

Energieffektiv klimatisering

Plassering av detektorer for behovsstyrt ventilasjon

Kai Robert Vandsvik

Master i energibruk og energiplanlegging

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Medveileder: Johan Halvarsson, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosessteknikk

EPT-M-2013-117

MASTEROPPGAVE

for

Stud.techn. Kai Robert Vandsvik

Våren 2013

Energieffektiv klimatisering – Plassering av detektorer for behovsstyrt ventilasjon

Energy efficient climatization - Location of sensors for demand-controlled ventilation

Bakgrunn

For å tilfredsstille kravene til passiv- og lavenergibygninger er det som regel nødvendig å bruke en ventilasjonsløsning som reduserer ventilasjonsluftmengden når rom ikke er i bruk eller ikke utnyttes fullt ut.

Ved behovsstyring av ventilasjon etter luftkvalitet brukes det ofte CO₂ detektorer som er plassert i rommet eller i avtrekkskanal. Ved redusert luftmengde kan strømningsbildet i rommet endre seg slik at detektoren ikke måler en konsentrasjon som er representativ for konsentrasjonen i oppholdssonen. Oppgaven tenkes gjennomført som målinger i prøverom i laboratorium supplert med feltmålinger.

Måleresultater vurderes opp mot krav til inneklimate og forventede reduksjoner i energibruk.

Arbeidet ble påbegynt i prosjektoppgaven og føres nå videre i masteroppgaven.

Tilknytning: SINTEF forskningsprosjekt Reduced Energy Consumption in Buildings - Impacts on Indoor Air Quality and Health samt FME ZEB.

Mål

Overordnet mål med oppgaven er å bidra til å sikre godt termisk og atmosfærisk inneklimate med minst mulig energibruk i bygninger med behovsstyrt ventilasjon. Det skal vises hvordan ventilasjonseffektivitet og termisk og atmosfærisk inneklimate påvirkes av ulike sensorplasseringer hvor CO₂ brukes som indikator for luftkvalitet. Ulike sensorplasseringer prøves ut i prøverom i laboratorium for ulike tilluftsløsninger.

Oppgaven kan bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Med bakgrunn i teori for strømning i ventilerte rom og om ventilasjonens effektivitet (fra prosjektoppgaven) lages en forsøksplan for eksperimenter i laboratorium. Ventiltyper velges og plassering bestemmes. Tegninger/skisser for montasje utarbeides.
2. Litteraturgjennomgang med eventuell oppdatering i forhold til prosjektoppgaven. Behovsstyring av ventilasjon generelt. Sensorplassering. Strømning i rom med behovsstyring.
3. Installasjon i rom og instrumentering. Utprøving av måleteknikk og instrumenter. Kalibrering.
4. Målinger av ventilasjonens effektivitet, lufthastigheter og temperaturer for å karakterisere ventilasjonens godhet og inn klimaet for ulike tilluftsløsninger, sensorplasseringer og bruk av rommet.
5. Analyse og bearbeiding av måledata inklusive sammenligning med teoretiske beregninger

” - ”

Senest 14 dager etter utlevering av oppgaven skal kandidaten levere/sende instituttet en detaljert fremdrift- og eventuelt forsøksplan for oppgaven til evaluering og eventuelt diskusjon med faglig ansvarlig/veiledere. Detaljer ved eventuell utførelse av dataprogrammer skal avtales nærmere i samråd med faglig ansvarlig.

Besvarelsen redigeres mest mulig som en forskningsrapport med et sammendrag både på norsk og engelsk, konklusjon, litteraturliste, innholdsfortegnelse etc. Ved utarbeidelsen av teksten skal kandidaten legge vekt på å gjøre teksten oversiktlig og velskrevet. Med henblikk på lesning av besvarelsen er det viktig at de nødvendige henvisninger for korresponderende steder i tekst, tabeller og figurer anføres på begge steder. Ved bedømmelsen legges det stor vekt på at resultatene er grundig bearbeidet, at de oppstilles tabellarisk og/eller grafisk på en oversiktlig måte, og at de er diskutert utførlig.

Alle benyttede kilder, også muntlige opplysninger, skal oppgis på fullstendig måte. For tidsskrifter og bøker oppgis forfatter, tittel, årgang, sidetall og eventuelt figurnummer.

Det forutsettes at kandidaten tar initiativ til og holder nødvendig kontakt med faglærer og veileder(e). Kandidaten skal rette seg etter de reglementer og retningslinjer som gjelder ved alle (andre) fagmiljøer som kandidaten har kontakt med gjennom sin utførelse av oppgaven, samt etter eventuelle pålegg fra Institutt for energi- og prosesseteknikk.

Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del av besvarelsen. Hvis dokumentasjonen på risikovurderingen utgjør veldig mange sider, leveres den fulle versjonen elektronisk til veileder og et utdrag inkluderes i besvarelsen.

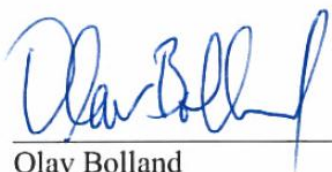
I henhold til ”Utfyllende regler til studieforskriften for teknologistudiet/sivilingeniørstudiet” ved NTNU § 20, forbeholder instituttet seg retten til å benytte alle resultater og data til undervisnings- og forskningsformål, samt til fremtidige publikasjoner.

Besvarelsen leveres digitalt i DAIM. Et faglig sammendrag med oppgavens tittel, kandidatens navn, veileders navn, årstall, instituttnavn, og NTNUs logo og navn, leveres til instituttet som en separat pdf-fil. Etter avtale leveres besvarelse og evt. annet materiale til veileder i digitalt format.

Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsmekanisk, varmeteknisk)

Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosessteknikk, 14. januar 2013



Olav Bolland
Instituttleder



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder: Johan Halvarsson

I. FORORD

Arbeidet med denne masteroppgaven er gjort ved Institutt for energi -og prosesssteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet (NTNU), våren 2013. Oppgaven er tilknyttet SINTEFs forskningsprosjekt Reduced Energy Consumption in Buildings - Impacts on Indoor Air Quality and Health, samt FME Zero Emission Buildings (ZEB).

Jeg vil takke min veileder Hans Martin Mathisen, professor ved EPT, som har bidratt med faglig støtte og konstruktive tilbakemeldinger i løpet av hele semesteret. Store deler av arbeidet har gått med i laboratoriet i forbindelse med montering og installering. I den sammenheng må jeg få rette en stor takk til Kim-Remi Andreassen og Lars Konrad Sørensen for god hjelp.

Likeså rettes en stor takk til Per-Erling Aune, Eskil Solberg og Torgim Tellefsen hos Swegon AS. Fra dem har jeg fått stor hjelp til delebestilling, igangkjøring, feilsøking og ikke minst problemløsning i forbindelse med ventilasjonsaggregat og aktive enheter som skulle samhandle.

Trondheim, 06. juni 2013

Kai Robert Vandsvik, Trondheim 06.06.13

Kai Robert Vandsvik,

Institutt for Energi – og prosesssteknikk, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet

II. SAMMENDRAG

Vi mennesker bor og jobber mesteparten av livene våre innendørs. Det vil si at et godt og tilfredsstillende inneklima er avgjørende for vår helse, velvære og grad av prestasjon. En stor andel av inneklimaet er de atmosfæriske – og termiske forhold, og disse er det satt klare krav til i lover, forskrifter og normer.

Tilfredsstillende atmosfæriske – og termiske forhold innendørs er energikrevende, og har medført at bygningssektoren står for en relativt høy andel av den totale energibruken. Skjerpede krav om energieffektivisering har blant annet resultert i større fokus på behovsstyring av luft. Ved behovsstyring oppnås tilfredsstillende nivå av frisklufttilførsel ved minst mulig energibruk til enhver tid, i form av redusert vifteenergi, energi for oppvarming og eventuelt kjøling av tilluften.

Optimal energigevinst ved behovsstyring er i stor grad avhengig av en korrekt gjengivelse av romluftens tilstand. For at dette skal oppnås må riktig styringsparameter og optimal plassering av detekterende sensor bestemmes.

Overordnet mål med oppgaven har vært å finne optimal plassering av detektorer ved behovsstyring av ventilasjon. Det er spesielt sett nærmere på behovsstyring ved bruk av aktive ventiler kontra passive ventiler i kombinasjon med VAV-sjeld. Målet har vært å få en oversikt over forskjellen i strømningsbilder disse to måtene å behovsstyre på medfører, hvordan de påvirker optimal plassering av detektor og hvordan de påvirker atmosfærisk og termisk luftkvalitet.

Resultatene fra denne oppgaven viser at plassering av detektor i oppholdssonen nærme forurensningene, kontra i avtrekk, gir mer korrekte luftmengder med hensyn til reell forurensning i rommet. Samtidig er det tydelig at plassering i avtrekk ikke medfører stor forskjell, ettersom at omrøringen og ventilasjonseffektiviteten i rommet er god og uavhengig av bruken. Fordelen med plassering i avtrekk er at detektoren er mindre sårbar i forhold til bruksmønsteret i rommet.

Variasjonene av CO₂-konsentrasjoner i rommet ved forskjellig bruksmønster er mindre ved bruk av aktive ventiler kontra passive ventiler. De aktive ventilene er også i større grad uavhengige i forhold til plassering av regulerende detektor og forskjellig bruksmønster. Undertemperert tilluft medfører bedre uttynning av den forurensede romluften i forhold til isotherm tilluft. Lufthastighetene i oppholdssonen er generelt høyere ved bruk av aktive ventiler, noe som trolig er årsaken til at ventilasjonseffektiviteten er høyere enn ved bruk av passive ventiler. Aktive ventiler opprettholder lufthastighetene oppunder himling i mye større grad enn det passive gjør ved ulike luftmengder. I oppholdssonen er denne fordelene så og si ikke merkbar.

III. ABSTRACT

People spend most of their lives indoor. Because of this, a good and satisfying indoor climate is essential for our health, well-being and performance. The indoor climate consists largely of atmospheric - and thermal conditions, and these have specific requirements stated in laws, regulations and norms. Satisfying indoor atmospheric and thermal conditions are energy demanding, and this is one of the reasons why the building sector accounts for a high proportion of the total energy consumption. Increased requirements regarding energy efficiency have led to a greater focus on demand-controlled ventilation; a principle which supplies enough air at all times with as little energy utilization as possible, in terms of reduced fan energy and energy for heating and cooling of fresh air.

Optimal energy conservation depends on accurate representation of the air condition in a room. To achieve this, one must decide the correct control parameter and optimal location of the sensor that detects the parameter(s).

The primary aim of the thesis has been to find the optimal location of detectors when demand-controlled ventilation is being used. It has been specifically looked at demand-controlled ventilation with the use of active diffusors versus passive diffusors combined with a damper. With these two different ways of running demand-controlled ventilation, the aim has been to get an overview of the differences in airflow patterns, how they differently affect optimal placement of detectors and how they differently impact on atmospheric and thermal air quality.

