i rommet, som fører til mye oppvirvling av støv på diverse overflater. Forskjellen på disse verdiene sammenlignet med benkeventilatoren er at alle verdiene her er negative, hvor benkeventilatoren også hadde positive verdier for osoppfangingssevne for største og minste luftmengde. Man ser en trend som er forholdsvis lik som den for benkeventilatoren, hvor osoppfangingssevnen reduseres fra 108 m³/h til 250 m³/h. Den øker igjen fra 250 til 350 m³/h. Dette er lignende trend som benkeventilatoren hadde. Sannsynligvis er årsaken også her tilsvarende, hvor man får en økende partikkelkonsentrasjon i rommet med økende luftmengde, men som har en ikke-lineær økning som avtar sannsynligvis ved økende luftmengde. Dette kombinert med at luften filtreres gjentatte ganger på bakgrunn av økende luftmengder, kan være årsaken til at man igjen får en økning i osoppfangingssevne etter et visst punkt. Her altså 250 m³/h. Man må også her ta i betraktning en reduksjon av filtereffektivitet ved høyere luftmengder, som påvirker negativt på osoppfangingssevnen.

I likhet med benkeventilatoren ser man store usikkerheter for eksperimentene. Man kan på bakgrunn av disse resultatene stille spørsmål ved om metoden som er benyttet for å beregne osoppfangingssevne i denne oppgaven ikke er passende for resirkulerende løsninger for kjøkkenhetter, da man får stor turbulens i rommet som fører til en kunstig økning i partikkelkonsentrasjon og medfører negative verdier for beregnet osoppfangingssevne.

Under eksperimentene ble det observert store forstyrrelser på den termiske plumen fra matlagingen, da man se en forskyvning av plumen på bakgrunn av luftforstyrrelser. Årsaken til dette kan være at man får stor luftturbulens i rommet på grunn av at luften sirkuleres i rommet. Dette er noe som kan føre til uheldige

luftstrømmer over koketoppen og ha stor påvirkning på kjøkkenhettens evne til å fange opp matosen. Lv et al. [32] undersøkte menneskers gangmønstres effekt på spredningen av forurensninger. De fant at osopffangingssevnen ble redusert med inntil 50% når mennesker gikk forbi kjøkkenheten parallelt med kjøkkenbenken. Dette indikerer at slike forstyrrelser kan påvirke osopffangingssevnen til kjøkkenheter. Hvor stor betydning og påvirkning denne effekten har på eksperimentene som ble utført i denne oppgaven er vanskelig å kvantifisere, men det er på bakgrunn av disse studiene grunnlag for å tro at en viss påvirkning er realistisk.

Det ble valgt å undersøke denne hypotesen nærmere vha. en røykmaskin. Røykmaskinen ble plassert ca. 1,5 meter bak lokasjon 1. Testen ble utført ved en luftmengde på 350 m³/h.

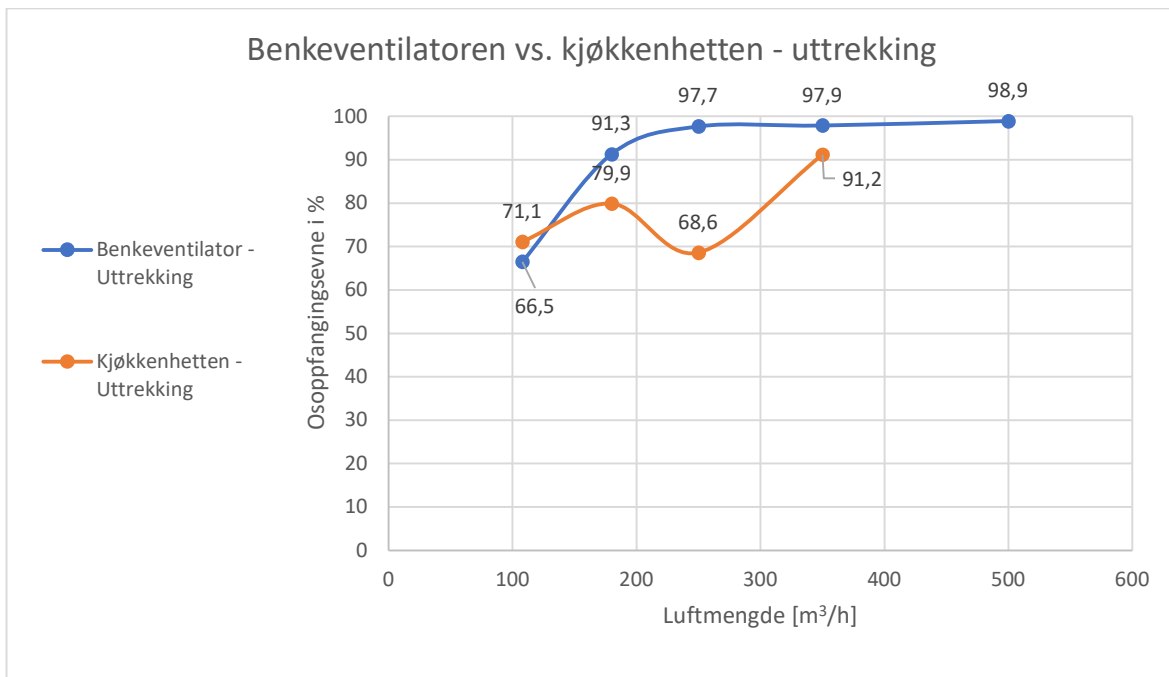


Figur 25: Bilder av resultatene fra røykmaskintesten

Figur 25 viser resultatene fra røykmaskintesten. De røde pilene indikerer den generelle retningen røyken beveger seg i. Resultatene bekrefter at man har en luftbevegelse bort fra kjøkkenheten i retningen av avkastet fra kjøkkenheten under gitte forutsetninger, dette samsvarer godt med de observasjonene som ble gjort. Dette har trolig en effekt på kjøkkenhettens osopffangingssevne.

5.3.5. Sammenligning av osopffangingssevne for «uttrekking»

I Figur 26 nedenfor er en sammenligning av resultatene hentet fra 5.3.1 og 5.3.3 ovenfor. Figuren viser kun trendlinjene fra disse resultatene og inkluderer ikke standardavviket for illustrasjonens skyld. Utfyllende data ligger i vedlegg D.

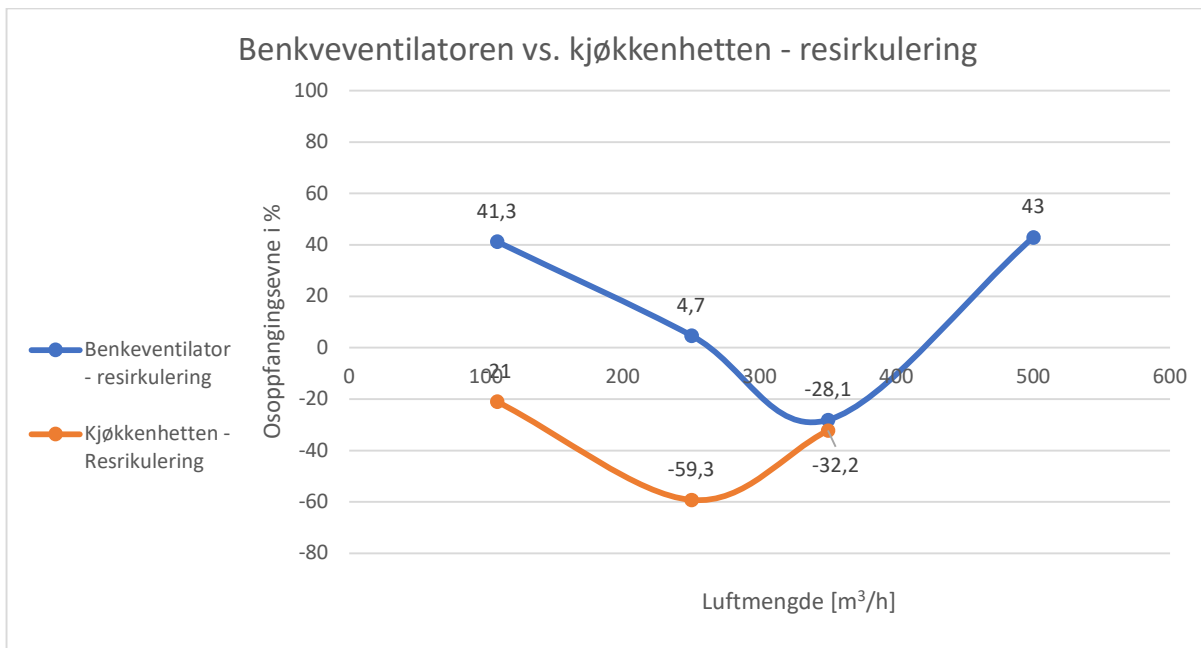


Figur 26: Sammenligning av benkeventilatoren og den tradisjonelle kjøkkenhetten (uttrekking)

Resultatene fra benkeventilatoren gir en logisk økende osopptfangingssevne ved økning i luftmengder, i motsetning til kjøkkenhetten. Benkeventilatoren får en kurve hvor osopptfangingssevne øker med økt luftmengde, men man ser ingen stor forbedring ved luftmengder over 250 m³/h, hvor man da har en beregnet osopptfangingssevne på 97,7 %. En dobling i luftmengden, altså 500 m³/h gir kun en økning i ytelse på 1,2 %, så det er grunnlag for å si at det kan være unødvendig med høyere luftmengder enn 250 m³/h. Det er viktig å ta i betraktning at disse beregningene er gjort med en stekepanne med en høyde på 5 cm, og en økning i denne kan ha stor innvirkning på beregnet ytelse. Resultatene indikerer at ved lav luftmengde har benkeventilatoren en dårligere evne til å fange opp matos direkte fra stekepannen sammenlignet med kjøkkenhetten. Generelt indikerer resultatene at benkeventilatoren har en gjennomsnittlig bedre ytelse enn kjøkkenhetten ved gitte forutsetninger. Man kan se fra figuren at det eneste punktet hvor den tradisjonelle kjøkkenhetten er bedre enn benkeventilatoren er ved 108 m³/h (TEK17-kravet). Dette kan ha bakgrunn i at siden lufthastigheten er største drivkraft for benkeventilatoren så sliter benkeventilatoren når luftmengden går under et visst nivå i forhold til avstanden/høyden på stekepannen. For at benkeventilatoren skal være effektiv i å fange opp matos, er det viktig at den har tilstrekkelig lufthastighet/kraft mot ventilatoren slik at den overviner den termiske oppdriftskraften som blir produsert ved matlagingen.

5.3.6. Sammenligning av osopptfangingssevne for resirkulerende kjøkkenventilatorer

Figur 27 nedenfor viser en sammenligning av resultatene fra eksperimentene for kjøkkenventilatorene i resirkulerende modus. Utfyllende data ligger i vedlegg D.



Figur 27: Sammenligning av benkeventilatoren og den tradisjonelle kjøkkenhetten (resirkulering)

Som resultatene viser, ser man at man får like trender for osoppfangingsevne. Fra 108 m³/h og til 250 m³/h har man for begge ventilatorene synkende trender. Forskjellen mellom disse to oppsettene er tidspunktet man får bunnpunktet og kurven får en økende trend igjen. Ved 350 m³/h får man nesten lik verdi for osoppfangingsevne. Det er viktig å ta betraktning standardavviket her da dette varierer fra 9,1%-65,3% for eksperimentene med benkeventilatoren og 54,5%-79,3% for kjøkkenhetten. Disse verdiene medbringer dermed vesentlig usikkerhet i osoppfangingsevne. Årsaken til dette kan knyttes mot hypotesen rundt oppvirvling av partikler, da dette kan variere og tilfeldigheter kan forklare hvorfor det er stor variasjon i repetisjonene av hvert eksperiment.

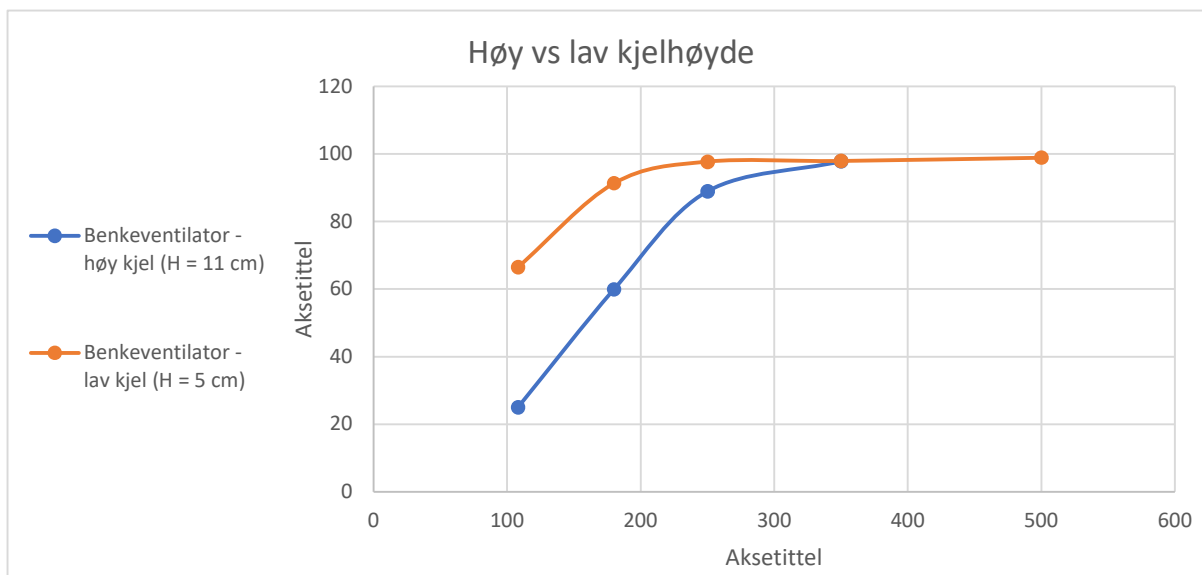
Hvis man ser bort fra RSD og kun ser på gjennomsnittlige verdier, viser resultatene at benkeventilatoren har bedre ytelse enn kjøkkenhetten uavhengig av luftmengde for resirkulering. Det er kun ved 350 m³/h at det er omtrent like verdier. Siden kjøkkenhetten hadde en maksimal kapasitet på 327 m³/h i resirkulerende modus, mangler man informasjon på hvordan resultatene ville endret seg hvis man hadde mulighet til å teste denne ved en luftmengde på 500 m³/h, da man kanskje ville sett verdier som var litt mer like.