The results of this study show that placement of the detector in the occupied zone, close to the impurities, versus in the extract, provides more accurate airflow regarding the real pollution in the room. At the same time it is obvious that placement of the detector in the extract does not cause much of a difference, because the air dilution and ventilation efficiency are well maintained and independent concerning the use of the room. The advantage of placement in the extract is that the detector is less sensitive regarding the utility model of the room.

The variations of CO₂-concentrations with different utility models of the room are smaller when using active versus passive diffusors. The active diffusors are also more independent regarding to the location of the sensors and the different utility models of the room. Cooled supply air results in better dilution of the contaminated room air. The air velocities in the occupied zone are generally higher using active diffusors, which probably is the reason why the ventilation efficiency is higher than with passive diffusors. Active diffusors maintain air velocities beneath the ceiling to a greater extent than passive diffusors at different airflows. This benefit is not noticeable in the occupied zone.

IV. INNHOLDSFORTEGNELSE

I.	FORORD	I
II.	SAMMENDRAG	III
III.	ABSTRACT	V
IV.	INNHOLDSFORTEGNELSE	VII
V.	FIGURLISTE	1
VI.	TABELLISTE	2
VII.	NOTASJON	3
1	INNLEDNING	4
1.1	BAKGRUNN	4
1.2	MÅL	5
1.3	METODE	5
1.4	BEGRENSNINGER	5
2	BEHOVSSTYRING AV VENTILASJON	7
3	KRAV TIL INNEKLIMA OG LUFT INNENDØRS	9
3.1	LUKTKRITERIET, ATMOSFÆRISK MILJØ	10
3.2	KRAV TIL TEMPERATUR INNENDØRS, TERMISK MILJØ	10
4	STRØMNING I ROM	12
4.1	PRINSIPPER FOR TILFØRSEL AV LUFT	12
4.2	PARAMETERE MED STØRST PÅVIRKNING PÅ STRØMNINGEN I ROM	14
4.3	VENTILASJONSEFFEKTIVITET	18
5	BEHOVSSTYRING MED AKTIVE ELLER PASSIVE VENTILER	20
5.1	PASSIVE VENTILER	21
5.2	AKTIVE VENTILER	22

<u>6</u>	<u>SENSORER</u>	<u>24</u>
6.1	TYPER	25
6.2	PLASSERING	27
<u>7</u>	<u>MÅLINGER I LABORATORIUM</u>	<u>29</u>
7.1	TESTROMMET	29
7.1.1	TILRETTELEGGING AV TESTROM	30
7.2	METODE	33
7.2.1	FREMGANGSMÅTE	33
7.3	MÅLEMETODE OG LOGGEUTSTYR	34
7.3.1	TERMOELEMENTER	35
7.3.2	LUFTHASTIGHETSMÅLERE	36
7.3.3	CO ₂ -LOGGER	38
<u>8</u>	<u>RESULTATER OG DISKUSJON – FORSØK</u>	<u>40</u>
8.1	PLASSERING AV DETEKTORER I MØTEROM	40
8.1.1	CO ₂ - KONSENTRASJONER	40
8.1.2	LUFTHASTIGHETS- OG TEMPERATURFORDELING	48
8.2	SAMMENLIGNING AV PASSIVE OG AKTIVE VENTILER	52
<u>9</u>	<u>RESULTATER OG DISKUSJON - BEREGNINGER</u>	<u>56</u>
<u>10</u>	<u>DISKUSJON – OPPSUMMERING</u>	<u>59</u>
10.1	MØTEROMSSIMULERING	59
10.2	AKTIVE - PASSIVE VENTILER	61
<u>11</u>	<u>KONKLUSJON</u>	<u>62</u>
<u>12</u>	<u>FORSLAG TIL VIDERE ARBEID</u>	<u>64</u>
<u>13</u>	<u>REFERANSER</u>	<u>65</u>
<u>14</u>	<u>VEDLEGG A</u>	<u>68</u>
<u>15</u>	<u>VEDLEGG B</u>	<u>69</u>

V. FIGURLISTE

Figur 1 Tegning som viser definisjonen på oppholdssonen [Blom, 1999-1]	10
Figur 2 Sammenheng mellom PMV og PPD. [Blom, 1999-1].....	11
Figur 3 Omrøringsventilasjon og coandaeffekt. [Skåret, 1996-2]	13
Figur 4 Fortrengningsventilasjon – Tilluft direkte i nærsone. [Mysen, 2005]	13
Figur 5 Utbredelsesvinkel, hastighetsprofil og temperaturprofil for jetstråle. [Skåret, 1996]	14
Figur 6 Tilluftens strømning ved fortrengningsprinsipp. [Skåret, 1996]	15
Figur 7 Kaldras - Andel misfornøyde lik 15%. [Heiselberg, 1994]	17
Figur 8 To ulike prinsipp for oppbygging av behovsstyrte anlegg. [Maripuu, 2009].....	20
Figur 9 Oppbygging av aktiv ventil for behovsstyring. [Maripuu, 2009]	22
Figur 10 Opprettholdelse av strømningsbildet ved VAV-diffusorer(VSAD). [Swegon, 2012]	23
Figur 11 Fortrengningsventilasjon – sensorhøyde og luftmengde.[Sørensen, 2002]	28
Figur 12 Bilde av testrommet – tatt fra inngangsdøren.....	29
Figur 13 Modell av testrom og prosjektert ventilasjonsløsning.....	30
Figur 14 Aktiv ventil - Swegon Adapt, [Swegon.no]	30
Figur 15 Passiv ventil - Swegon CKPa, [Swegon.no]	31
Figur 16 Avtrekksventil - Swegon GRLc, [Swegon.no].....	31
Figur 17 Spirorør for simulering av menneske	31
Figur 18 Planskisse møterom som viser fordelingen av CO ₂	32
Figur 19 Bilde av skap for mottak av signaler fra følere i rom	34
Figur 20 Plan -og snittskisse for oppsett av termoelementer ved møteromsimuleringer	35
Figur 21 Plan -og snittskisse for oppsett av termoelementer ved ventiltesting	36
Figur 22 Figur som viser resultat av funksjonstest av lufthastighetsfølere.....	36
Figur 23 Plan -og snittskisse for oppsett av lufthastighetsfølere ved møteromsimuleringer.....	37
Figur 24 Plan -og snittskisse for oppsett av lufthastighetsfølere ved ventiltesting	37
Figur 25 Illustrasjon av oppsett for sampler og monitor ved logging av CO ₂ , [Lumasense.com]	38
Figur 26 Plan -og snittskisse for plassering av målepunkter for CO ₂	39
Figur 27 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved passiv ventil og sommertilstand	41
Figur 28 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved aktiv ventil og sommertilstand	41
Figur 29 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved passiv ventil og sommertilstand	43
Figur 30 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved aktiv ventil og sommertilstand	43
Figur 31 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved passiv ventil og vintertilstand	45
Figur 32 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved aktiv ventil og vintertilstand	45

Figur 33 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved passiv ventil og sommertilstand	46
Figur 34 Konsentrasjonsvariasjon av CO ₂ i rommet ved aktiv ventil og sommertilstand	47
Figur 35 Lufthastigheter i oppholdssonen ved vinter -og sommersimulering – høy personbelastning	48
Figur 36 Lufthastigheter i oppholdssonen ved vinter -og sommersimulering - lav personbelastning .	49
Figur 37 Lufthastigheter i oppholdssonen ved vinter -og sommersimulering - høy personbelastning	50
Figur 38 Temperaturfordeling i oppholdssonen ved bruk av passive og aktive ventiler	51
Figur 39 Fremstilling av lufthastigheter ved testing av passiv og aktiv ventil med lav luftmengde	52
Figur 40 Lufthastigheter i oppholdssonen ved testing av passiv og aktiv ventil med lav luftmengde..	52
Figur 41 Fremstilling av lufthastigheter ved testing av passiv og aktiv ventil med høy luftmengde	54
Figur 42 Lufthastigheter i oppholdssonen ved testing av passiv og aktiv ventil med høy luftmengde	54
Figur 43 Hastighet over tilluftsventil som funksjon av luftmengde ved passiv og aktiv ventil	56
Figur 44 Kastelengde for jetstråle som funksjon av luftmengde ved passiv og aktiv ventil.	57
Figur 45 Avløsning fra tak for jetstråle ved ulike undertemperaturer for passiv og aktiv ventil	58

VI. TABELLISTE

Tabell 1 Tabell med overordnede inneklimakrav [Blom, 2000]	9
Tabell 2 Oversikt over fordeler og ulemper ved omrøring og fortregning. [Sangnes, 2011].....	14
Tabell 3 Sensortyper - fordeler og ulemper og anbefalt bruksområde. [Sørensen, 2002]	26
Tabell 4 Tabell for forsøk i forbindelse med møteromssimuleringer.....	33
Tabell 5 Tabell for forsøk i forbindelse med testing av passive og aktive ventiler	34
Tabell 6 Plassering av målepunkter for CO ₂	40

VII. NOTASJON

CAV	Constant Air Volume	
DCV	Demand Controlled Ventilation	
IR	Infra-Red	
PPD	Predicted Percentage Dissatisfied	
PMD	Predict Mean Vote	
VAV	Variable Air Volume	
VOC	Volatile Organic Compound	
VSAD	Variable Air Supply Diffusor – aktiv ventil	
Ar_x	Arkimedes tall	[-]
Ar_0	Arkimedes tall ved åpning	[-]
ε	Kontraksjonsfaktor	[-]
I	Impulskoeffisient	[-]
I_3	Integrert dimensjonsløst profilintegral	[-]
I_4	Integrert dimensjonsløst profilintegral	[-]
g	Tyngdens akselerasjon	[m ² /s]
\dot{q}	Luftmengde	[m ³ /s]
SPF_{nom}	Spesifikk vifteeffekt ved tradisjonell drift	[kW/m ³ /s]
SPF_{red}	Spesifikk vifteeffekt ved behovsstyring av luften	[kW/m ³ /s]
U_0	Hastighet ved utløp	[m/s]
U_m	Maksimal hastighet	[m/s]
Z	Høyde	[m]
β_{luft}	Termisk ekspansjon	[1/K]
ρ	Tetthet	[kg/m ³]

1 INNLEDNING

1.1 BAKGRUNN

Norges vassdrags- og energidirektorat har hatt årlige målinger på totalt energibruk for yrkesbygninger siden 1979. Målingene viser at energibruken har steget med 80 % fra den gang og frem til i 2009. Det er dog tydelig å se en positiv trend i form av redusert stigningstakt fra 1996 og fremover, og i de siste årene har energibruken kun økt med 1 % per år. Forklaringen til denne trenden er sammensatt av flere faktorer, men det fremgår at mer energieffektive bygninger og bedre drift av de tekniske systemene i bygningene utgjør en betydelig del av dette (Magnussen et. al. 2011).

I løpet av de siste ti-årene har det stadig blitt skjerpede krav til energibruk i bygninger. Et eksempel på dette er regjeringen som i forbindelse med energibruk i den norske bygningsmassen skriver: «Energieffektivisering er den minst forurensende måten å frigjøre energi på, fordi det ikke krever inngrep i naturen eller bidrar til forurensende utslipp».(Regjeringen, 2005). De skjerpede krav til energieffektivitet og drift har innen luftbehandling medført et større fokus på prinsippet om behovsstyring av luft. Det vil si luftbehandlingsanlegg som regulerer luftmengder etter faktisk behov, altså en måte å spare energi på uten at det går på bekostning av inn klimaet.