Hva som påvirker denne endringen i osoppfangingsevne og en ganske lineær økning deretter er vanskelig å forklare. En mulig forklaring på hvorfor man får disse negative trendene i utgangspunktet kan, som diskutert tidligere i kap. 5.3.2, forklares med oppvirvling av støv.

5.4.7 Pannehøyde

Tilleggstester ble kjørt for å se nærmere på effekten på osoppfangingsevnen til benkventilatoren ved å øke avstanden fra avtrekkspunktet til kanten av pannen hvor matlagingen foregår. I Figur 28 nedenfor er resultatene

fra eksperimenter utført med de opprinnelige stekepannene ($H = 5 \text{ cm}$) som ble benyttet i samtlige eksperimenter i forhold til to eksperimenter utført med en høyere panner ($H \approx 11 \text{ cm}$). Luftmengdene som ble testet for høy kjel var 108 (TEK17-krav), 180, 250 og $350 \text{ m}^3/\text{h}$. Utfyllende data ligger i vedlegg D.



Figur 28: Høy vs. lav kjelhøyde på benkeventilatoren - uttrekking

Resultatene viser at en høyere kjel påvirker osopffangsevnen negativt ved luftmengder under $350 \text{ m}^3/\text{h}$. Den største forskjellen er ved $108 \text{ m}^3/\text{h}$, hvor osopffangsevnen for lav kjelhøyde var beregnet til 66,5% i forhold til 25,0% for eksperimentene med høy kjelhøyde ved $108 \text{ m}^3/\text{h}$. Effekten ved $350 \text{ m}^3/\text{h}$ gir i motsetning omtrent den samme verdien som for stekepannen. Det kan se ut som om verdiene for osopffangsevne konvergerer ved $350 \text{ m}^3/\text{h}$, men det er vanskelig å si om resultatet ville endret seg hvis man hadde testet effekten ved $500 \text{ m}^3/\text{h}$. Det ser ut til at en økning i kjelhøyde medfører en reduksjon i osopffangsevne, hvorvidt det faktisk reduseres avhenger av luftmengde og avstand fra avtrekkspunktet.

Fra formel (12) fra kap. 4.8 kan man beregne hastigheten i et punkt ved en gitt avstand fra avtrekkspunktet. Formelen viser at lufthastigheten reduseres eksponentielt med økende avstand fra avtrekkspunktet. For eksperimentene med $108 \text{ m}^3/\text{h}$ ble det målt en økning i avstand fra 8 cm til 18,5 cm, dette gir en beregnet lufthastighet på 0,47 m/s og 0,11 m/s respektivt, som betyr en reduksjon i lufthastighet på ca. 77%. Dette kan være hovedforklaringen på hvorfor osopffangsevnen for eksperimentet for høy kjelhøyde var betydelig lavere enn for lav kjelhøyde for $108 \text{ m}^3/\text{h}$. Dette har sammenheng med at benkeventilatorens evne til å fange opp matos avhenger i stor grad av luftmengde og avstand.

Dette er resultater som vil være en stor faktor ved vurderingen av hvilken løsning og hvilke luftmengder som anbefales for hver løsning.

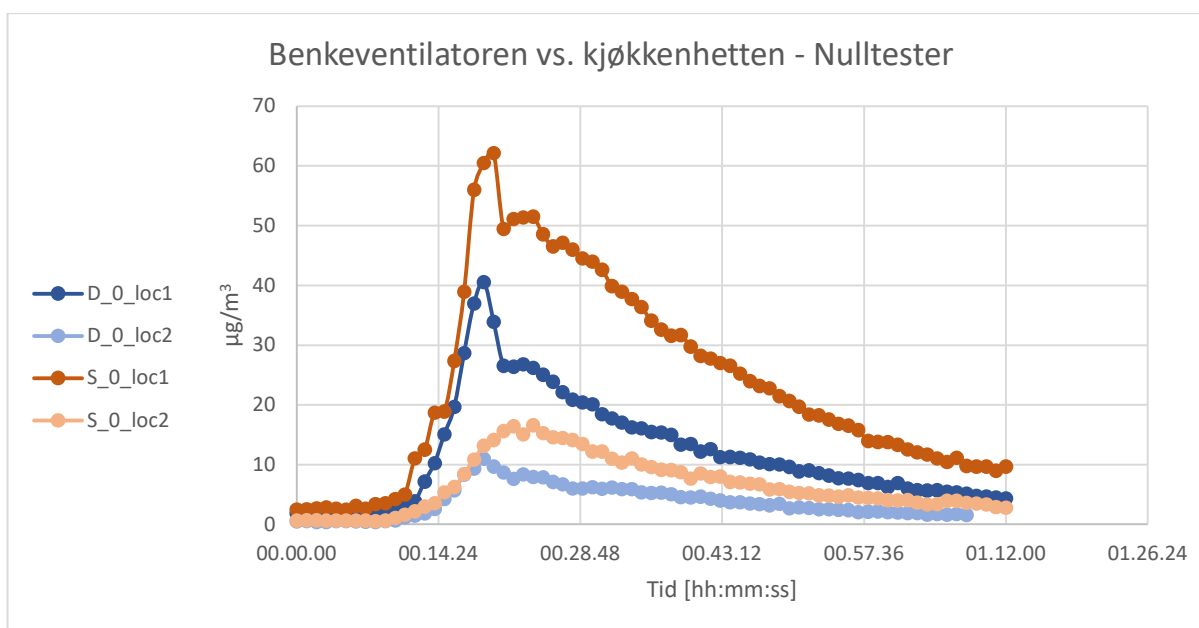
5.4. Eksponering

I dette delkapittelet blir resultatene fra eksponeringen fra matlagingen presentert og diskutert.

Hensikten er å undersøke eksponeringen av $PM_{2.5}$ for benkeventilatoren sammenlignet med kjøkkenheten, for kokken (lokasjon 1) og gjesten (lokasjon 2). Disse resultatene er ikke korrigert for bakgrunnsnivåer, så verdiene er ikke endret eller påvirket på noen annen måte. Samtlige verdier er hentet fra Grimm 11-D (lokasjon 1) og Grimm 1.108 (lokasjon 2).

5.4.1. Eksponering ved nulltester

Figur 29 nedenfor viser gjennomsnittsverdiene fra samtlige repetisjoner av nulltestene (n=5), som ble utført for benkeventilatoren (D_0) og den tradisjonelle kjøkkenheten (S_0).



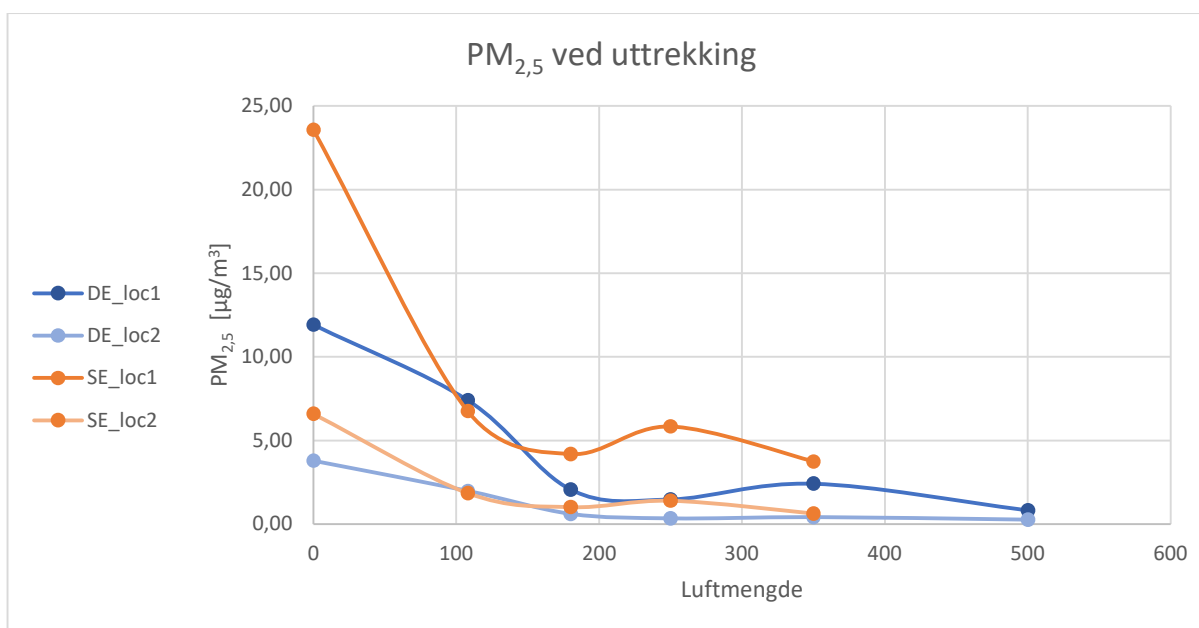
Figur 29: Beregnet gjennomsnittsverdi $PM_{2.5}$ massekonsentrasjon for nulltest ved lokasjon 1 og 2, med kjøkkenventilatorene av.

Som vist i figuren, eksponeringen ved lokasjon 2 er betydelig lavere enn ved lokasjon 1 når kjøkkenventilatorene er av. Årsaken til dette har sannsynligvis med den termiske oppdriftskraften fra matlagingen å gjøre. Under matlagingen stiger partiklene med varmen og ligger trolig høyt i rommet. Noe av partiklene vil da plukkes opp direkte av grunnavtrekket og ikke blande seg med rommet. Lokasjon 2 måles ved en høyde på 1,1 m, så basert på dette vil verdiene sannsynligvis være lavere. Lokasjon 2 er også lengre unna lokasjon 1 i forhold til emisjonskilden. En av årsakene kan skyldes instrumentfeil, da GRIMM 1.108 ved lokasjon 2 er gammel og har ikke vært kalibrert siden 2015.

Resultatene viser ifølge figuren en relativt stor forskjell i absolutte verdier mellom de to oppsettene. Ved maks. verdi ved lokasjon 1 har man for kjøkkenheten en maksimal verdi på ca. $62 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mens man for benkeventilatoren har ca. $40,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Dette er tester hvor det var kun grunnventilasjon, så årsaken til den store forskjellen i partikler kan ha flere forklaringer; forskjell i tilført energi under matlagingen, med andre ord forskjellig temperatur i stekepannen. Variasjoner i maten som tilberedes kan også være en bidragende faktor, f.eks. fettmengde eller vannmengde i maten. Nærmere diskutert ovenfor i kap. 5.2.

5.4.2. Eksponering ved uttrekking

I Figur 30 ser man resultatene fra samtlige eksperimenter for konsentrasjonen av $\text{PM}_{2,5}$ for benkeventilatoren og den tradisjonelle kjøkkenheten. Dette er gjennomsnittlige verdier, sett bort fra RSD. Utfyllende data ligger i vedlegg E.



Figur 30: Gjennomsnittlig konsentrasjon av $\text{PM}_{2,5}$ ved uttrekking for benkeventilatoren og kjøkkenheten

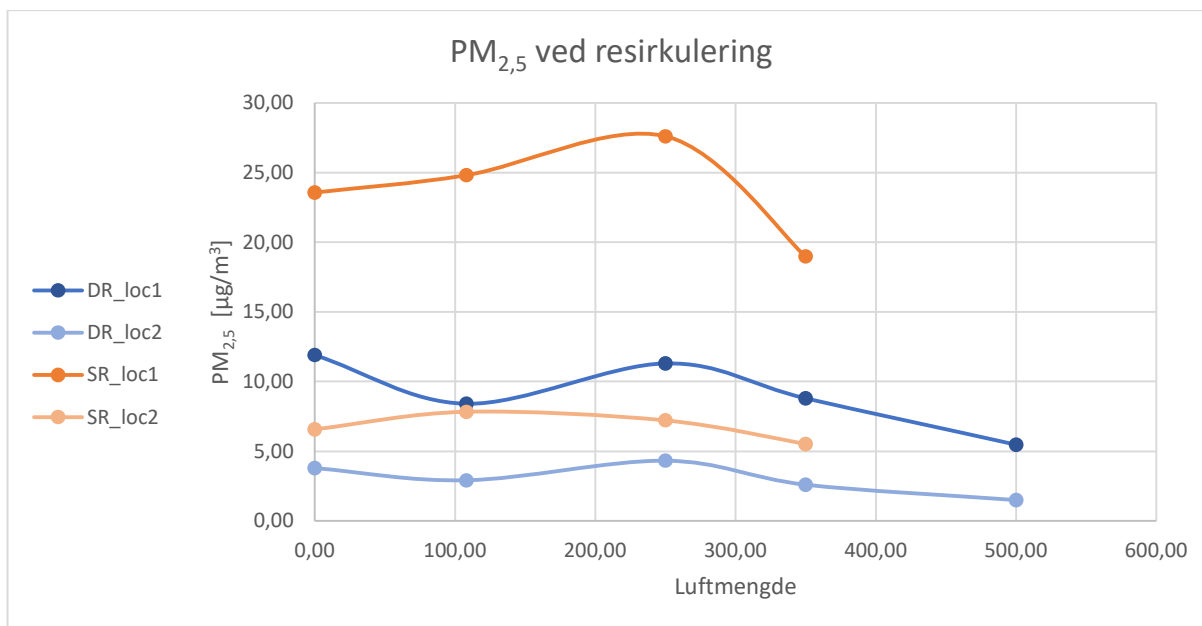
Ekspementene med $108 \text{ m}^3/\text{h}$ (TEK17-krav) gir den største gjennomsnittlige konsentrasjonen av $\text{PM}_{2,5}$. Generelt er verdiene relativt like, men det er et toppunkt i konsentrasjonen for benkeventilatoren ca. 21 minutter inn i eksperimentene (se vedlegg E), som er ifølge testprosedyren når maten flyttes til bordet (lokasjon 2), dette toppunktet korresponderer med toppen i grafen for lokasjon 2.

Resultatene for eksperimentene ved $250 \text{ m}^3/\text{h}$ viser en markant forskjell mellom de to kjøkkenventilatorene, hvor benkeventilatoren fører til vesentlig mindre eksponering enn den tradisjonelle kjøkkenheten. For benkventilatoren kan man se i vedlegg E at konsentrasjonene faller jevnt gjennom eksperimentene, dette er spesielt tydelig for eksperimentene ved 350 og $500 \text{ m}^3/\text{h}$, som illustrert i Figur 40 og Figur 41. Dette er noe som kan forklares ved at den store avtrekks- og tilluftsluftmengden bidrar til å fjerne og tynne ut bakgrunnskonsentrasjonen i rommet.