Inneklimaets kvalitet er i stor grad bestemt av kvaliteten på inneluften, som igjen blir bestemt av de atmosfæriske og termiske forhold. Ved behovsstyring av luften, er det viktig at inn klimaets kvalitet ikke forringes av de varierende luftmengder. Lokale lufthastigheter og temperaturer samt forskjellige strømningsbilder vil påvirke termisk og atmosfærisk luftkvalitet. For at inn klimaet skal være tilfredsstillende uansett luftmengde, er det avgjørende at sensor som skal detektere den regulerende parameter er plassert mest mulig optimalt i rommet, slik at den kan gjengi et korrekt bilde på graden av forurensning. For å få et mest mulig likt strømningsbilde ved ulike luftmengder er aktive diffusorer en mulig løsning på markedet. Dette er derimot lite brukt så langt i løsninger med behovsstyrt ventilasjon i bransjen.

1.2 MÅL

Overordnet mål med arbeidet er å finne optimalisert plassering av detektorer ved behovsstyring av luft. Det skal spesielt sees nærmere på behovsstyring ved bruk av aktive ventiler samt passive ventiler i kombinasjon med VAV-spjeld. Målet er å få en oversikt over de forskjellige strømningsbilder disse to måtene å behovsstyre på medfører, hvordan de påvirker optimal plassering av detektor og hvordan de påvirker atmosfærisk og termisk luftkvalitet.

1.3 METODE

Oppgaven har vært et delt arbeid gjennomført som prosjektoppgave høsten 2012 og masteroppgave våren 2013.

Oppgaven er løst ved innledende litteraturstudier i prosjektoppgaven høsten 2012, samt i masteroppgaven. Litteraturstudiene omhandler behovsstyring av ventilasjon generelt, luftens strømming i rom, aktive ventiler (VSAD) og sensorer for bruk ved behovsstyring.

Testrommet i klimateknisk laboratorium ved NTNU bygges om i to omganger slik at forsøk med både aktive ventiler og passive ventiler i kombinasjon med VAV-spjeld er mulig å gjennomføre. Testrommet representerer et møterom med forskjellige personbelastninger, og omrøringsventilasjonen er behovsstyrt etter detektorens opplevde luftkvalitet. Det vil bli kjørt forsøk med forskjellige tilluftstemperaturer, og utetemperaturer slik at man også ser hvordan dette påvirker strømningsbildet i rommet.

1.4 BEGRENSNINGER

Behovsstyring av luft i næringsbygg kan gjøres på flere måter. Denne oppgaven tar kun for seg regulering ved bruk av CO₂-sensorer. Andre måter og regulere på er kun nevnt og diskutert.

Videre er oppgaven begrenset til å omhandle næringsbygg, nærmere bestemt møterom som én behovsstyrt sone.

De aktive og passive ventilene som er brukt i forsøkene har radielt spredningsbilde. Det er ikke kjørt forsøk med andre utblåsningsmønstre enn dette. Ved testing med kjølt tilluft, er det kun brukt undertempert luft på 5K i forhold til romluften.

2 BEHOVSSTYRING AV VENTILASJON

I tråd med energiøkonomiske verdier må ventilering av rom og lokaler tilpasses det nødvendige behovet til enhver tid. NS 15251 definerer behovsstyrt ventilasjon som *«ventilasjonssystem der luftmengden reguleres ut fra krav til luftkvalitet, fuktighet, personbelastning eller en annen indikator for ventilasjonsbehovet.»*

Energibesparelsen til behovsstyrte anlegg avhenger av flere parametere, blant annet rombelastning, driftstid, bruksmønster og anleggets oppbygning. Det er gjort flere studier på at man har en økonomisk profitt ved bruk av behovsstyrte anlegg, dette i størst grad ved tilfeller av store fluktuasjoner i rombelastning, som ved skoler og forsamlingslokaler. En reduksjon av luftmengden som følge av behovsstyring vil føre til redusert viftearbeid for tillufts- og avtrekksviften, samt redusert energibehov for oppvarming eventuelt kjøling av tilluften.

Det er ikke nødvendigvis slik at man sitter igjen med kostnadsbesparelse i alle tilfeller av behovsstyrte anlegg. Slike systemer er mer kompliserte i oppbygning enn tradisjonelle løsninger, noe som medfører flere komponenter, og sannsynlighet for flere feilkilder samt en økende kostnad både i prosjektering/bygging (investering) og for vedlikehold i driftsfasen.

Behovsstyring var tidligere lite brukt på grunn av komponenter som var økonomisk uforsvarlige i forhold til gevinsten man satte igjen med (Mathisen, 2012), samt at de var unøyaktige (Østerlie, 2012). Det var også et kjent problem at slike system ofte medførte et dårlig inneklima og vanskelig drift. Dette som en årsak av at prosjekterende og utførende har hatt begrenset kunnskap om disse sammensatte systemene, som videre har ført til dårlige valg av tekniske løsninger. (Maripuu, 2006, Fjerdingsgen, 2012). I dag er mange av «barnesykdommene» i forbindelse med behovsstyring rensket bort, men det er likevel fortsatt mange som assosierer behovsstyrt ventilasjon med trekkplager (Maripuu, 2006).

Fra 2015 og utover vil det bli satt krav til at alle nye byggverk skal ha behovsstyrt ventilasjon. For rehabiliteringsprosjekter vil det samme kravet komme fra 2020. (Mysen, 2010).

For å få et optimalt behovsstyrt anlegg, med lav energibruk, kort tilbakebetalingstid og færre problemer ved drift, må det i alle fasene av byggeprosjektet legges større vekt på VVS og automasjon. Kriterier av ekstra stor betydning, fra idéfase ved oppstart til driftsfase etter bygging er:

- Tilstedeværelsesmønster. Slik at optimal reguleringsparameter velges og riktig nominell luftmengde beregnes. Dette har innvirkning på dimensjonering av kanalnett og vifter, og det kan spare byggherre for både store investeringskostnader og driftskostnader. Eksempel på dette sees under kapittel 3.3.
- Sårbarhet i forhold til nøyaktighet på sensorer, samt plassering av sensorer (Davidge, 1991). Dette diskuteres nærmere i kapittel 5.
- Alle komponenter som skal inn på automasjonsnettverket må kunne kommunisere godt. Her bør det velges systemer som man vet fungerer sammen helt ned på detaljnivå (Østerlie, 2012).
- Strømningsbildet ut fra tilluftsventilen må være stabilt og uavhengig av tilluftsmengden, slik at man unngår store/lave lufthastigheter som videre fører til trekkfølelse.
- Tilluftsventilene må kunne takle store trykkfall uten å generere problematisk støy. Det samme gjelder for VAV-spjeldene i anlegg uten VAV-diffusorer.

3 KRAV TIL INNEKLIMA OG LUFT INNENDØRS

Vi mennesker oppholder oss innomhus i kunstige klima i cirka 90 % av vår totale levetid (Awbi, 1991). Det er med andre ord viktig at innemiljøet er tilfredsstillende, slik at vår helse, velvære og ytelsesgrad blir tilstrekkelig ivaretatt.

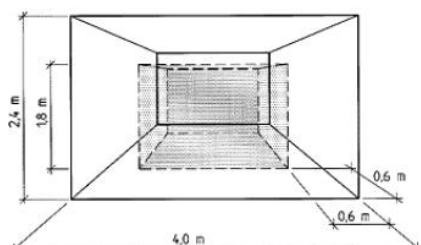
I næringsbygg er det særs viktig at den enkelte arbeidstaker jobber effektivt med tanke på kostnader og inntjening hos arbeidsgiver. De viktigste parameterne som påvirker inneklimaet er luftens forurensning, samt luftens temperatur og hastighet som sammen danner tilluftens strømningsbilde (Wargocki, 1998).

For at det skal være mulig å måle innemiljøets kvalitet, har man identifisert fysiske og kjemiske parametere, som har innvirkning på oss mennesker. Videre er det satt krav og normer til disse parameterne, for å holde dem innenfor et akseptabelt nivå. Selv om disse kravene og normene er oppfylt kan det være misnøye med det aktuelle innemiljøet. (Wargocki et al, 2012). På grunn av at vi mennesker er så ulike, og at innemiljøet oppfattes subjektivt, er det vanskelig å tilfredsstille alle som er tilstede. Derfor er det vanlig å dimensjonere romluftens kvalitet med utgangspunkt i en viss andel misfornøyde tilstede. Tabellen under er fra Norges byggforskningsinstitutt. Den viser overordnede krav til de vanligste inneklimaparametere. Kravene som finnes i Teknisk forskrift 2010 tilsvarer de som står under kategori 2.

	Person- belastning person/m ²	Kategori	Operativ temperatur		Maksimal lufthastighet		Tilført luftmengde l/s pr. m ² Lav-emitterende materialer
			Sommer °C	Vinter	Sommer m/s	Vinter	
Cellekontor	0,1	1	24,5 ± 1,0	22,0 ± 1,0	0,18	0,15	2,0
		2	24,5 ± 1,5	22,0 ± 2,0	0,22	0,18	1,4
		3	24,5 ± 2,5	22,0 ± 3,0	0,25	0,21	0,8
Kontor-landskap	0,07	1	Som cellekontor		Som cellekontor		1,7
		2	Som cellekontor		Som cellekontor		1,2
		3	Som cellekontor		Som cellekontor		0,7
Konferanserom	0,5	1	Som cellekontor		Som cellekontor		6,0
		2	Som cellekontor		Som cellekontor		4,2
		3	Som cellekontor		Som cellekontor		2,4
Auditorium	1,5	1	Som cellekontor		Som cellekontor		16,0
		2	Som cellekontor		Som cellekontor		11,2
		3	Som cellekontor		Som cellekontor		6,4

Tabell 1 Tabell med overordnede inneklimakrav [Blom, 2000]

Kravene til termisk komfort begrenses normalt til å gjelde innenfor en oppholdssone, og oppholdstiden hos mennesker i rom er for det meste innenfor denne (Blom, 1999-1). Oppholdssonen er normalt definert slik figuren under viser.



Figur 1 Tegning som viser definisjonen på oppholdssonen [Blom, 1999-1]

3.1 LUKTKRITERIET, ATMOSFÆRISK MILJØ

De generelle krav til ventilasjon som er å finne i teknisk forskrift omhandler kun krav til det atmosfæriske miljøet. Nødvendige luftmengder finnes via «addisjonsprinsippet», det vil si at man både ser på kroppslukt per person og emisjoner fra omhyllende flater, også sammenlignes dette med nødvendige luftmengder ved eventuelle forurensninger i rommet. Som tidligere nevnt vil denne oppgaven ta for seg kontorbygg og møterom. Det atmosfæriske miljøet i slike bygninger og rom har normalt ingen forurensninger fra prosesser, men kun luktstoffer fra mennesker og emisjoner fra omhyllende flater.