Man ser også en del forstyrrelser eller støy tidligere i eksperimentene for kjøkkenheten for samtlige eksperimenter, dette er antageligvis noe som er et resultat av luftbevegelser fra eksterne faktorer. Et eksempel på en mulig faktor er luftbevegelser som skapes når testansvarlig beveger seg fra den ene siden av koketoppen til den andre, parallelt med kjøkkenbenken. Slike bevegelser kan skape et lokalt undertrykk som drar luften fra området over koketoppen mot den som beveger seg. Dette er noe som kan ha stor påvirkning i kjøkkenhettens evne til å fange opp matosen. Fenomenet er støttet av litteraturen, hvor Lipeng Lv et al. [32] fant en reduksjon på opptil 50% når mennesker gikk forbi kjøkkenheten parallelt med kjøkkenbenken. Kurvene som er vist for lokasjon 1 er et gjennomsnitt av tre repetisjoner av samme eksperiment, så disse forstyrrelsene er tydeligere når man ser på hver repetisjon isolert. Årsaken til at disse forstyrrelsene kun oppstår hos kjøkkenheten er antageligvis i forbindelse med at den er montert 60 cm over koketoppen. Konsekvensen av dette er at bevegelser i luften enkelt kan påvirke retningen på matosen mens den stiger opp mot kjøkkenheten. Slike forstyrrelser unngår man i en større grad med benkeventilatoren. Årsaken til dette er at man fjerner matosen direkte ved kilden og er dermed ikke frittsvevende, som gjør den mindre utsatt for forstyrrelser.

5.4.3. Eksponering ved resirkulering

Figur 31 viser resultatene fra samtlige eksperimenter for konsentrasjonen av $PM_{2,5}$ for benkeventilatoren og den tradisjonelle kjøkkenheten ved resirkulerende modus. Dette er gjennomsnittlige verdier, sett bort fra RSD. Verdiene er hentet fra vedlegg E.



Figur 31: Gjennomsnittlig konsentrasjon av $PM_{2,5}$ ved resirkulering for benkeventilatoren og kjøkkenheten

For samtlige luftmengder ser man en vesentlig forskjell i konsentrasjonen av $PM_{2,5}$ for benkeventilatoren og kjøkkenheten. Disse resultatene var overraskende, ettersom det i utgangspunktet forventes at konsentrasjonen

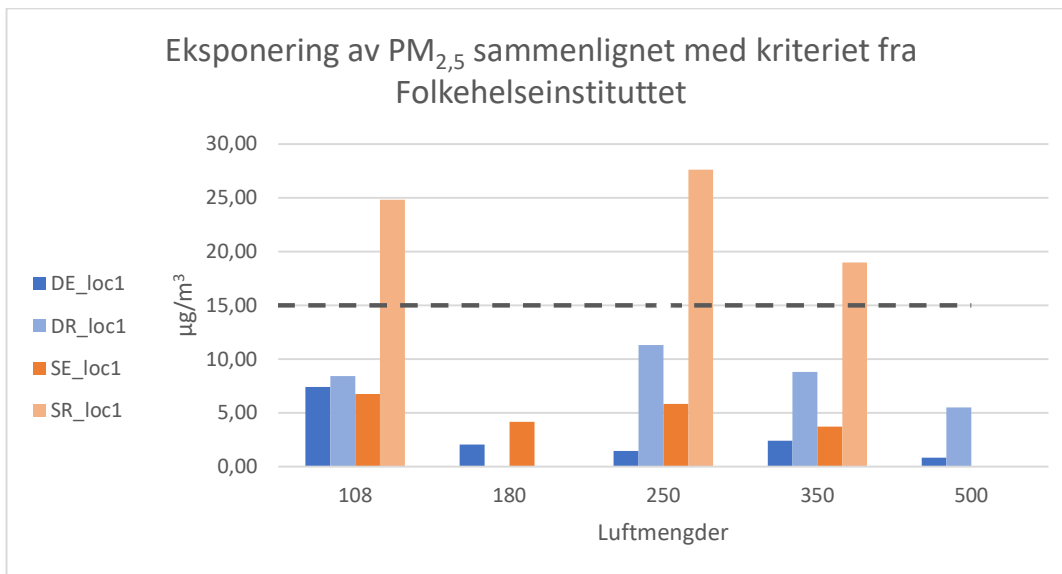
vil være vesentlig lavere enn nulltestene, på grunn av at luften blir filtrert gjennom et kullfilter. Dette funnet kommer sannsynligvis av luftturbulensen som resultat av resirkuleringen og er nærmere diskutert i kap. 5.3.2. For den tradisjonelle kjøkkenheten viste resultatene ved 2 av 3 luftmengder høyere verdier for $PM_{2,5}$, mens benkeventilatoren hadde høyere for 1 av 4 for begge plasseringene. For lokasjon 1 ser man størst forskjell mellom de to ventilatorene eksperimentene ved $108 \text{ m}^3/\text{h}$, hvor man for kjøkkenheten hadde omtrent 3 ganger høyere gjennomsnittsverdi. Gjennomsnittlig ligger $PM_{2,5}$ -konsentrasjonen for kjøkkenheten ca. 2,5 ganger høyere enn benkeventilatoren. Det er viktig å være oppmerksom på problematikken rundt forskjellen i partikkelmengdene mellom nulltestene for hver løsning, da denne viste seg å være betydelig høyere for eksperimentene gjort med kjøkkenheten. Denne effekten vil trolig også ha innvirkning i eksperimentene med ventilatoren på. Årsaken bak dette ble nærmere drøftet ovenfor i kap. 5.2

Selv om en del av eksperimentene har høyere konsentrasjoner enn nulltestene, ser man også en positiv utvikling ved de høyeste luftmengdene. Fra og med $350 \text{ m}^3/\text{h}$ ser man en reduksjon i partikkelkonsentrasjonen. Sammenlignet med sine respektive nulltester ser man en nedgang på ca. 26% for benkeventilatoren og for kjøkkenheten en nedgang på ca. 19%, for eksperimentene ved $350 \text{ m}^3/\text{h}$. Dette kan tyde på at benkeventilatoren antageligvis har et bedre kullfilter i forhold til kjøkkenheten. Man må ta i betraktning at disse to løsningene er plassert forskjellig i rommet som, mtp. hypotesen rundt hvorfor man ser en økning i partikkelkonsentrasjoner (diskutert nærmere i kap. 5.3.2 ovenfor), kan ha betydning for hvor mye effekten påvirker resultatene.

Det kan også observeres at forholdet mellom konsentrasjonen i lokasjon 1 i forhold til lokasjon 2 er gjennomsnittlig høyere for kjøkkenheten i forhold til benkeventilatoren. Årsaken til dette kan være ujevn spredning av partikler i rommet, på bakgrunn av uheldige strømningsforhold. Denne spredningen kan være forskjellig for de to eksperimentoppsettene fordi man har to ulike plasseringer for avkastet med filtrert luft.

5.4.4. Sammenligning med anbefalinger for eksponering

Folkehelseinstituttet har satt en øvre grense i døgnmiddel for eksponering av $PM_{2,5}$ på $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. For å se hvilke løsninger og luftmengder som vil bidra til å opprettholde denne grenseverdien ble det valgt å sammenligne de gjennomsnittlige verdiene for $PM_{2,5}$ med denne anbefalingen, for å danne et bilde av hva som antageligvis kan betegnes som tilstrekkelig. Resultatene er presenter i Figur 32 nedenfor, hvor grenseverdien er illustrert som den stiplede linjen horisontalt på figuren. Det ble sett bort fra bakgrunnskonsentrasjoner av $PM_{2,5}$ for å gi et konservativt anslag, den reelle eksponering vil antagelig være høyere enn resultatene tilsier, avhengig om boenheten har et ventilasjonsanlegg i tillegg til hvilket filter det eventuelt har. Resultatene er presentert kun for «kokken», altså lokasjon 1, da det er denne personen som sannsynligvis vil ha størst eksponering.



Figur 32: Eksponering av PM_{2,5} sammenlignet med luftkvalitetskriteriet

De gjennomsnittlige verdiene som er over den stiplede linjen, bidrar til å dra døgnmiddel-verdien over luftkvalitetskriteriet satt av Folkehelseinstituttet. Som resultatene viser, er det kun kjøkkenheten med resirkulering som går over denne verdien for samtlige luftmengder som ble testet for denne løsningen. Den verdien som ligger lengst over er eksperimentene ved 250 m³/h, hvor den ble målt en gjennomsnittlig partikkelkonsentrasjon av PM_{2,5} på 27,61 µg/m³. Det var også disse eksperimentene som hadde den høyeste gjennomsnittlige maks. verdien, som man kan se i Figur 37 i vedlegg E, på 68,37 µg/m³. For benkeventilatoren er det også ved 250 m³/h man ser den høyeste gjennomsnittskonsentrasjonen, men verdien bidrar ikke til å dra døgnmiddel-verdien over anbefalt verdi fordi den fortsatt er lavere enn 15 µg/m³. Det er viktig å ta i betraktning at verdiene vil være forskjøvet, da man sannsynligvis har høyere emisjon av partikler for eksperimentene med kjøkkenheten, som nærmere beskrevet i kap. 5.4.1.

5.5. Lydmålinger

Resultatene av lydmålingene er illustrert i Tabell 15 og Tabell 16 nedenfor.

Tabell 15: A-veid lydtryknivå på kjøkkenheten for både resirkulering og til det fri

Lydtrykk A-veid [dB]			
Trinn	1	2	3
Uttreking	47,1	56,8	61,0
Resirkulering	49,1	55,8	60,0

Ut ifra verdiene fra lydmålingene for kjøkkenheten ser man at det er løsningen med uttrekking som hadde høyest lydnivå ved høyeste trinn. Dette kan antageligvis forklares ved at denne løsningen hadde noe lengre strekk med fleksibel kanal i forhold til løsningen med resirkulering. Fleksible kanaler har høyere trykkfall enn ordinære spirokanaler og kan dermed også medføre økt støynivå.

Tabell 16: A-veid lydtryknivå på benkeventilatoren for både resirkulering og til det fri

Lydtrykk (A-veid)											
Trinn	Nøytral	1	2	3	4	5	6	7	8	9	Power
DE	45,3	45,9	46,2	47,9	50,2	52,1	55,8	57,3	58,9	60,9	63,5
DR	44,6	44,9	45,9	48,3	50,5	53,2	57,2	59,1	60,8	62,4	65,7

For benkeventilatoren hadde resirkulering lavest lydnivå ved lav luftmengde, men høyest ved høy luftmengde. Dette kan skyldes at løsningen med resirkulering har vesentlig høyere luftmotstand enn ut til det fri, på bakgrunn av kullfilteret. Selv om kanalanlegget for løsningen til det fri er mye lengre, er mostanden produsert av kullfilteret betydelig større og som gjør at løsningen med resirkulering har et mye større trykkfall i kanalanlegget.

Ut ifra disse resultatene kan man dermed se at benkeventilatoren har et høyere lydnivå enn kjøkkenheten ved høyeste trinn. Forskjellen i luftmengde mellom høyeste trinn for begge ventilatorene er derimot veldig stor. Som presentert i Tabell 19 og Tabell 20 fra vedlegg C, kan man se at største luftmengdene for benkeventilatoren for power-trinnet er 530 m³/h for uttrekking og 497 m³/h for resirkulering, i forhold til 362 m³/h og 337 m³/h for kjøkkenheten. Hvis man ser på trinn hvor luftmengdene er tilsvarende (trinn 6 for benkeventilatoren for begge løsninger og trinn 3 for kjøkkenheten) har benkeventilatoren et lavere lydnivå enn kjøkkenheten for både resirkulering og ut til det fri, 55,8 og 57,2 dB(A) (E/R) for benkeventilatoren sammenlignet med 61,0 og 60,0 dB(A) (E/R) for kjøkkenheten.

Begge disse kjøkkenventilatoren er over SINTEFs anbefaling på 45 dB ved maksimal luftmengde [8].

5.6. Styrker og svakheter

Funnene fra denne studie har visse begrensninger.

- Det ble observert en relativt stor variasjon i luftmengdene for grunnavtrekket, men det gjennomsnittlige grunnavtrekket ble beregnet til 35,4. Så det antas å være akseptabelt.
- Alle forsøkene i forbindelse med benkeventilatoren - resirkulering (DR) ble kjørt med noe kunstig lavt bakgrunnsnivå av partikkelkonsentrasjon. Årsaken til dette var at den ble dratt ned kunstig før hvert

eksperiment (vha. en luftrenser). Denne feilen er sannsynligvis ubetydelig og ble ikke gjentatt i de andre løsningene.

- GRIMM 1.108 ble plassert på location 2, sett i retrospekt var dette en uheldig plassering da location 3 ville vært en mer gunstig posisjon. Årsaken til dette er at formelen for CE baserer seg i stor grad av partikkelnivået i denne posisjonen, så mer nøyaktige verdi her ville vært foretrukket.
- Det ble kun sett på én kjøkkenhette for hver løsning. Alle resultatene gjelder altså kun for disse to kjøkkenhettene som ble benyttet under eksperimentene. Resultatene som kommer frem i oppgaven gjelder dermed kun for disse kjøkkenventilatorene, men gir en god generell indikasjon som kan sammenlignes med andre kjøkkenventilatorer.
- Det ble antatt at luftmengdene på kjøkkenhettene var relativt stabile, med små avvik.
- GRIMM 1.108 ved lokasjon 2 viser lavere verdier sammenlignet med de andre måleinstrumentene. Dette skyldes trolig at den er gammel og ikke har vært kalibrert siden 2015.
- Resultatene indikerer veldig repeterbare forsøk.

Basert på disse styrkene og svakhetene anses resultatene fortsatt som gode og gir gode indikasjoner.

6. Konklusjoner

En sammenligning av osoppfangingssevnen til benkventilatoren og tradisjonell kjøkkenhette ble utført ved å steke laks i et kjøkkenlaboratorie. Flere eksperimenter ble utført for hhv. lav, medium, høy og veldig høy luftmengde. Resultatene viser at ved uttrekkingsmodus, gir benkventilatorer høyere osoppfangingssevne (>91,3%) for luftmengder over 108 m³/h, sammenlignet med tradisjonell kjøkkenhette (68,6-91,2%). Benkventilatorens osoppfangingssevne øker med økende luftmengde, men man ser ingen vesentlige forbedringer ved luftmengder over 250 m³/h, hvor man da har en beregnet osoppfangingssevne på 97,7 %. For den tradisjonelle kjøkkenhetten ble den høyeste osoppfangingssevne (91,2%) oppnådd ved en luftmengde på 350 m³/h. Resultatene indikerer dermed at kjøkkenventilatoren med uttrekking har behov for høyere luftmengder enn benkventilatoren for å få tilstrekkelig osoppfang.