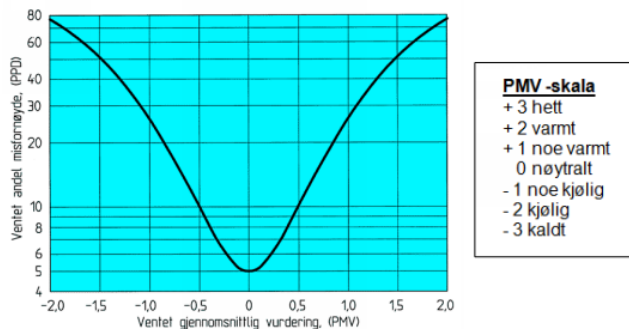
3.2 KRAV TIL TEMPERATUR INNENDØRS, TERMISK MILJØ

I tillegg til at ventilasjonsluft skal fjerne luktstoffer og eventuelle andre forurensninger, har den også som regel til hensikt å opprettholde et godt termisk inneklima. Krav og bestemmelser i forhold til dette finnes i NS-EN ISO 7730.

I behovsstyrte anlegg vil det ofte være den termiske parameteren som blir dimensjonerende (Mysen, 2005). Typisk et møterom med stor persontetthet, mye teknisk utstyr samt noe solinnstråling. For at man skal ha utnyttelse av gevinsten med behovsstyrte anlegg er det meget viktig å hindre og fjerne internlaste som medfører unødig høye luftmengder.

Det termiske inn klimaet omfatter de parametrene, som har innflytelse på vår termiske komfort, der termisk komfort er den sinnstilstand der vi uttrykker full tilfredshet med de termiske omgivelsene (P. Blom, 1999).

Disse faktorene kan sammensettes matematisk, slik at man får en sammenheng mellom forventet middelvurdering av det termiske inn klimaet (PMV) og antall misfornøyde tilstede (PPD). (NS-EN 15251:2007) Sammenhengen er vist i figuren under.



Figur 2 Sammenheng mellom PMV og PPD. [Blom, 1999-1]

Lufttemperaturen i et rom skal tilpasses bruken og funksjonen. Normalt for yrkesbygninger er en romtemperatur i intervallet 19-26 grader avhengig av sommer eller vinterforhold. Operativ temperatur, som er middelværdien av lufttemperatur og gjennomsnittlig strålingstemperatur, er i nye bygg antatt å være tilnærmet lik lufttemperaturen. Et resultat av de strenge krav som er satt til oppbygning av bygningskroppen.

Ofta kan man føle lokalt termisk ubehag når man sitter i en klimatisert sone. Dette forårsakes av (Halvarsson, 2012):

-Gulvtemperatur og vertikal lufttemperaturgradient

-Asymmetrisk strålingstemperatur, som er et resultat av at overflatene i et rom har forskjellig temperatur. Dette er selvfølgelig avhengig av utetemperaturen.

-Trekking, som er noe vi opplever når høy lufthastighet gir en uønsket lokal kjøling av kroppen. Det er først og fremst naken hud som er følsom for trekk.

Trekkingplager er normalt konsentrert til ansikt, nakke, hender og nedre del av beina. (Blom 1999-1). Trekk er en parameter sammensatt av luftens temperatur og hastighet samt turbulensen, og trekk kan fort oppstå ved høye lufthastigheter i oppholdssonen og hvis man har lave og underkjølte luftmengder over passive tilluftsventiler ved omrøringsventilasjon. Luften «dropper» ned i oppholdssonen.

4 STRØMNING I ROM

Luftens strømning i rom har direkte innvirkning på den opplevde atmosfæriske og termiske komfort hos brukere samt varmetapet gjennom bygningskroppen. Dette har videre innvirkning på energibruken i et bygg og kostnaden i form av arbeidsytelse og prestasjon for de ansatte.

Strømning i rom blir påvirket av tillufts -og avtrekksventilenes plassering og utforming. I tillegg til disse har følgende parametere innvirkning på strømningsbildet:

- Oppdriftskrefter
- Ventilasjonsmengde
- Tilluftens hastighet
- Rommets geometri
- Hindringer
- Ommøblering
- Varmekilder/kjølekilder
- Infiltrasjoner/utettheter

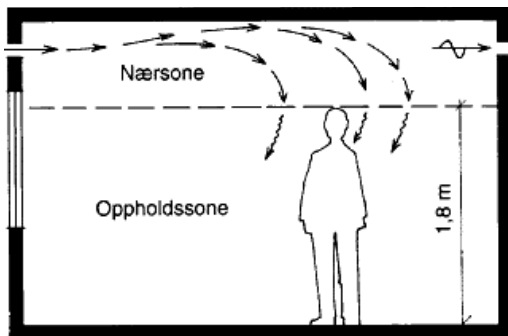
4.1 PRINSIPPER FOR TILFØRSEL AV LUFT

OMRØRINGSVENTILASJON

Omrøringsventilasjon er ventilering av rom med tilluft som blir tilført i relativ høy hastighet utenfor oppholdssonen. Ved å gjøre dette medejekteres forurenset romluft inn i tilluftstrålen, og man får en fortykning og omrøring av romluftens forurensninger.

Luftkvaliteten og temperaturen blir jevnt fordelt over hele rommets volum ved denne måten å tilføre frisk luft på. Figuren under viser et eksempel på tillufts –og avtrekkspunkt samt luftstrømmens gang ved omrøring. Det er også vanlig å bruke radielle takventiler for innblåsing. Av figuren ser man viktigheten av tilpasset kastelengde, slik at man unngår kortslutning mellom tilluft og avtrekk.

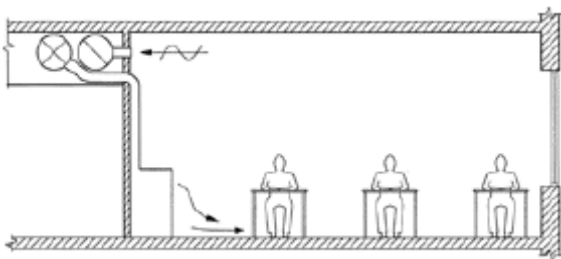
Ved behovsstyring kan det være krevende å opprettholde tilfredsstillende romluft. Dette er på grunn av at jetstrålene vil ha en lavere bevegelsesmengde og utbredelse, når det ventileres med reduserte luftmengder. Trekk kan forekomme (Mysen, 2005), eventuelt kan tilluft kortsluttes mot avtrekk ved uheldige plasseringer og medføre lav ventilasjonseffektivitet. Lav bevegelsesmengde vil også medføre en lavere grad av medejektering av omsluttende romluft, men om dette er proporsjonalt i forhold til forurensningskonsentrasjonen er usikkert.



Figur 3 Omrøringsventilasjon og coandaeffekt. [Skåret, 1996-2]

FORTRENGNINGSVENTILASJON

Fortrengningsventilasjon er ventilering av rom med tilluft tilført med lav hastighet direkte i oppholdssonen. Luftens bevegelse i rommet er videre påvirket av densitetsforskjellen mellom romluften og friskluften, samt plasseringen av tillufts – og avtrekksventil (Skåret, 2000). Tilluften er gjerne undertemperert for å oppnå lengst mulig horisontal strømning før oppdriften begynner på grunn av oppvarmingen. Det at man tilfører luften med så lav hastighet gjør at trekk kan unngås.



Figur 4 Fortrengningsventilasjon – Tilluft direkte i nærsone. [Mysen, 2005]

Ved behovsstyring vil det være mindre krevende å opprettholde tilfredsstillende romluft. Dette på grunn av at tilluften har så lav impuls i utgangspunktet ved nominelle mengder (Mysen, 2005). Trekk vil derfor ikke være et problem i denne sammenheng, dog kan det være vanskelig med opprettholdelse av tilstrekkelig ventilasjonseffektivitet.

Tabellen gir en fremstilling av fordeler og ulemper med de to forskjellige prinsippene å tilføre luft på i et rom.

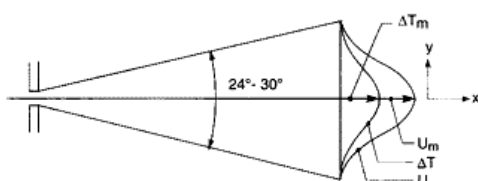
Ventilasjonsløsning	Fordeler	Ulemper
Omrørings-ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - Setter ingen begrensninger for møblering. - Ingen tilførsel av luft i oppholdssonen, gir liten sjanse for trekk. - Mye brukt løsning 	<ul style="list-style-type: none"> - Setter krav til en hvis lufthastighet i tiluftsventilen slik at bruk av hybrid eller naturlig ventilering er ugunstig.
Fortrengnings-ventilasjon	<ul style="list-style-type: none"> - Lavere lufthastigheter - Egnet ved hybrid/naturlig ventilasjon - Høyere ventilasjonseffektivitet en omrøring grunnet sjikting av luftforurensningene - Mer effektiv ved store kjølebehov 	<ul style="list-style-type: none"> - Setter krav til møblering og oppholdssone - Mindre egnet i mange små rom (f.eks cellekontorer)

Tabell 2 Oversikt over fordeler og ulemper ved omrøring og fortregning. [Sangnes, 2011]

4.2 PARAMETERE MED STØRST PÅVIRKNING PÅ STRØMNINGEN I ROM

TILLUFTSARRANGEMENT

Tilførselsventilene i omrøringsystemer kan sorteres i tre hovedgrupper, avhengig av egenskapene til luftstrålene som dannes. Uansett stråletype vil tverrsnittet av strålen vinkelrett på strømningsretningen øke med en åpningsvinkel på omtrent 25°, og bevegelsesmengden er konstant (Tjelflaat, 2012). Det vil si at hastigheten avtar og temperaturen utjevnes med økende avstand.



Figur 5 Utbredelsesvinkel, hastighetsprofil og temperaturprofil for jetstråle. [Skåret, 1996]

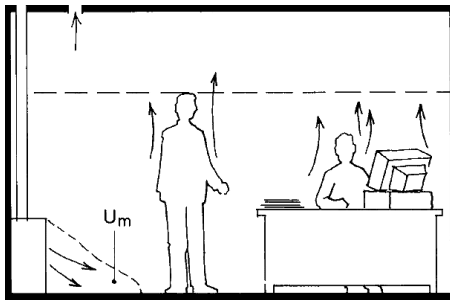
Uttrykk for hastighetens utvikling langs senterlinjen

$$U_m = U_0 \left[\frac{\rho_0 \cdot i \cdot A_0}{\rho_r \cdot \varepsilon \cdot A_s \cdot I_4} \right]^{\frac{1}{2}}$$

Uttrykk for temperaturens utvikling langs senterlinjen

$$\Delta T_m = \Delta T_0 \left[\frac{I_4 \cdot \varepsilon \cdot U_m}{I_3 \cdot i \cdot U_0} \right]$$

Tilluft i fortreningsystem er basert på lav hastighet tilført direkte i oppholdssonen, det vil si en mye lavere bevegelsesmengde på selve strålen. Luften som er litt undertemperert flyter ut på gulvet i tilnærmet radiell spredning (Skåret, 2000), og derfra vil det være passiv oppvarming og oppdriftskrefter som bestemmer strømningsbildet for luften.



Figur 6 Tilluftens strømming ved fortreningsprinsipp. [Skåret, 1996]

Lufthastighetens utvikling ut fra fortrenningsventil og utover gulvet er avhengig av utløpshastigheten, arealet på ventilen og oppdriften. [Nielsen et. al, 1988).

$U_x = U_0 K \left[\frac{\sqrt{A_0}}{x} \right]^n$, der oppdriften beskrives av K som er en funksjon av Arkimedestallet.

$$K = \text{Funk} \left[\frac{\sqrt{A_0} (T_R - T_t)}{U_0^2} \right]$$

OPPDRIFTSKREFTER

Luftens densitet avhenger av temperaturen. Dette gjør at det i rom med ulike temperaturer vil oppstå strømming. Når luft blir oppvarmet og stiger kalles dette for oppdrift. Likens vil luft som er undertempert og tilføres høyt i rom synke på grunn av høyere densitet. Dette utnyttes ofte ved omrøringsventilasjon.

Arkimedestallet er et forholdstall mellom oppdriftskreftene og treghetskreftene til en jetstråle. Dette er uttrykt som:

$$Ar_x = Ar_0 \left(\frac{\rho_r}{\rho_0}\right)^{0,5} \left(\frac{\xi}{i}\right)^{1,5} \frac{l_4^{1,5}}{l_3} \left(\frac{A_s}{A_0}\right)^{0,5} \left(\frac{b}{b_0}\right) = \frac{\text{Grashofs tall}}{\text{Reynolds tall}} \text{ (Tjelflaat, 2012)}$$

Der $Ar_0 = \frac{g b_0 \beta \Delta T_0}{U_0^2}$ og ΔT_0 er forskjellen mellom tillufts – og romtemperatur.

Tallet øker langs jetten på grunn av at bevegelsesmengden minker raskere enn forskjellen mellom romtemperatur og jettemperatur, og når en jet som tilføres oppunder en slett takflate oppnår et arkimedestall større enn 0,1-0,2, avhengig av varmekildenes plassering i rommet (Hestad, 1976), så vil den løsne fra taket, og bevege seg i større og større grad vertikalt mot oppholdssonen.

KALDRAS

Ved kalde utetemperaturer får man naturlige konveksjonsstrømmer ved kalde inner-fasader, som vinduer på grunn av forskjellen i temperatur på innvendig overflate og rom. Kaldras er et fenomen som ofte medfører termisk ubehag på grunn av hastigheten den fortyngede luften oppnår.

Hastigheten luftstrålen oppnår langs fasaden er avhengig av høyden på det kalde sjiktet, samt temperaturdifferansen mellom den kalde overflaten og rommet.

$$U_{max} = 0,54(g\beta\Delta T_f z)^{0,5}$$

Luftmengden den tar med seg ned langs fasaden er avhengig av de samme parametere.

$$q = 0,0114(g\beta\Delta T_f z)^{0,4} \times z^{1,2}$$

Kaldras må motvirkes for å være sikre på å unngå trekk langs randen av oppholdssonen.

Dette kan motvirkes enten ved å (Tjelflaat, 1996):

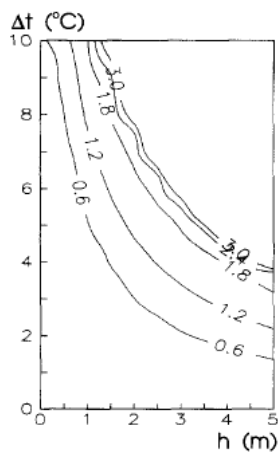
- Installere konvektivt varmeavgivende utstyr som «dreper» bevegelsesmengden til kaldraset ved hjelp av en konvektiv stråle. Dette er mest vanlig i dagens bygg.
- Oppvarming av innerglasset, sjelden brukt
- «Drepe» bevegelsesmengden til det ved å rette en luftstråle i motsatt retning.

Andel misfornøyde av en populasjon ved trekk som følge av kaldras kan beskrives på følgende måte;

$$PD = 13800 \left(\frac{v-0,04}{t_a-13,7} + 0,0293 \right)^2 - 0,000857 \text{ [%]}$$

v er gjennomsnittlig lufthastighet på trekken og t_a er temperatur på trekken/luftstrømmen

Ligningen gjelder for stillesittende personer med normal bekledning i oppholdssonen, og med en turbulensintensitet mellom 35-55%. (Heiselberg, 1994) Sammenhengen er også fremstilt grafisk med en andel på 15% misfornøyde.



Figur 7 Kaldras - Andel misfornøyde lik 15%. [Heiselberg, 1994]

4.3 VENTILASJONSEFFEKTIVITET

For å kunne sette kvantitative mål på hvor effektiv ventilasjonsluften som tilføres i et rom er, har man ventilasjonseffektivitet og luftvekslingseffektivitet som på ulike måter beskriver nettopp dette. (Tjelflaat, 2012). For hver av disse finnes det tilsvarende måltall for lokale punkter i rommet, som brukes ved forenkling når det ikke er mulig å måle de ulike tidsstørrelser, og for å finne lokale soners effektivitet.

Ventilasjonseffektiviteten er et måltall som sier noe om hvor godt forurensninger fjernes fra oppholdssonen. Dette tallet er forholdet mellom avtrekksluftens «alder» og forurensningens «alder» målt i avtrekket, og beskriver hvor effektivt forurensningene transporteres ut av oppholdssonen i forhold til en direkte transport ut av rommet uten omrøring (Tjelflaat, 2012). Ved fullstendig omrøring er ventilasjonseffektiviteten lik 1 (100 %), og dette tallet går mot uendelig ved direkte transport ut av rommet uten omrøring.

På grunn av at det kan være praktisk vanskelig å finne tidsstørrelsene som inngår i beregningen av ventilasjonseffektiviteten, blir det som oftest gjort en forenkling av måling og utregning. Man ser på et stasjonært tilfelle i form av en ventilasjonsindeks som angir forholdet mellom forurensningskonsentrasjonen i avtrekket og forurensningskonsentrasjonen lokalt i oppholdssonen.

$$\varepsilon = \frac{C_e - C_s}{C_i - C_s} , \quad \varepsilon_v = \frac{C_e}{C_i}$$

der:

C_e = forurensningskonsentrasjonen i avtrekket

C_s = forurensningskonsentrasjonen i tilluften

C_i = forurensningskonsentrasjonen i oppholdssonen

Mens ventilasjonseffektiviteten er et nyttig måltall på hvor effektiv ventilasjonen er i et rom med én eller få forurensningskilder, så er luftvekslingseffektiviteten et tilsvarende måltall som bør brukes i rom med flere forurensninger jevnt fordelt (Tjelflaat, 2012). Det vil si i vanlige rom med mennesker som forurensningskilder.

Luftvekslingseffektiviteten er et kvantitativt tall som kan beregnes og som er et mål på hvor effektivt luften blir skiftet ut i oppholdssonen. Tallet er forholdet mellom alderen på avtrekksluften og alderen på romluften.

Ved fullstendig (ideell) omrøringsventilasjon oppnås en luftvekslingseffektiviteten på 50 %.

Ved stempelstrøm oppnår man 100 %, mens for fortrenningsventilasjon ender man opp med en luftvekslingseffektivitet mellom 50 og 100 % (Tjelflaat, 2012).

Tidsstørrelsene som inngår i beregningen kan finnes ved bruk av sporgass. Utgangspunktet er tidsforløpet for sporgasskonsentrasjonen målt i det ventilerte rommet ved en plutselig endring i dosert sporgassmengde (Skåret, 1996).

$$\varepsilon_a = \frac{\tau_n}{2 \bar{\tau}_p}$$

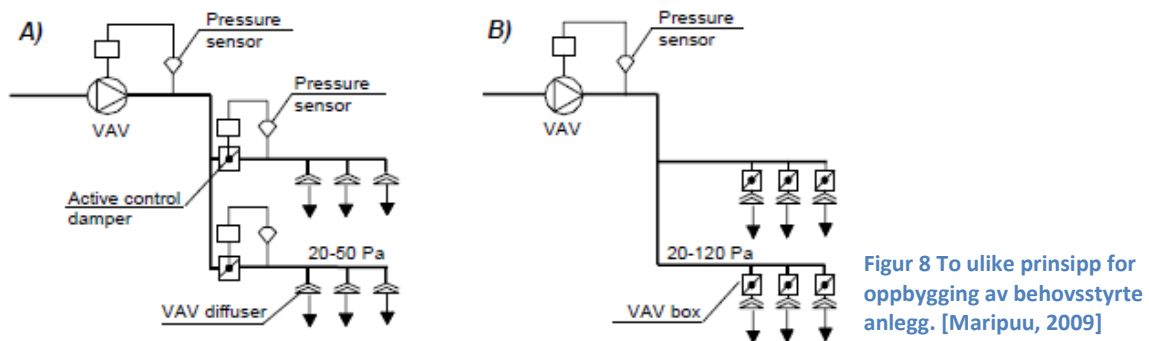
hvor:

τ_n = nominell tidskonstant, forholdet mellom romvolumet og tilluftsmengden

τ_p = Romluftens middelalder

5 BEHOVSSTYRING MED AKTIVE ELLER PASSIVE VENTILER

Behovsstyring kan løses ved å bruke aktive spjeld eller aktive diffusorer. Figuren under viser de to ulike måtene å tilføre forskjellige luftmengder på.



Den mest benyttede måte å tilføre tilluft på ved behovsstyring er ved aktive spjeld og passive ventiler (Maripuu, 2006), som vist i figur A. En stor grunn til dette er at passive ventiler, som blir brukt i forbindelse med CAV-ventilasjon, har eksistert så mye lengre på markedet i forhold til aktive ventiler. I rådgivende bransje sier erfaringstall at det i 80-90 % av tilfellene blir brukt denne type løsning (Østerlie, 2012).

Blant studier om behovsstyring så omhandler i stor grad alt løsninger med aktive VAV-spjeld i kanalnettet og passive diffusorer. Leverandører har skrevet varmt om løsninger med aktive diffusorer, men uavhengige studier og litteratur om behovsstyring med slike ventiler er nesten ikke mulig å finne, bortsett fra i Mari-Liis Maripuus tese for Teknologie Licentiat levert i 2006. Her har hun blant annet tatt for seg VAV-diffusorer. Hun nevner at behovsstyring ofte blir assosiert med trekkplager, og hun har derfor kjørt forsøk med aktive ventiler for å se hvordan disse takler varierende luftmengder, og hvordan dette påvirker de termiske forhold.

I denne oppgaven har jeg sett nærmere på forskjellen mellom aktive og passive ventiler ved behovsstyring. Radiell innblåsning fra tak er valgt, ettersom de fleste aktive ventiler som er å finne på markedet er av denne sorten.