For benkventilatoren ble det også utført eksperimenter med bruk av høyere kjeler (11 cm), som resulterte i en vesentlig reduksjon av osoppfangingssevne ved lavere luftmengder enn 350 m³/h. Dette viste seg dermed å være en viktig faktor for vurderingen av hvilken kjøkkenventilator som var den beste. Ved 250 m³/h viste resultatene å ha en mindre påvirkning på osoppfangingen, hvor den ble redusert fra 97,7 til 88,9%. Størst påvirkning ble observert ved eksperimentene på 108 m³/h, hvor man så en reduksjon i osoppfangingssevne fra 66,5 til 25,0 % for lav og høy pannehøyde respektivt. På bakgrunn av tidsbegrensninger ble tilsvarende eksperimenter ikke utført for kjøkkenhetten, og det er dermed vanskelig å si hvor mye en økning i kjelhøyde vil påvirke resultatene. Det kan konkluderes med at en luftmengde på 250 m³/h fortsatt fører til bedre resultater for benkventilatoren enn for kjøkkenhetten, selv når benkventilatoren har dårligere utgangspunkt.

Sammenligning av benkventilatoren og tradisjonell kjøkkenhette i resirkulerende modus var utfordrende. Dette skyldes først og fremst høyere mengder av antall partikler med kjøkkenventilatorene på enn når det var avslått for enkelte eksperimenter, og dermed resulterte i negativ osoppfangingssevne. Dette fører til at man får negative verdier for beregnet osoppfangingssevne, da metoden som blir brukt for beregningen baserer seg på måling ved grunnavtrekket som gir en gjennomsnittlig verdi av rommet. For kjøkkenhetten var den gjennomsnittlige osoppfangingssevnen negativ for samtlige luftmengder, mens for benkventilatoren var den negativ kun ved én luftmengde. Disse resultatene kan gi indikasjoner om at benkventilatoren har bedre osoppfangingssevne enn kjøkkenhetten for alle luftmengder bortsett fra 350 m³/h. På bakgrunn av disse resultatene kan man konkludere med at metoden som ble brukt i oppgaven sannsynligvis ikke egner seg for testing av resirkulerende kjøkkenventilatorer.

Resultatene fra lydmålingene viser at benkventilatoren har et høyere lydnivå enn kjøkkenhetten ved høyeste trinn. Forskjellen i luftmengde mellom disse trinnene er derimot vesentlig. Sammenligner man dermed trinn hvor luftmengdene er tilsvarende for begge ventilatorene, får man at benkventilatoren har et lydnivå på 55,8 dB(A) og 57,2 dB(A) for uttrekking og resirkulering respektivt. For kjøkkenhetten får man lydnivå på 61,0 og

60,0 dB(A) for uttrekking og resirkulering respektivt. Det kan konkluderes med at benkeventilatoren har et vesentlig lavere lydnivå enn kjøkkenheten.

Det er viktig å presisere at i denne oppgaven ble det kun vurdert én kjøkkenventilator for hver løsning, så disse resultatene er kun representative for disse spesifikke produktene og forutsetningene som ble satt for oppgaven. Likevel gir resultatene en god indikasjon på hvor godt slike løsninger fungerer i praksis, ved tilnærmet virkelige forhold.

7. Anbefalinger til videre arbeid

- Se på effekten på osopffangingssevne ved bruk av høyere pannerhøyde for kjøkkenheten.
- Undersøke andre metoder for beregning av osopffangingssevne for resirkulerende kjøkkenheter.
- Utføre energi- og effektmålinger for å kunne gjøre en vurdering ut fra disse perspektivene.
- Utføre samme eksperimentoppsett med andre typer matlaging/matvarer for å sammenligne osopffangingssevne.

Referanser

- [1] Arbeidstilsynet. "Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen." <https://www.arbeidstilsynet.no/tema/inneklima/> (accessed).
- [2] C. O'Leary, Y. Kluzenaar, P. Jacobs, W. Borsboom, I. Hall, and B. Jones, "Investigating measurements of fine particle (PM_{2.5}) emissions from the cooking of meals and mitigating exposure using a cooker hood," *Indoor Air*, vol. 29, no. 3, pp. 423-438, 2019-05-01 2019, doi: 10.1111/ina.12542.
- [3] J. D. Clark, G. Rojas, and I. S. Walker, "Towards the development of a standardized testing protocol for overhead island kitchen exhaust devices: Procedures, measurements and paths forward," *Building and Environment*, vol. 142, pp. 301-311, 2018/09/01/ 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.06.023>.
- [4] Y. Zhao *et al.*, "Review of Effluents and Health Effects of Cooking and the Performance of Kitchen Ventilation," *Aerosol and Air Quality Research*, vol. 19, no. 8, pp. 1937-1959, 2019-01-01 2019, doi: 10.4209/aaqr.2019.04.0198.
- [5] S. Svedahl, K. Svendsen, T. Qvenild, A. Sjaastad, and B. Hilt, "Short term exposure to cooking fumes and pulmonary function," *Journal of Occupational Medicine and Toxicology*, vol. 4, no. 1, p. 9, 2009, doi: 10.1186/1745-6673-4-9.
- [6] C. He, L. Morawska, J. Loveday, and D. Gilbert, "Contribution from indoor sources to particle number and mass concentration in residential houses," *Atmospheric Environment*, vol. 38, pp. 3405-3415, 07/01 2004, doi: 10.1016/j.atmosenv.2004.03.027.
- [7] § 13-2. *Ventilasjon i boligbygning*, 2017.
- [8] S. Byggforsk, "552.301 Ventilasjon av boliger. Prinsipper," Anbefaling 17.05.2022 2017. [Online]. Available: https://www.byggforsk.no/dokument/527/ventilasjon_av_boliger_prinsipper
- [9] SINTEF. "Healthy Energy-efficient Urban Home Ventilation." <https://www.sintef.no/projectweb/healthy-energy-efficient-urban-home-ventilation/> (accessed).
- [10] Z. A. Fulsebakke, "Test facility and capture efficiency for a wallmounted range hood in an open plan kitchen living room," Masteroppgave, Fakultet for teknologi, kunst og design, Oslo Metropolitan University, Oslo, 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11250/2772473>
- [11] A. Jutulstad, "Experimental study on cooking emissions and kitchen contamination risks in Norwegian dwellings," Masteroppgave, Fakultet for teknologi, kunst og design, Oslo Metropolitan University, Oslo, 2021. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11250/2772468>
- [12] *TEK17 §13-1. Generelle krav til ventilasjon (1)*, 2021.
- [13] A.-o. allergiforbundet. "Luft og ventilasjon." <https://www.naaf.no/fokusomrader/inneklima/Bolig/luft-og-ventilasjon/> (accessed 22.05.2022).
- [14] *Bygningsreglementet § 443 Ventilasjon i beboelsesbygninger*, Online, 2018.
- [15] *Boverkets byggregler (2011:6) - föreskrifter och allmänna råd - avsnitt 6:251*, Online, 2017.
- [16] *Ventilation for acceptable indoor air quality*, NZS 4303:1990, 1990.
- [17] Home Ventilating Institute. "HVI's Fresh Ideas Home Ventilation & Indoor Air Quality Guide Articles." <https://www.hvi.org/resources/publications/home-ventilation-guide-articles/how-much-ventilation-do-i-need/> (accessed 18.05, 2022).
- [18] *Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings*, ANSI/ASHRAE Standard 62.2, 2015.
- [19] *Ventilatie van gebouwen - Bepalingsmethoden voor nieuwbouw*, NEN 1087, 2019.
- [20] Jordan D. Clark, Iain S. Walker, and G. Rojas, "Measured pollutant removal performance of range-integrated downdraft exhaust kitchen ventilation device," presented at the Conference of the International Society of Indoor Air Quality and Climate, INDOOR AIR 2018, 23.05.2022, 2018, Forskningsartikkel.
- [21] Folkehelseinstituttet. "Svevestøv." Folkehelseinstituttet. <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/temakapitler/svevestov/> (accessed 07.02, 2022).

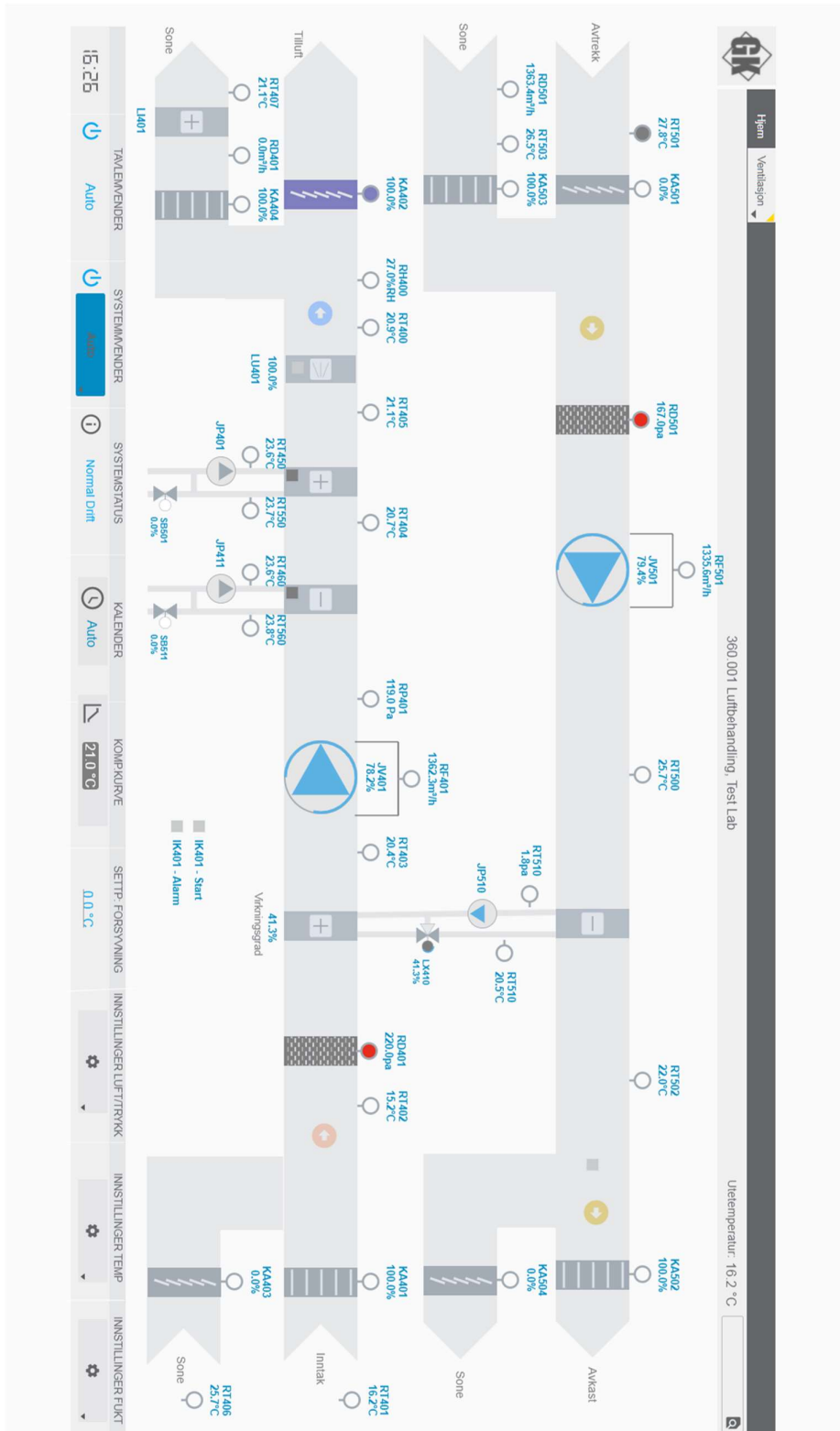
- [22] EPA, "Particle Pollution and Your Health," EPA, Brosjyre 22.05.2022 2003. [Online]. Available: <https://nepis.epa.gov/Exe/ZyPDF.cgi?Dockkey=P1001EX6.txt>
- [23] Grimm Aerosol Technik Pouch GmbH. "Portable Laser Aerosolspectrometer and Dust Monitor Model 1.108/1.109." <https://cires1.colorado.edu/jimenez-group/Manuals/Grimm OPC Manual.pdf> (accessed).
- [24] *Cooking fume extractors*, NEK IEC 61591:2019, 2019.
- [25] S. n. leksikon. "Metyletylketon." <https://snl.no/metyletylketon> (accessed 18.05, 2022).
- [26] *Standard Test Method for Measuring Capture Efficiency of Domestic Range Hoods*, ASTM E3087-18, 2018.
- [27] *Ventilasjon i bygninger. Ytelsesprøving av komponenter/produkter for boligventilasjon. Del 3: Kjøkkenhetter uten vifte for boliger*, NS-EN 13141-3:2017, 2017.
- [28] *NORDTEST NT VVS 047*, NT VVS 047, 1985.
- [29] T. Gjestland. "Lyd." <https://snl.no/lyd> (accessed).
- [30] S. Byggforsk, "421.401 Lydutbredelse og støy. Grunnbegreper," Anbefaling 23.05.2022 2004. [Online]. Available: [https://www-byggforsk-no.ezproxy.oslomet.no/dokument/185/lydutbredelse_og_stoey_grunnbegreper#i12](https://www-byggforsk.no.ezproxy.oslomet.no/dokument/185/lydutbredelse_og_stoey_grunnbegreper#i12)
- [31] S. Ingebrigtsen, "Lyd og lyddemping i ventilasjonsanlegg," in *Ventilasjonsteknikk Del 2*, 2. ed. Oslo: Skarland Press AS, 2018.
- [32] L. Lv *et al.*, "Impact of different human walking patterns on flow and contaminant dispersion in residential kitchens: Dynamic simulation study," *Building Simulation*, vol. 15, no. 6, pp. 1051-1066, 2022/06/01 2022, doi: 10.1007/s12273-021-0844-1.
- [33] S. Meleika and M. Pate, "The influence of range hood exhaust orientation on capture efficiency," *Science and Technology for the Built Environment*, vol. 27, no. 6, pp. 843-857, 2021/07/03 2021, doi: 10.1080/23744731.2021.1898818.
- [34] S. Meleika, M. Pate, and A. Jacquesson, "The influence of range hood mounting height on capture efficiency," *Science and Technology for the Built Environment*, vol. 27, no. 3, pp. 303-315, 2021/03/16 2021, doi: 10.1080/23744731.2020.1863102.
- [35] S. Meleika and M. Pate, "The effects of cook-top temperature on range hood capture efficiency," *Science and Technology for the Built Environment*, vol. 27, no. 3, pp. 283-302, 2021/03/16 2021, doi: 10.1080/23744731.2020.1831317.
- [36] H. Park, H. Choi, K. Kang, H.-k. Kim, and T. Kim, "An effective ventilation system for preventing indoor PM2.5 dispersion," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 609, p. 042050, 10/23 2019, doi: 10.1088/1757-899X/609/4/042050.
- [37] B. Zhou *et al.*, "Capture efficiency and thermal comfort in Chinese residential kitchen with push-pull ventilation system in winter-a field study," *Building and Environment*, vol. 149, 12/01 2018, doi: 10.1016/j.buildenv.2018.12.017.
- [38] R. F. Huang, J. K. Chen, and J. H. Lin, "Flow characteristics and spillage mechanisms of an inclined quad-vortex range hood subject to influence from draft," *Journal of Occupational and Environmental Hygiene*, Article vol. 12, no. 4, pp. 235-244, 2015, doi: 10.1080/15459624.2014.987383.
- [39] M. M. Lunden, W. W. Delp, and B. C. Singer, "Capture efficiency of cooking-related fine and ultrafine particles by residential exhaust hoods," *Indoor Air*, Article vol. 25, no. 1, pp. 45-58, 2015, doi: 10.1111/ina.12118.
- [40] B. Claeys, J. Laverge, I. Pollet, and G. Bryuneel, "Performance Testing of Air Curtains in Residential Range Hoods," in *Procedia Engineering*, 2015, vol. 121, pp. 199-202, doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.1052. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84957892294&doi=10.1016%2fj.proeng.2015.08.1052&partnerID=40&md5=05337dff2e4f1514064b2205572c6446>
https://ac.els-cdn.com/S1877705815027800/1-s2.0-S1877705815027800-main.pdf?_tid=5151d1bb-b12b-4cda-8fdf-c059737bac56&acdnat=1532947250_39c6f635f97869773ba9bc930fce0360
- [41] B. C. Singer, A. D. Sherman, T. Hotchi, and D. P. Sullivan, "Pollutant removal efficiency of residential cooking exhaust hoods," in *12th International Conference on Indoor Air Quality and Climate 2011*, 2011, vol. 3, pp. 1854-1859. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84880548357&partnerID=40&md5=d6101829cbbcfccfba77379a25991292>. [Online].

- Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84880548357&partnerID=40&md5=d6101829cbbcfccfba77379a25991292>
- [42] S. Sadrizadeh, G. Rojas, J. D. Clark, I. S. Walker, and M. H. Sherman, "Measured pollutant removal performance of range-integrated downdraft exhaust kitchen ventilation devices," in *15th Conference of the International Society of Indoor Air Quality and Climate, INDOOR AIR 2018*, 2018. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85105662555&partnerID=40&md5=5c2cebb8ab77e68784493d28b3c7faf5>. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-85105662555&partnerID=40&md5=5c2cebb8ab77e68784493d28b3c7faf5>
- [43] B. C. Singer, W. W. Delp, P. N. Price, and M. G. Apte, "Performance of installed cooking exhaust devices," *Indoor Air*, Article vol. 22, no. 3, pp. 224-234, 2012, doi: 10.1111/j.1600-0668.2011.00756.x.
- [44] C. Farnsworth, A. Waters, R. M. Kelso, and D. Fritzsche, "Development of a fully vented gas range," *ASHRAE TECHNICAL DATA BULL.*, vol. 5, no. 1, 1989, pp. 37-46, 1989. [Online]. Available: <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0024509372&partnerID=40&md5=d74f839828df09cac0e3e24a9465a517>.
- [45] O. Han, A. Li, and R. Kosonen, "Hood performance and capture efficiency of kitchens: A review," *Building and Environment*, vol. 161, p. 106221, 2019, doi: 10.1016/j.buildenv.2019.106221.
- [46] VENTØK. "Ventilasjon av restauranter og kjøkken." http://kompetansebiblioteket.no/Ventok/Bruksomraade/3_4_Ventilasjon_av_restauranter_og_kjokken.aspx?searchStr=storkj%C3%B8kken (accessed).
- [47] D. International, "Bag filters," Deltrian International, Produktdatablad 25.05.2022 2019. [Online]. Available: https://www.deltrian.com/wp-content/uploads/Deltrian_catalogue-filtration_EN_web.pdf
- [48] Trox Auranor Norge AS. "Siv-inn 1 og Siv-inn 2000." https://www.trox.no/downloads/3e894e3dd6ea7146/NO0700-Siv-inn-1-og-2000-11.15.pdf?type=product_info (accessed).
- [49] Trox Auranor Norge AS. "DSO." <https://www.trox.no/avtrekksventiler/dso-40f06aedc79886a4> (accessed).
- [50] BORA Vertriebs GmbH & Co KG. "Pure aktivt kullfilter." <https://www.bora.com/no/no/sortiment/show/bora-x-pure-1/puakf/en/> (accessed).
- [51] BORA. "Planleggingshåndbok." <http://engebretsen.no/wp-content/uploads/2022/01/BORA-ventilation-handbook-1.2022-NO.pdf> (accessed).
- [52] Siemens. "Clean Air Plus filter (erstatning)." <https://www.siemens-home.bsh-group.com/no/eshop-produktliste/tilbehoer/tilbehoer-til-ovner-platetopper-komfyrer-ventilatorer/for-ventilatorer/aktivt-kullfilter/11033934#/Tabs=section-fitsappliance/> (accessed).
- [53] Trox Auranor Norge AS. "DRS/DRS-T." https://www.trox.no/downloads/4c7700fdcef0dc1b/NO0802-DRS-03.19.pdf?type=product_info (accessed).
- [54] Rotronic, "CO2 Display, CL11, CP11 – CO2 measuring instruments." [Online]. Available: https://www.rotronic.com/pub/media/productattachments/files/59100E_CO2-Measuring_Instruments.pdf
- [55] H. Instruments. "DPT-CTRL." <https://hkinstruments.fi/products/pressure-flow-controllers/dpt-ctrl/> (accessed 22.05.2022).
- [56] Thermometrics. "TYPE K THERMOCOUPLE." <https://www.thermometricscorp.com/thertypk.html> (accessed 22.05.2022).
- [57] A. Tittarelli, A. Borgini, M. Bertoldi, E. Saega, A. Ruprecht, and R. Stefanoni, "Estimation of particle mass concentration in ambient air using a particle counter," *Atmospheric Environment* 42 (2008) 8543–8548, vol. 42, 11/01 2008, doi: 10.1016/j.atmosenv.2008.07.056.
- [58] Nasim A. Mullen, Jina Li, and B. C. Singer, "Participant Assisted Data Collection Methods in the California Healthy Homes Indoor Air Quality Study of 2011-13 " Ernest Orlando Lawrence Berkley National Laboratory, Survey 22.05.2022 2013. [Online]. Available: <https://escholarship.org/content/qt4sd2k5nh/qt4sd2k5nh.pdf?t=n4yaan>
- [59] *Akustikk Måling av lydtrykknivå fra tekniske installasjoner i bygninger Teknisk metode*, NS-EN ISO 16032:2004, 2004.

- [60] Norsonic. "Sound Analyser Nor140." <https://web2.norsonic.com/wp-content/uploads/2016/08/Nor140-Sound-Level-Meter-brochure.pdf> (accessed.
- [61] L. I. Stensaas, "Strømningsforhold omkring avtrekksåpninger," in *Ventilasjonsteknikk Del I - Grunnlaget og systemer*, 4. ed. Trondheim: NemiTek AS, 1998, p. Kap. 7.9.
- [62] A. S. Søvstø and B. B. Jessen, "Prøvningsrapport Hood-Lab 21-009," Teknologisk Institut, Prøvningsrapport 27.08 2021. [Online]. Available: <http://engebretsen.no/wp-content/uploads/2021/10/Hood-Lab-21-009c.pdf>

VEDLEGG

Vedlegg A – Systemskjema ventilasjonsanlegg



Figur 33: Flytskjema ventilasjonsanlegg

Vedlegg B – Næringsinnholdet for laksen og wok mixen

Nedenfor er to tabeller som viser næringsinnholdet for laksen og wok mixen som ble benyttet under forsøkene.

Tabell 17: Laksens næringsinnhold (pr. 100 g)

NÆRINGSINNHold PR. 100 G:	
Energi	932 kJ / 224 kcal
Fett	16 g
hvorav	
- mettede fettsyrer	3,0 g
- enumettede fettsyrer	5,9 g
- flerumettede fettsyrer	5,0 g
Karbohydrater	0 g
hvorav sukkerarter	0 g
Kostfiber	0 g
Protein	20 g
Salt (beregnet fra fiskens naturlige innhold av natrium)	0,12 g

Tabell 18: Næringsinnhold for «Fullkornsris & grønnsaksblanding» (pr. 100 g)

NÆRINGSINNHold PR. 100 G		INGREDIENSER
Energi	421 kJ / 100 kcal	Forhåndskokt brun ris (50%), erter (16%), brokkoli (12 %), mais (12 %), paprika (5%), løk (5%)
Fett	0,7 g	
hvorav mettede fettsyrer	0,1 g	
Karbohydrater	18,4 g	
hvorav sukkerarter	1,6 g	
Kostfiber	3,0 g	
Protein	3,4 g	
Salt	< 0,05 g	

Vedlegg C – Luftmengdene for benkeventilatoren og kjøkkenheten

Luftmengdene ble målet vha. Swema 3000 på en BAAS målestasjon Ø160. K-faktor som er benyttet er 12,2.

Tabell 19 nedenfor viser luftmengdene for benkeventilatoren – uttrekking.

Tabell 19: Luftmengder for benkeventilatoren - uttrekking

Trinn	BAAS [m ³ /h]	BAAS trykk [Pa]
0 (nøytral)	101,9	-5,4
1	143,4	-10,7
2	182,3	-17,3
3	216,1	-24,3
4	255,1	-33,9
5	293,9	-45,0
6	355,3	-65,7
7	390,6	-79,4
8	426,2	-94,5
9	459,7	-110,0
BOOST	530,4	-146,4

Tabell 20 nedenfor viser luftmengdene for benkeventilatoren - resirkulering.

Tabell 20: Luftmengder for benkeventilatoren - resirkulering

Trinn	BAAS [m ³ /h]	BAAS trykk [Pa]
0 (nøytral)	85,5	-3,9
1	121,7	-7,9
2	160,2	-13,7
3	198,1	-20,9
4	235,2	-29,5
5	267,8	-38,3
6	328,5	-57,6
7	363,9	-70,7
8	397,8	-84,5
9	428,3	-97,9
BOOST	496,7	-131,7

Tabell 22 nedenfor viser luftmengdene for kjøkkenheten – uttrekking.

Tabell 21: Luftmengder for kjøkkenheten - uttrekking

Trinn	BAAS [m ³ /h]	BAAS trykk [Pa]
1	183	N/A
2	286	N/A
3	362	N/A
BOOST	496	N/A

Tabell 22 nedenfor viser luftmengdene for kjøkkenheten ved resirkulering.

Tabell 22: Luftmengder for kjøkkenheten - resirkulering

Trinn	BAAS [m ³ /h]	BAAS trykk [Pa]
1	154,8	-12,4
2	255,2	-33,6
3	327,2	-55,5
BOOST	391,8	-79,3

Vedlegg D – Osoppfangingsevne

Her blir osoppfangingsevnen for begge kjøkkenventilatorene ved samtlige luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten. Både for uttrekking og resirkulering.

Benkeventilator												
Benkeventilator - Uttrekking												
Luftmengde	Antall repetisjoner n	KOKK					GJEST					
		Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	
108	n=3	66,5	12,6	63,7	45,2 %	84,8 %	63,7	11,1	63,8	44,0 %	79,7 %	
180	n=2	91,3	1,4	91,4	88,5 %	93,4 %	90,8	1,3	90,8	88,7 %	93,0 %	
250	n=3	97,7	1,5	98,5	94,9 %	99,1 %	97,2	1,8	98	94,1 %	99,0 %	
350	n=3	97,9	0,8	97,6	96,6 %	99,1 %	97,5	1	97,1	96,3 %	99,0 %	
500	n=3	98,9	0,2	98,9	98,4 %	99,2 %	98,6	0,2	98,6	98,2 %	99,0 %	
Benkeventilator - Resirkulering												
Luftmengde	Antall repetisjoner n	KOKK					GJEST					
		Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	
108	n=3	41,3	9,1	44,3	20,2 %	53,9 %	37,6	11,8	38,5	13,5 %	53,7 %	
250	n=3	4,7	42,7	21,1	-79,7 %	52,4 %	-8,4	44,5	6,6	-90,6 %	43,8 %	
350	n=3	-28,1	65,3	-50,4	-125,6 %	62,5 %	-44	72,5	71,8	-143,4 %	57,6 %	
500	n=3	43	28,4	49,3	-12,5 %	76,5 %	38,9	30,5	48,8	-18,4 %	74,6 %	

Figur 34: Osoppfangingsevne for benkeventilatoren ved samtlige luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten. Både for uttrekking og resirkulering.

Kjøkkenheten												
Kjøkkenheten - Uttrekking												
Luftmengde	Antall repetisjoner n	KOKK					GJEST					
		Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	
108	n=3	71,1	14,3	75,7	35,0 %	86,6 %	72,6	14	78	39,5 %	87,1 %	
180	n=2	79,9	8,9	82	64,0 %	88,3 %	79,1	10	82	62,0 %	88,4 %	
250	n=3	68,6	27,5	80	-6,0 %	93,4 %	67,7	30,2	79,7	-14,4 %	93,5 %	
350	n=3	91,2	4,5	93,4	81,7 %	96,6 %	90,2	5,3	92,3	79,4 %	96,4 %	
Kjøkkenheten - Resirkulering												
Luftmengde	Antall repetisjoner n	KOKK					GJEST					
		Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	Gj.snitt %	Sd.avvik %	Median %	Min. verdi	Maks. verdi	
108	n=3	-21	54,5	-13	-134,3 %	38,6 %	-27,3	60,7	-12,3	-145,5 %	35,8 %	
250	n=3	-59,3	79,3	-31,1	-250,0 %	30,6 %	-73,1	93,2	-46,8	-292,6 %	30,9 %	
350	n=3	-32,2	75,1	-14,1	-231,9 %	47,8 %	-39,3	87,6	-18,8	-272,2 %	50,5 %	

Figur 35: Osoppfangingsevne for kjøkkenheten ved samtlige luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten. Både for uttrekking og resirkulering.