Luftstrømmen fra radielt strømmende tilluftsventiler blir påvirket av coandaeffekten som kleber strålen opp til takflaten samt negativ oppdrift som trekker strålen fra takflaten og ned i rommet. Denne negative oppdriften øker med større forskjell mellom tillufts- og romtemperatur (Maripuu, 2006). Når den negative oppdriftskraften overvinnes coandaeffekten, vil tilluftsstrålen slippe takflaten, og bevege seg mot oppholdssonen. Dette kan i mange tilfeller føre til for høye hastigheter, og hvis luften i tillegg er underkjølt, så vil dette resultere i trekkfølelse (Maripuu, 2006).

Coandaeffektens styrke er ansett til å være proporsjonal med kvadratroten til tilluftens utløpshastighet, og hvis utløpsarealet er konstant, som ved passive ventiler, vil utløpshastigheten falle direkte proporsjonalt med den reduserte ventilasjonsmengden. Dette vil videre føre til at coandaeffekten overvinnes og tilluften dumper rett ned etter at den har passert utløpet på diffusoren (Maripuu, 2006).

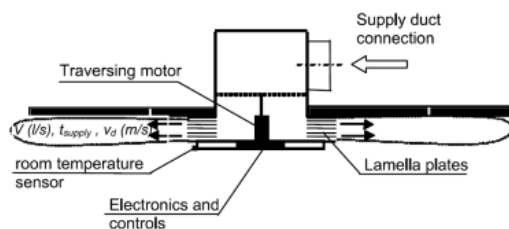
5.1 PASSIVE VENTILER

Passive ventiler med konstant åpningsareal må brukes i sammenheng med VAV-spjeld. I forbindelse med behovsstyring av luft, så er denne løsningen mest brukt. Denne måten å modulere forskjellige luftmengder på medfører ulike strømningsbilder på grunn av ulike lufthastigheter over tilluftsventilen. Dette kan videre medføre dårlig termisk og atmosfærisk komfort i form av kaldras og høye lokale lufthastigheter som nevnt over, i tillegg til dårlig omblending og utskifting av luft samt store vertikale luftgradienter. Faren for at dette skjer kan minskes betraktelig ved å bruke en ventil med gode induserende egenskaper (P.E. Aune, 2013). Likevel kan ikke faren for trekk utelukkes, og ved for store luftmengdevariasjoner over konstante ventilareal er det stor sannsynlighet for at spesielt lokalt høye lufthastigheter vil oppstå (Maripuu, 2006).

5.2 AKTIVE VENTILER

Aktive ventiler (Variable Supply Air Diffusers, VSAD) er ventiler som regulerer utløpsarealet etter luftmengde og -behov. Det vil si at man har både spjeld og ventil i samme enhet hvis man sammenligner prinsippet opp i mot behovsstyring ved hjelp av passive ventiler.

Grunntanken med aktive diffusorer er å opprettholde konstant lufthastighet på tilluften ved ulike luftmengder, slik at man slipper problematikken med liten coandaeffekt, tidlig takløsning og kaldras samt andre termiske og atmosfæriske problemer som dette medfører.



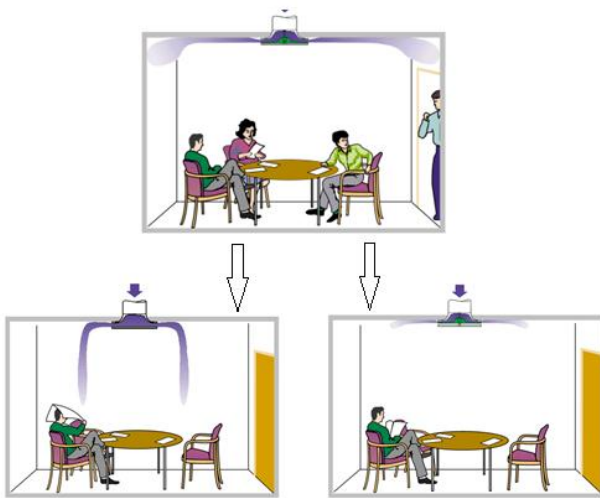
Figur 9 Oppbygging av aktiv ventil for behovsstyring. [Maripuu, 2009]

Slike diffusorer har lenge eksistert på markedet, men blitt lite brukt i bransjen.

For at aktive diffusorer skal fungere på en optimal måte, må den ha følgende egenskaper (Maripuu, 2006):

- Tilluftsmengden må være uavhengig av trykkvariasjoner i kanalen.
- Det må være mulig med høye trykkfall over diffusoren, minimum 100Pa, uten at lydproblematikk blir et tema.
- Diffusoren må kunne regulere fra 5 % til 100% av nominell luftmengde.
- Tilluftens strømningsbilde må være stabilt og uavhengig av tilluftsmengden, slik at man oppnår god omblending og unngår kaldras.
- Det må være mulig å tilføre 15 graders tilluft eller lavere uten risiko for trekkplager.
- Kostnaden må være akseptabel med tanke på en livssyklusanalyse.

Resultater fra Maripuu's tese fra 2006 viser at man ved bruk av aktive diffusorer unngår kaldras. Hun fikk fremprovosert trekkfølelse i 10 % av målepunktene ved maksimal luftmengde, ellers var alle målinger innenfor de anbefalte nivå. Videre kunne det fastslås at det ved bruk av slike diffusorer er viktig å ha en stor bevegelsesmengde ved alle luftmengder. Det vil sørge for gode induserende egenskaper slik at man får blandet den undertempererte tilluften med romluft ved alle forskjellige tilluftsmengder.



Figur 10 Opprettholdelse av strømningsbildet ved VAV-diffusorer(VSAD). [Swegon, 2012]

6 SENSORER

Ytelsen på behovsstyrte ventilasjonsanlegg og energisparingen som oppnås er sterkt avhengig av sensorene som er installert. Sensoren skal detektere inneluftens kvalitet og overvåker derfor de ulike tilstandene som er styrings- og reguleringsparametere. Ingen sensor kan måle og detektere luftkvalitet direkte. Derfor må kvantitative parametere, som luftens blandingsforhold av partikler, gasser med mer linkes opp i forhold til oppfattet kvalitet på luften (Maripuu, 2009). Type sensor må tilpasses det aktuelle rommet som skal overvåkes. Nøyaktigheten og optimal plassering er essensielt for hvor godt de kan gjengi et korrekt bilde av romtilstanden (Emmerich).

Mest brukt frem til i dag er trådbundne sensorer som enten detekterer temperatur, fuktighet, flyktige organiske forbindelser (VOC), CO eller CO₂, eventuelt en kombinasjon av flere. (Fjerdingen, 2012) I senere tid har det også kommet trådløse sensorer på markedet, som et resultat av utviklingen innen svakstrøm og automasjon.

For sensorer som skal brukes i forbindelse med overvåkning, regulering og styring av inneklimaet, så er det en del krav og spesifikasjoner som bør tilfredsstilles (Maripuu, 2009):

- Responstiden må ikke være for lang
- Presis
- God stabilitet, uten behov for manuell re kalibrering
- Langtidsstabilitet
- Tilfredsstillende nøyaktighet og god oppløsning over hele målespekteret
- Holdbar for de kjemiske og termiske forhold som den utsettes for
- Kalibrering på en sikker måte
- Tilfredsstillende stabilt utgangssignal med lite støy
- Estetisk pen og ikke unødvendig stor og klumpete
- Lett å installere

6.1 TYPER

Det finnes ingen sensorer som kan måle luftens kvalitet direkte. For å få et representativt bilde av kvaliteten på luften, må man heller måle forurensninger kvantitativt, og linke det opp mot de ulike kilders grenser som finnes i lovverket.

For detektering av luften i kontorbygg og møterom, som det skal sees nærmere på i masteroppgaven, så er det enten tilstedeværelse, temperatur eller lukt som er aktuell parameter for behovsstyringen eventuelt en kombinasjon av disse.

CO₂

Karbondioksid er en mye brukt indikator i rom hvor mennesker og deres aktivitet er hovedkilden til forurensninger (Dwyer, 2012). Mengden av karbondioksid er omtrent proporsjonal med mengden av andre bio-effluenter, og disse er videre proporsjonale med antall mennesker og deres aktivitetsnivå og størrelse.(Dwyer, 2012). CO₂-sensorer har et analogt utgangssignal som kan brukes for modulerende regulering for eksempel en VAV-enhet som regulerer åpning fra 30-100%.

Generelt kan man si at denne parameteren bør brukes i rom hvor (Davidge, 1991):

- Man har forskjellig persontetthet til enhver tid.
- Man har kontinuerlig varme -og kjølebehov
- Omhyllende flater består av lav-emitterende materialer

En studie gjort i California av W. Fisk et. al. i 2009 som omhandlet nøyaktigheten på CO₂-sensorer, avdekket at avviket innen nøyaktighet var altfor stort. Blant annet ble det målt avvik ved CO₂-konsentrasjoner på 1010 ppm, der gjennomsnittlig målefeil var på +/- 138 ppm, dvs. 13,6%. Hele 40% hadde et avvik større en kravet som er satt i California hvor studien ble utført, og så mye som 13% hadde avvik større enn +/-300 ppm. Det ble ikke funnet en signifikant sammenheng mellom sensorenes alder og målenøyaktighet, så det var ingenting som tydet på at det ville hjelpe å skifte ut gamle sensorer med nye.

Prisforskjellen mellom CO₂-sensorer og bevegelsessensorer har tidligere vært stor, men de siste årene har de nærmet seg hverandre (Bøe, 2012), noe som mest sannsynlig vil føre til en enda hyppigere bruk av CO₂ som parameter i fremtiden.

TEMPERATUR

Temperatur kan brukes som parameter for å opprettholde en godt termisk inneklima, men temperatursensorer blir som regel mye brukt i kombinasjon med andre sensorer. Det på grunn av at man ikke nødvendigvis er sikret god luftkvalitet, så lenge den termiske komforten er god. Som CO₂-sensoren har temperatursensoren et analogt utgangssignal som kan brukes for modulerende regulering.

TILSTEDEVÆRELSE

Tradisjonelle bevegelsessensorer indikerer kun om rom er i bruk eller ikke. Det vil si at slik styring er effektiv når man vet eksakt antall personer som bruker rommet, slik at man kan forhåndsinnstille styringsmengden på forhånd (Dwyer, 2012). Disse sensorene er i stadig utvikling, selv om det har vært større utvikling på de forannevnte sensorer, og for fremtiden kan det fort være bevegelsessensorer som er mest nøyaktig, hvis man klarer å lage prisgunstige sensorer som teller antall tilstedeværende (Dwyer, 2012). Dette samt muligheten for å legge inn aktivitetsnivå som en reguleringsparameter ville gitt en meget nøyaktig gjengivelse.