HØY PANNEHØYDE											
Benkeventilator - høy pannehøyde (H = 11 cm)											
Downdraft Uttrekking											
Kokk						Gjest					
	Gjennomsnitt %	Sd.avvik	Median %	Min. verdi	Maks. verdi		Gjennomsnitt %	Sd.avvik	Median%	Min. verdi	Maks. verdi
108	25	7	25,3	16,2	33,4		28,3	3,9	28,4	23,4	33
180	59,9	8,4	60,3	50,4	68,7		66,4	7	66,6	59,1	73,3
250	88,9	0,7	88,9	88,1	89,6		87,5	0,6	87,5	86,8	88,3
350	97,8	1,3	97,9	96,5	99,1		97	1,8	97,1	95,3	98,6
LAV PANNEHØYDE (fra tidligere forsøk)											
Benkeventilator - lav pannehøyde (H = 5 cm)											
Downdraft Uttrekking											
Kokk						Gjest					
	Gjennomsnitt %	Sd.avvik	Median %				Gjennomsni	Sd.avvik	Median%		
108	66,5	12,6	63,7				63,7	11,1	63,8		
180	91,3	1,4	91,4				90,8	1,3	90,8		
250	97,7	1,5	98,5				97,2	1,8	98		
350	97,9	0,8	97,6				97,5	1	97,1		
500	98,9	0,2	98,9				98,6	0,2	98,6		

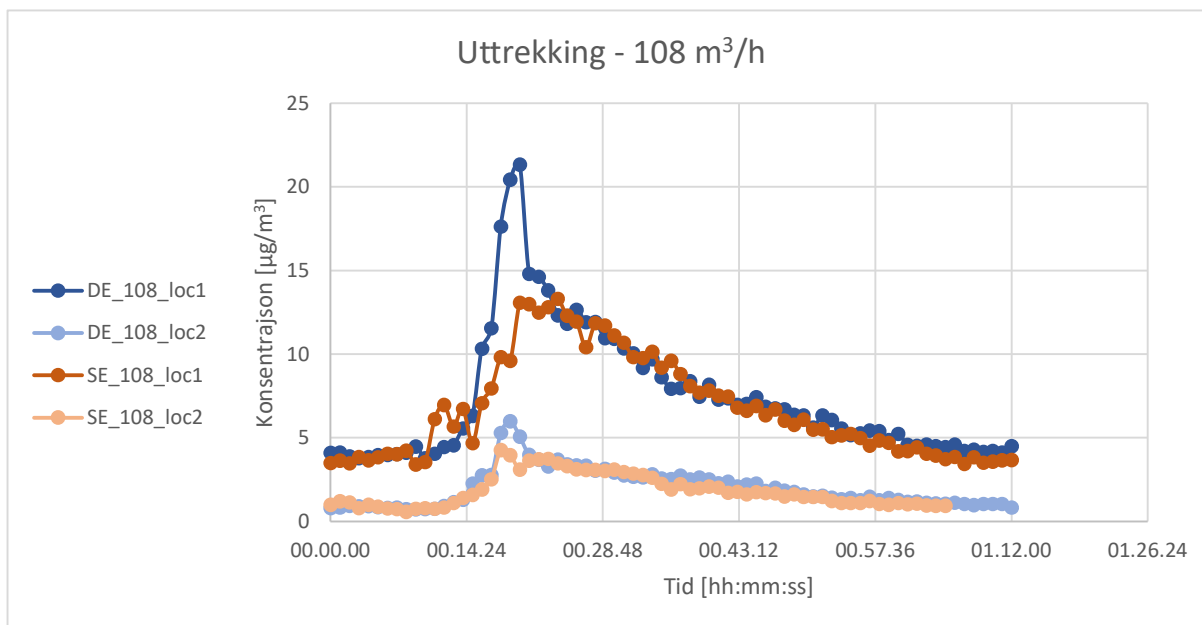
Figur 36: Osoppfangingssevne for eksperimentene med forskjellig pannehøyde ved ulike luftmengder med standardavvik, median, maks.- og min. verdier for hhv. kokken og gjesten.

Vedlegg E – Konsentrasjoner av PM_{2,5} for eksperimentene med uttrekking og resirkulering

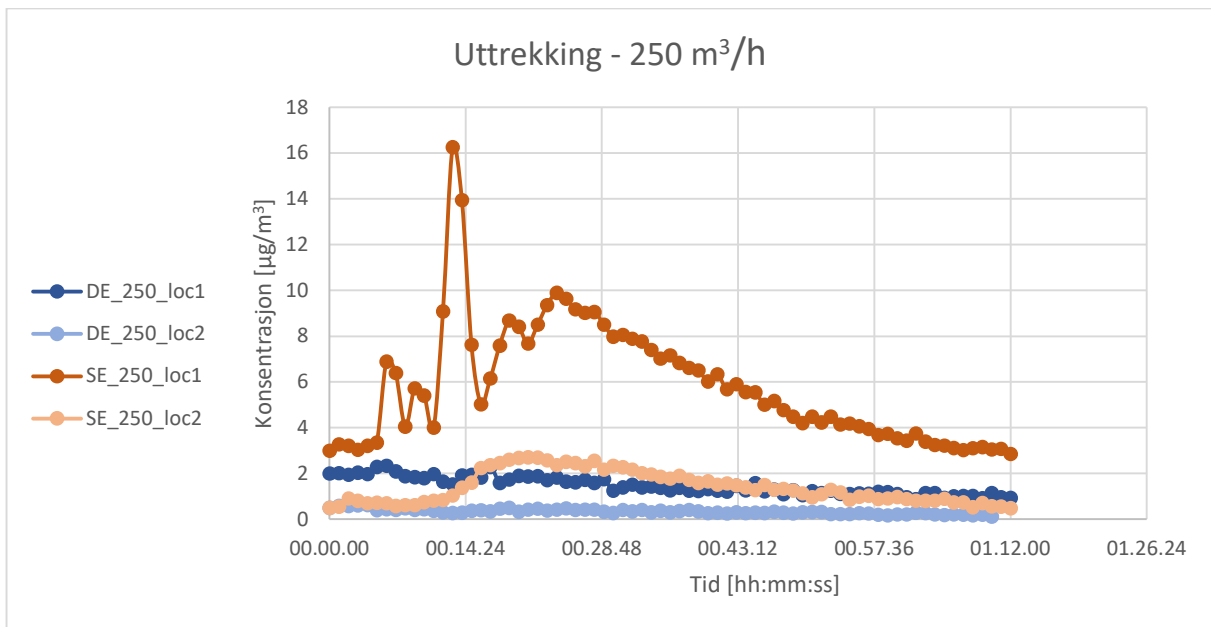
	Benkeventilatoren							Kjøkkenheten					
	DE_loc1			DE_loc2				SE_loc1			SE_loc2		
	Gj.snitt	Maks.	Gj.snittlig RSD	Gj.snitt	Maks.	Gj.snittlig RSD	Gj.snitt	Maks.	Gj.snittlig RSD	Gj.snitt	Maks.	Gj.snittlig RSD	
NULLTESTER	0	11,91	40,54	29,5 %	3,79	10,97	63,0 %	23,57	62,16	52,5 %	6,59	16,56	54,3 %
UTTREKKING	108	7,41	21,33	44,4 %	1,98	5,99	44,8 %	6,76	13,31	45,7 %	1,84	4,26	44,0 %
	180	2,06	5,50	38,0 %	0,61	1,37	51,6 %	4,19	12,10	31,2 %	1,01	2,41	44,1 %
	250	1,47	2,35	89,4 %	0,34	0,62	78,3 %	5,84	16,26	57,1 %	1,39	2,71	64,5 %
	350	2,41	3,29	68,6 %	0,41	0,85	65,4 %	3,74	7,80	45,6 %	0,63	1,00	56,9 %
	500	0,81	1,48	60,4 %	0,26	0,46	75,9 %						
RESIRKULERING	0	11,91	40,54	29,5 %	3,79	10,97	63,0 %	23,57	62,16	52,5 %	6,59	16,56	54,3 %
	108	8,42	23,96	28,2 %	2,91	7,02	38,8 %	24,82	74,61	17,9 %	7,83	17,25	95,9 %
	250	11,31	26,81	35,1 %	4,32	10,20	37,5 %	27,61	68,37	28,1 %	7,22	17,28	32,5 %
	350	8,81	20,88	35,1 %	2,61	6,59	39,4 %	18,98	47,89	42,2 %	5,53	13,28	73,4 %
	500	5,48	11,93	39,3 %	1,51	3,91	38,7 %						

Figur 37: Eksponering ved samtlige luftmengder med standardavvik, median og maks.- verdier for hhv. lokasjon 1 og lokasjon 2. Både for uttrekking og resirkulering.

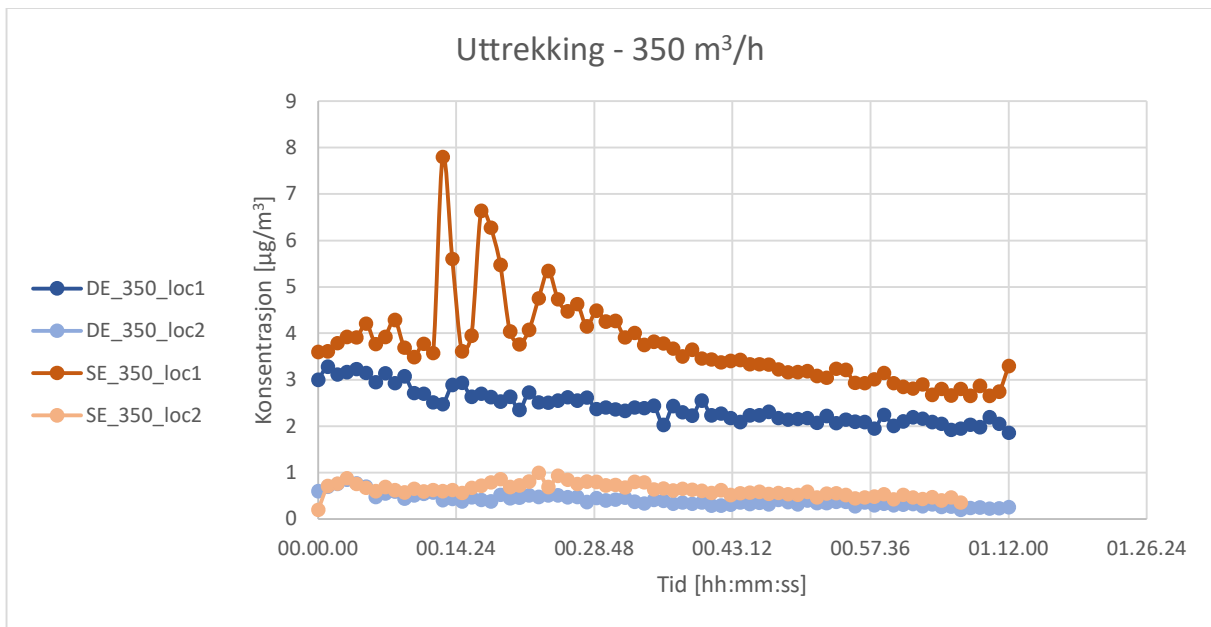
Konsentrasjonen av PM_{2,5} ved ulike luftmengder for eksperimentene med uttrekking:



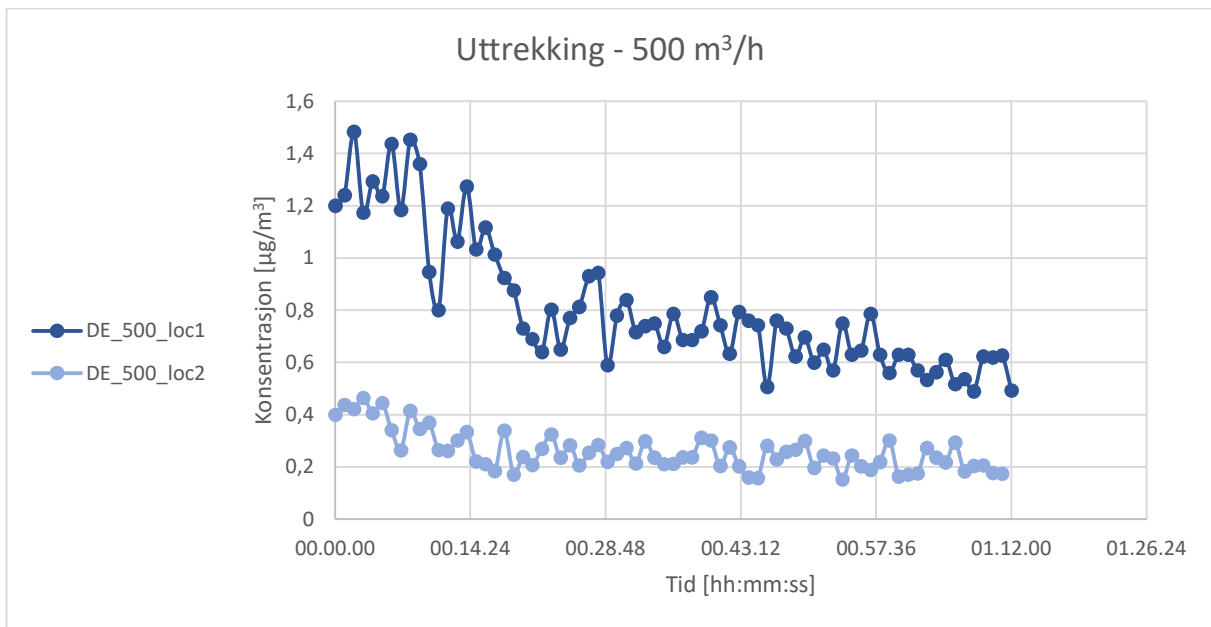
Figur 38: Konsentrasjonen av PM_{2,5} for uttrekking ved en luftmengde på 108 m³/h



Figur 39: Konsentrasjonen av PM_{2.5} for uttrekking ved en luftmengde på 250 m³/h