En oversiktlig fremstilling av de ulike sensortyper med anbefalt bruksområde og ulike fordeler og ulemper er vist i tabellen fra B. Sørensen (2002):

Type sensor	Reguleringsprinsipp	Grenseverdi (anbefalt)	Fordeler	Ulemper	Anbefalt bruksområde
CO ₂	CO ₂ konsentrasjonen i rommet	800ppm	Tar hensyn til aktivitetsnivå, personbelastning	Tar ikke hensyn til andre forurensninger	Møterom med høy personbelastning
Bevegelse	Tilstedeværelse	-	Kan også styre lys	Tar ikke hensyn til aktivitetsnivå, personbelastning, lukt	Kontor
Temperatur	Romtemperatur	22°C	Tar hensyn til aktivitetsnivå, personbelastning	Tar ikke hensyn til lukt	Kontor
Fukt	Fuktinnhold i luften	50%	Tar hensyn til fuktproduksjon i rommet	Tar ikke hensyn til lukt	Svømmehall
(Tid)	Forutbestemt bruksmønster	-	Enkel, billig	Tar ikke hensyn til varierende bruksmønster	
VOC/IAQ	Luftkvalitetsføler			Skiller ikke mellom uskadelige og giftige gasser	Industri, lokaler med stor materialbelastning

Tabell 3
Sensortyper - fordeler og ulemper og anbefalt bruksområde. [Sørensen, 2002]

6.2 PLASSERING

Korrekt plassering av sensorer er avgjørende for at den behovsstyrte ventilasjonen skal fungere optimalt. Optimal plassering muliggjøres ved at viktigheten av det kommer frem til alle parter i tidlig byggefase, ettersom at trådbundne sensorer er avhengige av en plassering hvor føringer kan legges skjult (Fjerdingen, 2012). Et godt alternativ som gjør at man ikke trenger å ha et så bevisst forhold til plassering underveis i byggesaken er trådløse sensorer.

Riktig plassering avhenger av ventilasjonsprinsipp, sensortype, rommets utforming og bruk, plassering av forurensningskilder og temperaturforhold (Mysen, 2005). Steder sensorer åpenbart ikke bør plasseres, som på yttervegg, like ved vinduer og dører, rett over varmekilder eller i direkte sollys må unngås (Maripuu, 2009), da dette vil gi en feilaktig gjengivelse av romluftens tilstand.

Bevegelsessensorer må åpenbart plasseres med uhindret utsikt til bevegelse slik at den faktisk kan registrere den. Det vil si at møblering og innredning er avgjørende elementer for plasseringen av den.

Ofte kan det være små detaljer som blir avgjørende for hvor godt sensorene registrerer romluftens tilstand. Et eksempel på dette er at man ved bruk av både temperatur og CO₂-sensor, som ofte plasseres på samme sted, må passe på å ha CO₂-sensoren øverst, ettersom denne produserer varme, og ville gitt feilmåling for temperatursensoren (Tjelflaat, 2012).

I rom hvor personer er lokalisert i forskjellige høyder, som auditorium, kan det være fordelaktig å installere CO₂-sensor ved høyt nivå, og temperatursensor både oppe og nede (Dwyer, 2012).

OMRØRINGSVENTILASJON

Ved omrøringsventilasjon og god omrøring er det i prinsippet en jevn forurensningskonsentrasjon i hele rommet. Med utgangspunkt i dette skal man kunne plassere detektoren hvor som helst. Billigste løsning, som er en drivende faktor for slike avgjørelser, medfører at de ofte installeres i avtrekkskanal (Dwyer, 2012). Ved plassering i avtrekkskanal må man påse at det ikke er lekkasjer fra kanal til omgivelser, da dette kan gi uttynning av den forurensede luften og et feilaktig bilde av romluftens tilstand (Mysen, 2005).

Selv om man tilstreber omrøringsventilasjon, vil det i praksis ofte oppstå konsentrasjonsgradienter og dødsoner (Mysen, 2005). Dette vil i større grad skje ved behovsstyring både ved bruk av CAV og VAV-ventiler, ettersom kastelengde og avløsning fra tak for jet stråle ikke opprettholdes i like stor grad ved reduserte luftmengder. I forbindelse med behovsstyring bør det derfor legges enda mer vekt på risiko for trekk i forhold til hvor ventilene og sensorene plasseres.

Hvis sensoren plasseres i rommet, bør den plasseres mest mulig sentralt i oppholdssonen (Mysen, 2005).

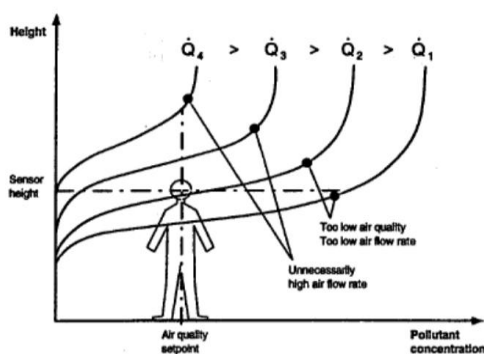
FORTRENGNINGSVENTILASJON

Ved fortreningsventilasjon er det viktig at sensorene plasseres i riktig høyde. I rom med fortrenning hvor lett undertemperert luft tilføres med lav hastighet direkte i oppholdssonen, vil en sjiktning oppstå ved en viss høyde, avhengig av tilluftsmengde og varmeavgivelse i rommet. CO₂-sensor bør normalt plasseres i ansiktshøyde for sittende personer, slik at man er sikret at forurenset sone ligger over denne høyden (Dwyer, 2012) På denne måten er det hele tiden god ventilasjonseffektivitet i sonen hvor mennesker oppholder seg (Mysen, 2005).

Temperatursensorer er anbefalt å settes i en høyde på 0,2 – 0,5m over gulv (Dwyer, 2012).

Ved behovsstyring vil det ikke bli så store forskjeller i prinsipiell plassering av sensor, ettersom at tilluften tilføres med lav hastighet i oppholdssone uansett mengde, og strømningsbildet vil være noenlunde det samme, selvfølgelig avhengig av rommets geometri og møblering.

Figuren viser sammenhengen mellom sensorhøyden, tilluftsmengden og konsentrasjonen av forurensninger.



Figur 11 Fortreningsventilasjon – sensorhøyde og luftmengde. [Sørensen, 2002]

7 MÅLINGER I LABORATORIUM

7.1 TESTROMMET

Forsøkene ble gjennomført i testrommet i klimateknisk laboratorium ved NTNU. Rommet er 8,73 m langt, 7,03 m bredt og 3,25m høyt målt fra gulv til underkant himlingsplater. En del av rommet er i dag et eget mindre rom for kjøring av småskala forsøk.



Figur 12 Bilde av testrommet – tatt fra inngangsdøren

Veggen med vinduene kan kjøles ned og på denne måten representere en yttervegg. Det er fire vinduer med treramme og tolags glass med luft i mellom på denne veggen. Veggen har en ureell høy U-verdi i forhold til dagens bygninger. For å kompensere for den virkelige U-verdien i forhold til U-verdien som det stilles krav til i TEK 10 ble kjøleromstemperaturen satt til $7,5^{\circ}\text{C}$. Denne verdien tilsvarer en utetemperatur på -10°C ved varmetap gjennom en TEK10-vegg. Beregningen finnes i vedlegg B.

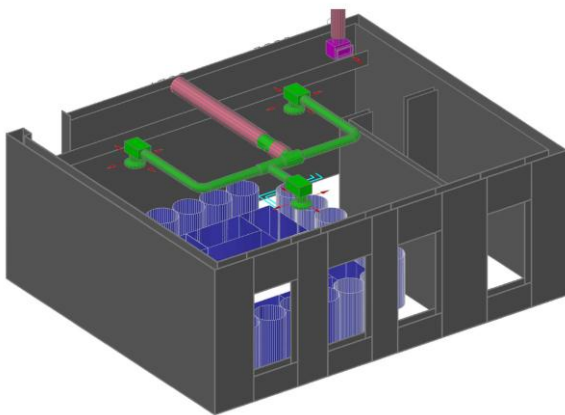
De resterende vegger, sammen med gulv og tak vender mot rom med normal innendørs arbeidstemperatur. Det vil si at det forenklet vil være tilnærmet lik temperatur i testrommet og de tilstøtende rom, bortsett fra den ene veggen, hvor vi får simulert utendørs vintertilstand.

Fire lamper som henger 35 cm under himlingen utgjør belysningen i rommet. Hver lampe har to lysrør, hver på 28 W. Disse blir plassert slik at de gir godt lys for elevene, samt at de påvirker tilluftsbildet i minst mulig grad.

7.1.1 TILRETTELEGGING AV TESTROM

KANALNETT

Før rommet kunne brukes til forsøk, måtte kanalnettverk bygges om. Eksisterende system var tilluftsventiler med bakkantinnblåsning. For å få sammenlignet de aktive radielle ventilene med passive, så burde også disse ha radiell innblåsning. I samarbeid med Swegon fant jeg passive og aktive ventiler med samme ventilfront og innblåsningsprinsipp. Luftmengder ble prosjektert i henhold til kravene i teknisk forskrift og veiledning fra kompetansebiblioteket (Rehn, 2009). Deler ble så bestilt og med god hjelp fra ansatte ved NTNU, fikk vi montert nettverket slik jeg hadde prosjektert det.



Figur 13 Modell av testrom og prosjektert ventilasjonsløsning

VENTILER

Aktiv ventil var av typen Swegon Adapt Sphere. Luftmengdereguleringen tas over selve utblåsningsarealet. Den nederste tallerkenen justerer seg opp-ned avhengig av detektert signal fra CO₂-sensor.



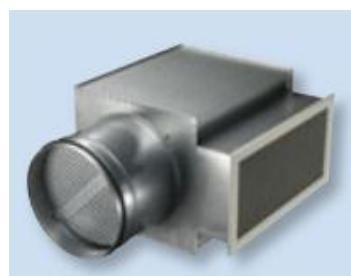
Figur 14 Aktiv ventil - Swegon Adapt, [Swegon.no]

Passiv ventil var av typen Swegon CPKa. Denne har på samme måte radiell utblåsning, men den nederste tallerkenen kan ikke bevege seg. Dette medfører konstant utblåsningsareal, og varierende hastighet og bevegelsesmengde på tilluften.



Figur 15 Passiv ventil - Swegon CPKa, [Swegon.no]

Avtrekksventilen var av type Swegon GRLc, som er en enkel rist med kammer i bakkant med mulighet for justering av trykkfall og luftmengde.



Figur 16 Avtrekksventil - Swegon GRLc, [Swegon.no]

SPIRORØR – FOR SIMULERING AV MENNESKER

For å simulere mennesker i forbindelse med møtene som skulle simuleres, ble det brukt spirokanaler. Disse rørene var brukt i forbindelse med tidligere forsøk hvor de også har gjenspeilet mennesker. Spirokanalene var av størrelse $\varnothing 400$ mm. De var montert på føtter og totalhøyden var 1,3m. Rørene var i begge ender plugget, slik at man hadde kontroll på konveksjonen gjennom dem.