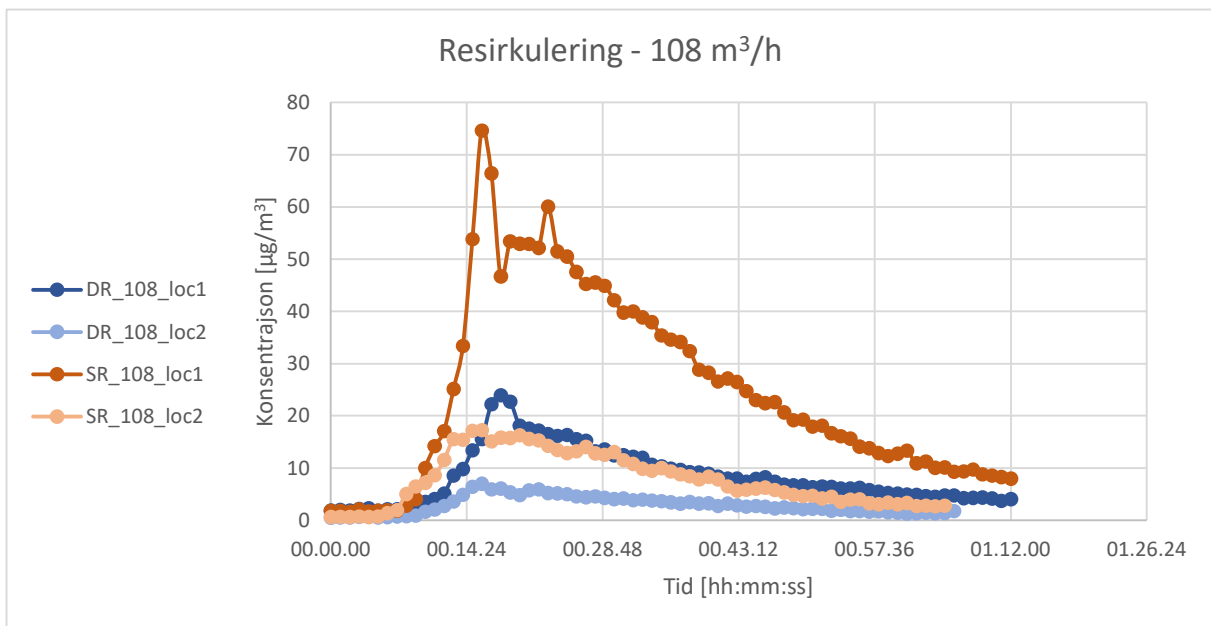


Figur 40: Konsentrasjonen av PM_{2.5} for uttrekking ved en luftmengde på 350 m³/h

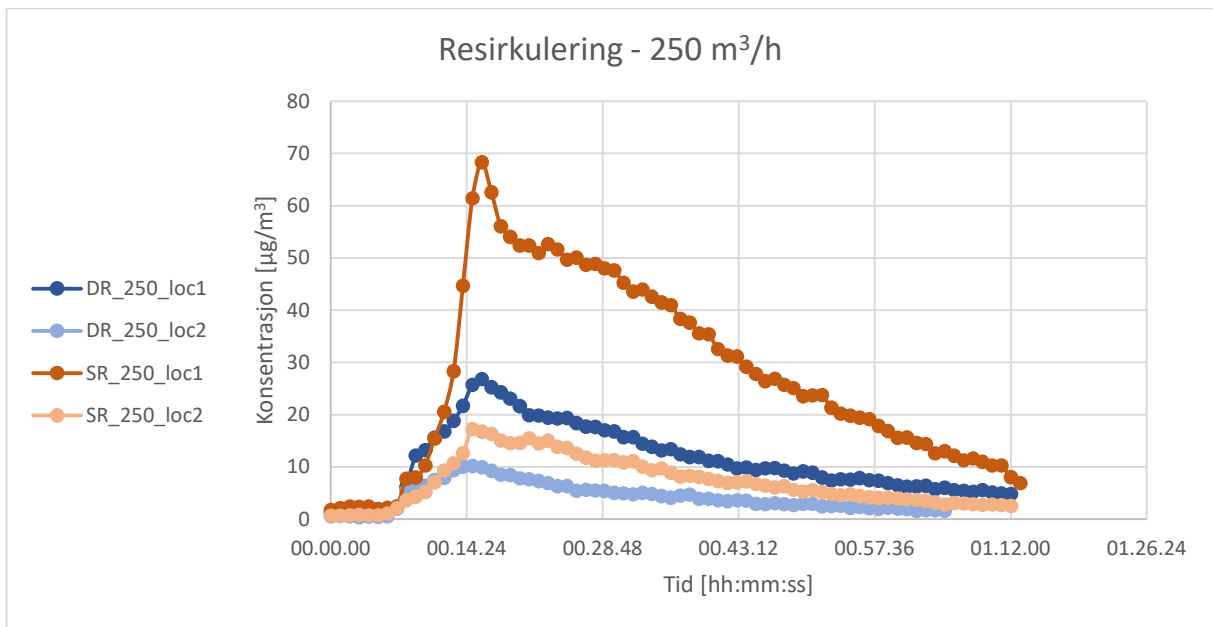


Figur 41: Konsentrasjonen av PM_{2,5} for uttrekking ved en luftmengde på 500 m³/h

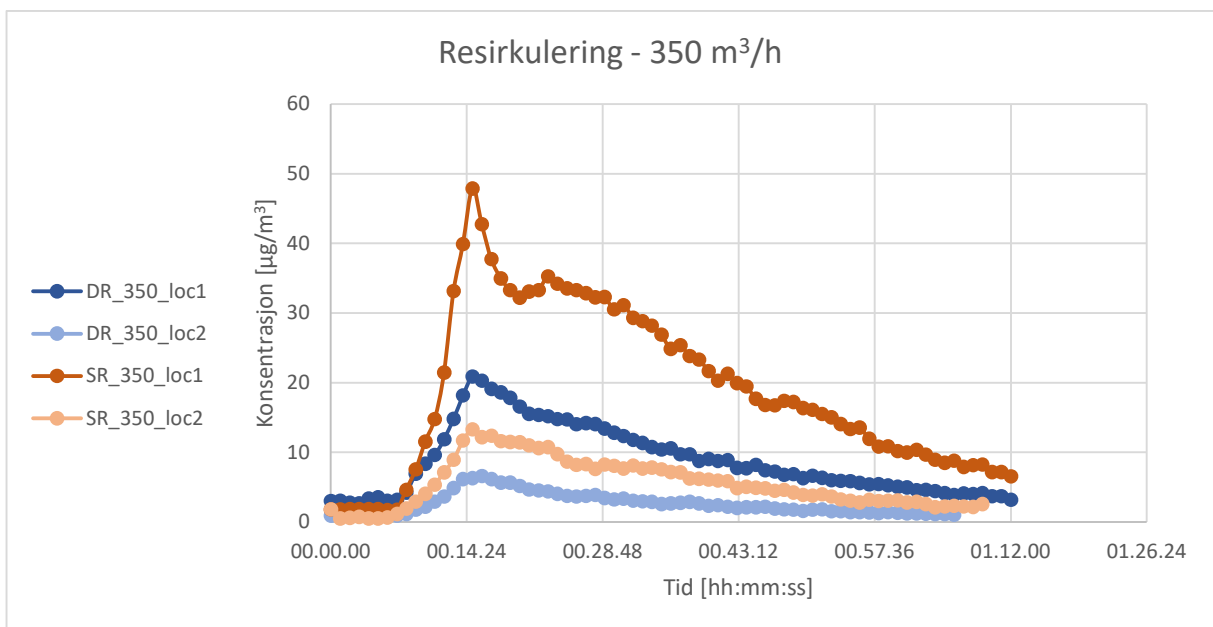
Konsentrasjonen av PM_{2,5} ved ulike luftmengder for eksperimentene med resirkulering:



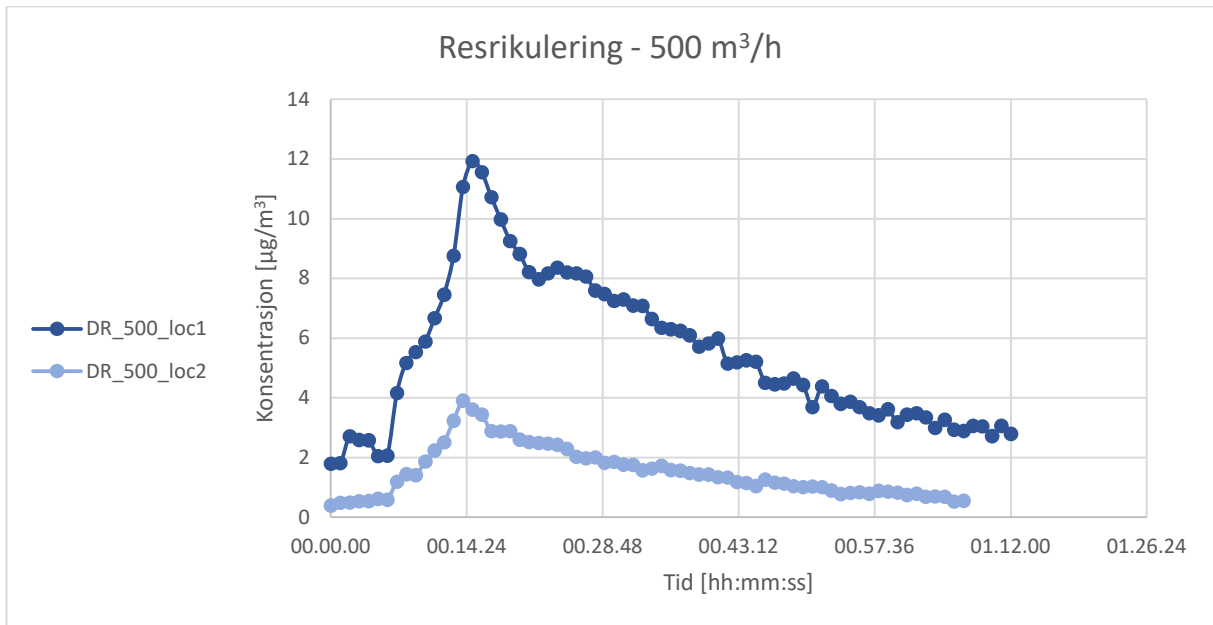
Figur 42: Konsentrasjonen av PM_{2,5} for resirkulering ved en luftmengde på 108 m³/h



Figur 43: Konsentrasjonen av PM_{2.5} for resirkulering ved en luftmengde på 250 m³/h



Figur 44: Konsentrasjonen av PM_{2.5} for resirkulering ved en luftmengde på 350 m³/h



Figur 45: Konsentrasjonen av PM_{2.5} for resirkulering ved en luftmengde på 500 m³/h

Vedlegg F – Laboratorieforhold for samtlige repetisjoner av alle eksperimenter

Tabell 23: Gjennomsnitt, maks.- og min.verdi av gjennomsnittsverdier for alle repetisjoner av samtlige eksperimenter.

Samtlige eksperimenter		Standardavvik	RSD %	
Grunnavtrekk luftmengde	Gj.snitt	35,4	5,83	16,48
	Maks	44,8		
	Min	21,5		
Grunnavtrekk temperatur	Gj.snitt	23,1	0,78	3,38
	Maks	24,5		
	Min	20,9		
Tilluftsluftmengde	Gj.snitt	149,6	42,41	28,35
	Maks	265,8		
	Min	77,2		
Tilluftstemperatur	Gj.snitt	22,5	0,90	4,00
	Maks	24,2		
	Min	20,6		
Lab. Temperatur	Gj.snitt	23,1	1,24	5,37
	Maks	26,5		
	Min	20,8		
CO2	Gj.snitt	492,8	33,70	6,84
	Maks	570,9		
	Min	435,1		
RH %	Gj.snitt	20,2	5,39	26,63
	Maks	34,0		
	Min	8,5		

Tabell 24: Tilluftsluftmengder og -temperaturer

Eksperiment	Tilluftstemperatur [°C]			Tilluftsluftmengde [m ³ /h]		
	Gj.snitt	Maks	Min	Gj.snitt	Maks	Min
Nulltester						
D_0_1	21,3	21,6	21,0	142,6	172,0	120,6
D_0_2	21,2	21,5	20,9	96,7	124,6	67,8
D_0_3	22,0	22,5	21,7	124,1	145,7	74,8
D_0_4	21,7	21,9	21,3	132,7	214,4	118,2
D_0_5	21,4	21,7	21,1	120,6	139,7	81,5
S_0_1	21,7	21,9	21,4	121,0	147,1	77,7
S_0_2	21,7	21,9	21,3	114,1	127,8	77,7
S_0_3	21,4	21,7	21,1	115,5	132,6	76,9
S_0_4	21,7	22,0	21,4	117,0	204,8	76,9
S_0_5						
D_PH_0_1	22,3	22,6	22,0	108,3	211,5	69,7
D_PH_0_2	22,6	22,9	22,3	102,4	124,0	69,5
Benkeventilator - uttrekking						
DE_108_1	23,2	24,2	22,5	134,2	237,4	74,4
DE_108_2	23,6	24,6	22,7	159,7	258,8	115,0
DE_108_3	24,0	25,1	23,2	146,6	262,3	76,7
DE_180_1	22,3	22,7	21,8	163,7	316,0	105,4
DE_180_2	22,3	22,8	21,7	171,5	345,1	108,3
DE_250_2	23,0	23,8	22,5	82,8	387,7	0,0
DE_250_3	23,8	24,7	23,2	195,9	421,8	99,3
DE_250_4	24,0	24,8	23,5	197,2	397,8	122,0
DE_350_1	22,9	23,8	22,3	200,2	518,4	72,9
DE_350_2	23,1	23,9	22,5	202,4	513,8	76,9
DE_350_3	23,7	24,5	23,0	218,1	535,2	118,8
DE_500_4	23,8	24,4	22,9	251,2	645,2	118,4
DE_500_5	24,2	25,0	23,6	265,8	679,8	122,0
DE_500_6	23,4	24,4	22,6	262,5	681,5	119,0
Benkeventilator - resirkulering						
DR_108_1	20,6	20,7	20,4	146,5	169,8	130,3
DR_108_3	22,1	22,3	21,9	119,4	139,3	76,7
DR_108_4	22,4	22,6	22,0	129,5	139,1	118,1
DR_250_2						
DR_250_3	22,8	23,8	21,9	145,9	397,6	73,3
DR_250_4	22,4	22,7	22,0	119,7	137,2	85,8
DR_350_3	22,0	22,2	21,7	116,3	144,1	44,1
DR_350_4	22,1	22,4	21,8	121,5	141,8	84,4
DR_350_5	22,5	23,2	22,0	136,7	234,5	76,9
DR_500_2	20,6	20,8	20,2	77,2	81,3	71,5
DR_500_3						
DR_500_4	22,2	22,5	22,0	127,6	147,1	103,1

Kjøkkenhette - uttrekking						
SE_108_2	23,8	24,2	22,5	134,2	237,4	74,4
SE_108_3	23,4	24,6	22,7	159,7	258,8	115,0
SE_108_4	22,8	25,1	23,2	146,6	262,3	76,7
SE_180_1	21,6	21,9	21,2	167,6	335,7	101,0
SE_180_2	21,6	21,9	21,1	174,6	335,1	116,5
SE_250_2	23,7	23,8	22,5	82,8	387,7	0,0
SE_250_3	23,6	24,7	23,2	195,9	421,8	99,3
SE_250_4	22,8	24,8	23,5	197,2	397,8	122,0
SE_350_3	23,8	23,8	22,3	200,2	518,4	72,9
SE_350_4	23,9	23,9	22,5	202,4	513,8	76,9
SE_350_5						
Kjøkkenhette - resirkulering						
SR_108_1	22,2	22,5	22,0	133,3	147,1	97,6
SR_108_2	22,0	22,2	21,8	120,5	154,7	77,5
SR_108_3	21,5	21,7	21,4	120,3	208,3	84,6
SR_250_1	21,8	22,1	21,4	126,7	147,1	109,6
SR_250_2	22,0	22,3	21,8	124,0	210,0	86,1
SR_350_1	22,0	22,2	21,9	121,2	147,3	96,0
SR_350_2	21,9	22,1	21,8	118,3	139,3	76,1
SR_350_3	21,6	21,8	21,4	124,7	147,3	76,9
Pannehøyde						
DE_PH_108_1	22,5	22,9	22,0	137,5	233,8	68,1
DE_PH_108_2	22,4	22,7	22,1	115,5	248,3	42,5
DE_PH_180_1	23,0	23,4	22,5	142,8	296,7	53,6
DE_PH_180_2	23,2	23,4	22,6	150,8	311,6	66,8
DE_PH_250_1	23,5	23,9	22,7	175,7	385,1	111,0
DE_PH_250_2	23,3	23,7	22,8	168,0	388,5	69,7
DE_PH_350_2	22,4	22,8	21,6	194,1	542,9	69,8
DE_PH_350_3	22,2	22,7	21,4	205,8	521,6	77,7

Tabell 25: Gjennomsnittlig lab. temperatur, CO2 og relativ fuktighet for alle repetisjoner

Experiment	Lab. Temperatur [*C]			CO2 [PPM]			RH%		
	Gj.snitt	Maks	Min	Gj.snitt	Maks	Min	Gj.snitt	Maks	Min
Nulltester									
D_0_1	21,3	21,3	21,1	549	597	486	29,8	32,0	27,7
D_0_2	21,3	21,4	21,2	539	598	490	19,7	22,4	18,4
D_0_3	22,9	22,9	22,8	520	555	501	25,3	26,3	24,0
D_0_4	22,9	23,0	22,9	456	525	419	24,1	25,6	22,5
D_0_5	21,3	21,5	20,8	485	506	429	14,6	15,8	13,3
S_0_1	23,3	23,5	23,1	489	536	468	23,6	25,2	22,8
S_0_2	22,9	23,1	22,7	475	498	456	20,1	21,3	19,0
S_0_3	22,4	22,5	22,3	571	602	549	19,9	21,1	18,0
S_0_4	23,4	23,5	23,0	492	528	447	12,7	14,7	11,0
S_0_5	22,6	22,9	21,8	475	524	417	27,2	29,8	25,5
D_PH_0_1	24,8	25,2	24,3	529	555	459	18,6	20,1	16,1
D_PH_0_2	25,1	25,4	24,6	518	533	496	18,9	20,1	17,5
Benkeventilator - uttrekking									
DE_108_1	22,8	22,8	22,7	518	555	480	20,5	21,6	19,3
DE_108_2	23,1	23,2	23,0	495	583	457	28,7	29,2	27,6
DE_108_3	23,5	23,6	23,4	495	566	461	25,4	25,9	24,6
DE_180_1	23,1	23,3	22,8	459	494	422	12,8	13,5	11,5
DE_180_2	23,3	23,4	23,1	453	531	417	13,6	16,1	11,9
DE_250_2	22,9	23,1	22,7	506	568	451	27,4	28,7	25,7
DE_250_3	23,4	23,4	23,2	486	531	421	24,8	25,6	23,5
DE_250_4	23,5	23,6	23,2	446	528	412	13,1	13,6	12,0
DE_350_1	22,4	22,5	22,2	480	539	428	18,8	19,6	17,7
DE_350_2	22,6	22,7	22,4	468	545	425	25,3	25,8	24,6
DE_350_3	23,1	23,2	22,9	449	537	406	24,4	25,1	23,4
DE_500_4	23,1	23,3	22,8	440	499	395	13,0	14,2	11,9
DE_500_5	23,6	23,7	23,3	448	493	391	12,1	13,0	10,5
DE_500_6	22,9	23,0	22,6	452	556	406	13,0	14,5	11,7
Benkventilator - resirkulering									
DR_108_1	21,1	21,2	20,9	470	507	440	21,7	23,4	20,3
DR_108_3	22,8	22,8	22,7	506	569	478	24,7	25,6	23,5
DR_108_4	22,8	22,8	22,7	528	646	467	23,9	24,9	23,0
DR_250_2	21,2	21,3	21,1	509	566	459	19,6	21,4	18,3
DR_250_3	22,6	22,8	22,5	542	600	500	23,9	24,9	22,4
DR_250_4	23,1	23,2	23,0	532	624	467	23,4	24,8	21,7
DR_350_3	22,5	22,6	22,4	532	591	489	19,8	21,0	18,9
DR_350_4	22,2	22,3	21,8	494	514	470	22,5	23,7	21,3
DR_350_5	23,0	23,2	22,9	551	603	503	23,6	24,7	22,4
DR_500_2	20,8	21,0	20,5	506	544	465	22,9	24,7	20,7
DR_500_3	20,9	21,1	20,6	541	587	500	19,6	21,6	17,3
DR_500_4	22,3	22,5	22,1	558	601	523	25,2	26,2	24,2

Kjøkkenhette - uttrekking									
SE_108_2	23,0	23,1	22,9	485	546	465	23,2	34,1	22,2
SE_108_3	22,8	22,9	22,6	456	481	431	21,3	21,9	20,6
SE_108_4	22,0	22,1	21,9	543	644	516	18,8	19,5	17,9
SE_180_1	23,0	23,1	22,8	446	545	419	24,8	25,6	24,0
SE_180_2	23,1	23,3	22,8	435	464	409	24,8	25,9	23,9
SE_250_2	22,5	22,7	22,2	494	537	461	24,5	25,6	23,5
SE_250_3	22,6	22,8	22,4	466	501	438	25,6	26,7	24,3
SE_250_4	21,6	21,8	21,1	534	557	499	19,3	20,0	18,1
SE_350_3	22,9	23,1	22,6	479	514	437	24,7	25,3	23,6
SE_350_4	23,0	23,2	22,6	463	493	428	23,1	23,8	22,4
SE_350_5	22,2	22,4	21,8	453	494	427	25,8	27,1	24,9
Kjøkkenhette - resirkulering									
SR_108_1	23,6	23,8	23,4	518	575	483	8,5	11,3	7,4
SR_108_2	23,7	23,8	23,4	501	538	470	12,9	14,5	11,9
SR_108_3	23,2	23,4	23,0	475	538	441	12,6	15,3	11,3
SR_250_1	23,3	23,6	22,8	552	578	526	11,1	12,8	9,8
SR_250_2	23,6	23,7	23,2	463	486	441	12,8	15,2	11,7
SR_350_1	22,8	23,1	22,2	474	505	455	13,7	15,9	12,1
SR_350_2	23,4	23,6	23,1	509	556	464	14,0	17,1	12,5
SR_350_3	22,8	23,0	22,4	500	562	449	13,2	15,5	11,7
Pannehøyde									
DE_PH_108_1	25,0	25,3	24,6	499	527	449	16,9	17,9	15,5
DE_PH_108_2	24,9	25,3	24,4	481	505	426	18,5	19,4	17,3
DE_PH_180_1	26,5	26,9	25,9	476	516	418	17,0	18,8	15,0
DE_PH_180_2	26,1	26,3	25,8	462	497	415	34,0	35,2	32,7
DE_PH_250_1	26,2	26,5	25,8	462	495	402	22,6	23,4	21,7
DE_PH_250_2	26,4	26,7	25,9	472	519	395	17,6	19,0	16,6
DE_PH_350_2	24,9	25,3	24,4	474	534	400	16,0	17,0	15,2
DE_PH_350_3	24,5	24,9	24,1	496	542	434	20,3	20,9	19,2

Experiment	Grunnavtrekk temperatur [*C]			Grunnavtrekk luftmengde [m3/h]		
	Gj.snitt	Maks	Min	Gj.snitt	Maks	Min
Nulltester						
D_0_1	21,6	22,0	21,4	32,5	35,0	30,0
D_0_2	21,7	22,1	21,2	32,2	30,0	33,8
D_0_3	23,2	23,6	22,8	35,8	46,6	16,3
D_0_4	22,8	23,2	22,4	32,3	47,0	25,9
D_0_5	21,6	22,0	21,0	26,7	44,0	1,2
S_0_1	22,8	23,2	22,5	38,8	48,3	26,7
S_0_2	22,5	23,0	22,1	32,7	41,0	13,3
S_0_3	22,1	22,5	21,8	21,5	35,9	2,9
S_0_4	22,9	23,3	22,2	42,2	48,3	27,7
S_0_5						
D_PH_0_1	24,2	24,6	23,8	29,9	42,8	0,0
D_PH_0_2	24,5	24,9	24,0	25,2	36,1	5,8
Benkventilator - uttrekking						
DE_108_1	23,1	23,5	22,7	30,9	47,4	9,2
DE_108_2	23,4	24,0	22,8	40,8	48,5	27,0
DE_108_3	23,8	24,2	23,5	41,2	55,0	26,8
DE_180_1	23,4	23,6	22,9	44,6	55,8	34,3
DE_180_2	23,6	24,0	23,2	44,5	52,9	32,4
DE_250_2	23,0	23,1	22,8	37,7	51,6	27,8
DE_250_3	23,7	23,9	23,4	44,8	57,5	32,2
DE_250_4	23,8	24,0	23,5	43,8	56,4	32,0
DE_350_1	22,7	22,9	22,4	33,8	55,4	14,0
DE_350_2	22,9	22,9	22,9	30,4	56,8	8,6
DE_350_3	23,4	23,8	23,1	41,5	53,1	28,8
DE_500_4	23,5	23,8	23,1	41,5	61,4	26,8
DE_500_5	23,9	24,2	23,6	43,6	74,8	30,7
DE_500_6	23,1	23,4	22,8	41,4	75,6	27,0
Benkeventilator - resirkulering						
DR_108_1	21,3	21,6	21,0	33,3	35,0	31,3
DR_108_3	23,0	23,5	22,5	37,2	49,1	17,8
DR_108_4	23,0	23,2	22,8	30,7	36,1	26,3
DR_250_2						
DR_250_3	21,3	21,7	21,0	24,6	36,4	0,0
DR_250_4	23,2	23,5	22,9	33,2	43,2	25,9
DR_350_3	22,8	23,3	22,4	26,5	46,8	0,0
DR_350_4	22,5	22,7	22,0	33,3	50,3	18,4
DR_350_5	23,2	23,8	22,6	33,4	49,1	3,3
DR_500_2	20,9	21,2	20,4			
DR_500_3						
DR_500_4	22,5	22,8	22,0	34,5	44,5	18,6
Kjøkkenhette - uttrekking						

SE_108_2	23,1	23,5	22,7	30,9	47,4	9,2
SE_108_3	23,4	24,0	22,8	40,8	48,5	27,0
SE_108_4	23,8	24,2	23,5	41,2	55,0	26,8
SE_180_1	22,5	22,8	22,1	31,0	44,3	24,4
SE_180_2	22,6	22,8	22,1	36,4	46,0	26,3
SE_250_2	23,0	23,1	22,8	37,7	51,6	27,8
SE_250_3	23,7	23,9	23,4	44,8	57,5	32,2
SE_250_4	23,8	24,0	23,5	43,8	56,4	32,0
SE_350_3	22,7	22,9	22,4	33,8	55,4	14,0
SE_350_4	22,9	22,9	22,9	23,1	23,1	23,1
SE_350_5						
Kjøkkenhette - resirkulering						
SR_108_1	23,2	23,6	22,8	36,3	45,1	25,9
SR_108_2	23,3	23,8	22,7	35,3	47,2	15,1
SR_108_3	22,7	23,2	22,3	39,5	47,6	28,2
SR_250_1	22,9	23,2	22,4	32,2	43,9	19,7
SR_250_2	23,1	23,6	22,6	30,7	39,7	18,8
SR_350_1	22,6	22,8	22,4	32,5	40,1	26,7
SR_350_2	23,0	23,4	22,5	36,5	47,8	9,8
SR_350_3	22,4	22,7	22,0	36,2	48,5	11,0
Pannehøyde						
DE_PH_108_1	24,5	24,8	24,1	27,7	41,4	21,9
DE_PH_108_2	24,2	24,6	23,9	40,7	48,8	19,0
DE_PH_180_1	23,2	23,9	22,5	30,0	44,3	1,5
DE_PH_180_2	23,8	24,1	23,0	33,5	48,7	6,0
DE_PH_250_1	24,1	24,3	23,8	35,5	51,2	25,8
DE_PH_250_2	23,5	24,4	22,9	28,8	50,8	0,0
DE_PH_350_2	24,2	24,5	23,8	34,2	44,9	2,0
DE_PH_350_3	23,9	24,2	23,5	37,9	58,7	25,9

Vedlegg G – Forsøksplan

Ukedag	Hva skal testes, luftmengder	
Benkeventilatoren - resirkulering		
Dag 1	500	<i>m3/h</i>
	350	
	0	
Dag 2	250	<i>m3/h</i>
	108	
	0	
Dag 3	500	<i>m3/h</i>
	250	
	108	
Dag 4	350	<i>m3/h</i>
	250	
	0	
Dag 5	500	<i>m3/h</i>
	350	
	108	

Ombygging til benkeventilatoren - uttrekking

Benkeventilatoren - uttrekking		
Dag 1	500	<i>m3/h</i>
	350	
	108	
Dag 2	250	<i>m3/h</i>
	350	
	108	
Dag 3	350	<i>m3/h</i>
	500	
	250	
Dag 4	500	<i>m3/h</i>
	250	
	108	
Dag 5	dataanalyser/ombygging	

Ombygging til kjøkkenheten - resirkulering

Kjøkkenheten - resirkulerende		
Dag 1	350	<i>m3/h</i>
	250	
	0	
Dag 2	250	<i>m3/h</i>
	108	
	0	
Dag 3	350	<i>m3/h</i>
	108	
	0	
Dag 4	350	<i>m3/h</i>
	250	
	108	
Dag 5	dataanalyser/ombygging	

Ombygging til kjøkkenheten - uttrekking

Kjøkkenheten - uttrekking		
Dag 1	350	<i>m3/h</i>
	250	
	108	
Dag 2	250	<i>m3/h</i>
	350	
	108	
Dag 3	108	<i>m3/h</i>
	350	
	250	
Dag 4	dataanalyser/ombygging	
Dag 5	dataanalyser/ombygging	