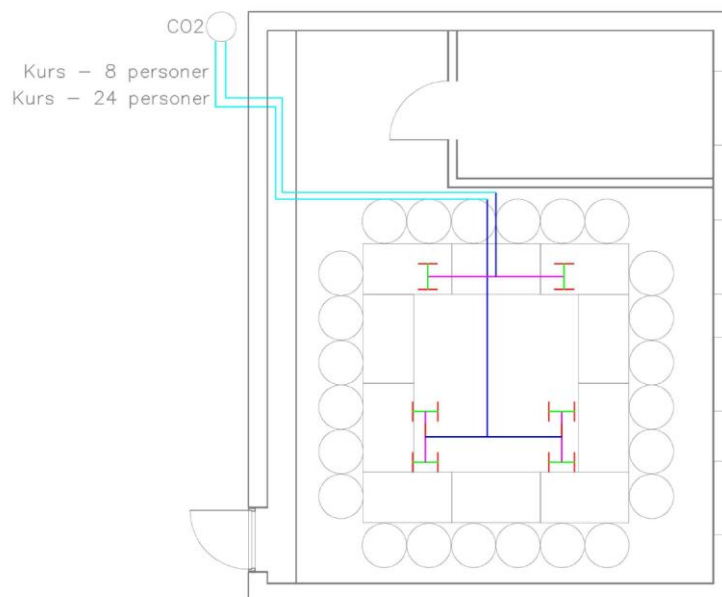
Varmeavgivelsen ble ivaretatt ved ei lyspære på 75W som var montert inne kanalen. Avgivelsen av CO₂ ble ivaretatt ved å tilføre CO₂ fra en trykksatt flaske utenfor laben, via plastslanger symmetrisk oppdelt, til hvert menneske/spirorør. Det ble lagt to kurser med



Figur 17 Spirorør for simulering av menneske

plastslanger, slik at det enkelt var mulighet for å veksle mellom forsøk med delbelastning, det vil si 8 personer i rommet, og full belastning på 24 personer.

CO₂-produksjonen til et menneske er avhengig av den momentane metabolismen. Ligningen for totalproduksjon av CO₂ i et rom er: $V_{CO_2} = 0,0043 \times M \times n$ [l/s] (Mysen, 2005), og i en møteromssituasjon er det naturlig å anta at metabolismen er på 1,2MET. Dette medfører at full møteromsbelastning vil gi 446l/h \approx 450l/h, og delbelastning gir en tredel av dette, det vil si 149l/h \approx 150l/h.



Figur 18 Planskisse møterom som viser fordelingen av CO₂

7.2 METODE

7.2.1 FREMGANGSMÅTE

Ventilasjonens godhet og inneklimaet kan i stor grad karakteriseres ved å finne lokale lufthastigheter og temperaturer. I tillegg kan man karakterisere ventilasjonseffektiviteten ved å måle lokale konsentrasjoner av CO₂.

De første målingene gikk ut på å simulere 1 times møte med ulike variasjoner av personbelastning, tilluftstemperatur, utetemperatur, tilluftssventil og detektorplassering. Dette for å finne optimal plassering av CO₂-detektor og kunne karakterisere ventilasjonens godhet ved ulike tilluftsløsninger. Følgende forsøk ble gjennomført i delen med møteroms-simulering.

Forsøk - nummer		Tilluftstemperatur	20		16	
		Utetemperatur	-10		22	
		Personbelastning	8	24	8	24
Tilluftssventil	Sensorplass.					
Swegon CKP	#1		1.1.1.1	1.1.2.1	1.2.1.1	1.2.2.1
	#2		1.1.1.2	1.1.2.2	1.2.1.2	1.2.2.2
	#3		1.1.1.3	1.1.2.3	1.2.1.3	1.2.2.3
Swegon Adapt Sp	#1		2.1.1.1	2.1.2.1	2.2.1.1	2.2.2.1
	#2		2.1.1.2	2.1.2.2	2.2.1.2	2.2.2.2
	#3		2.1.1.3	2.1.2.3	2.2.1.3	2.2.2.3

Tabell 4 Tabell for forsøk i forbindelse med møteromssimuleringer

Detekterende sensor ble plassert i avtrekk, på vegg bak den ene stolraden og på bord foran den ene stolraden. På den måten får man testet både den vanlige praksis i bransjen samt to punkter plassert i oppholdssonen, som er nærmere forurensningene men likevel ikke i veien for brukerne.

Det ble besluttet og kjøre egne tester for å se de ulike strømningsbildene som oppstod som resultat av ulike luftmengder over passive kontra aktive ventiler. Dette ble en egen måleserie der følgende forsøk ble gjennomført:

Forsøk - nummer					
		Luftmengde [m ³ /h]		200	400
Tilluftsentil	Tilluftstemperatur	Romtemperatur			
Swegon CKP	19	20		1.1.1	1.2.1
	16	21		1.1.2	1.2.2
Swegon Adapt Sp	19	20		2.1.1	2.2.1
	16	21		2.1.2	2.2.2

Tabell 5 Tabell for forsøk i forbindelse med testing av passive og aktive ventiler

7.3 MÅLEMETODE OG LOGGEUTSTYR

Lufttemperatur, lufthastighet og CO₂-konsentrasjon var de parametre som skulle måles og logges for at det skulle være mulig å si noe om kvaliteten på inneklimaet. Det ble lagd et flyttbart skap med moduler som tok i mot alle signaler fra lufttemperatur – og lufthastighetsloggerne. Fra skapet i rommet ble det montert en overføringskabel, som gikk videre med alle signaler til en PC som ble montert opp utenfor testrommet. Dette for at det skulle være mulig å følge med på romtilstandens utvikling mens forsøkene ble kjørt. Usikkerheten til modulene fra National Instruments ble oppgitt til 0,03 % og +/-0,52 % for henholdsvis modulen for termoelementer og modulen for lufthastigheter.



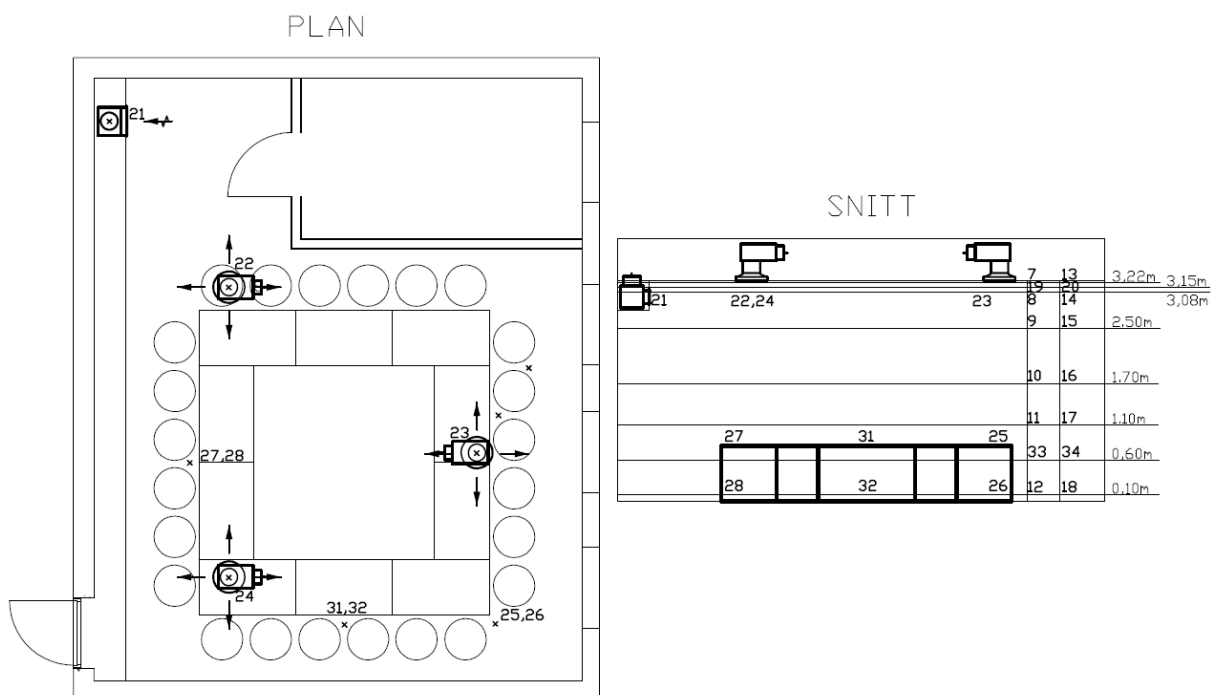
Figur 19 Bilde av skap for mottak av signaler fra følere i rom

7.3.1 TERMOELEMENTER

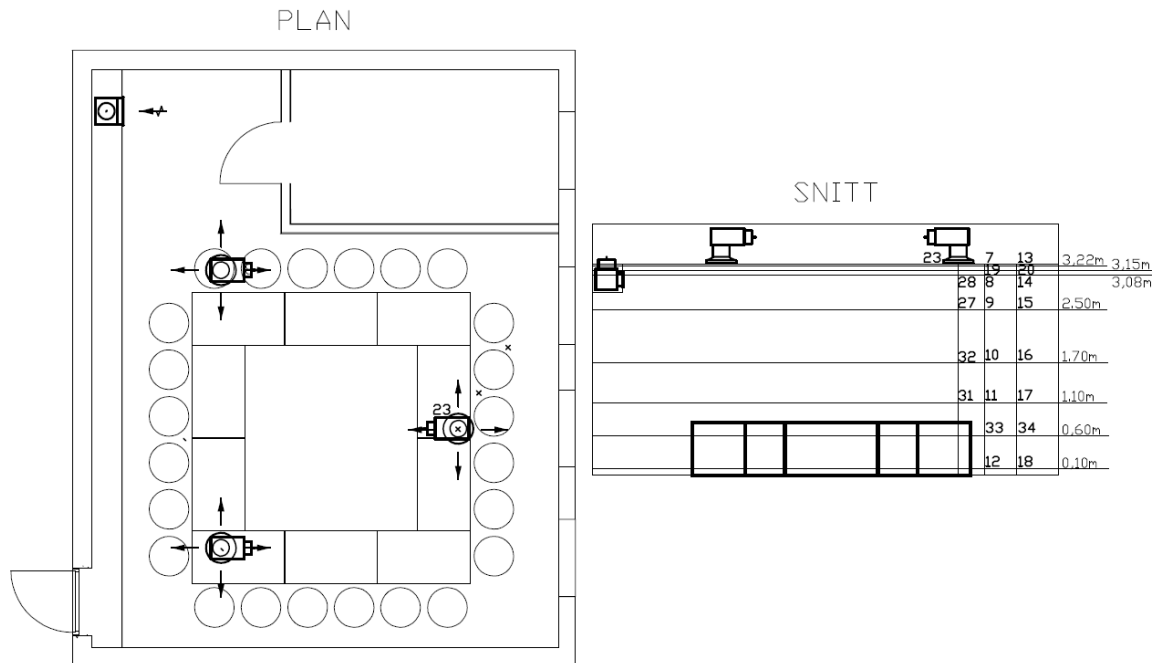
Termoelementer av typen TT ble brukt. Disse har en oppgitt unøyaktighet på 0,75% av målt verdi.

Termoelementene ble funksjonstestet ved å fylle 19 graders vann i en termos. Alle loddede og sveisede ender ble så plassert i termosens og de målte verdiene ble avlest. På denne måten ble det sjekket at alle gav samme og riktig verdi. Verdiene lå fra 18,7-19,2 grader.

Termoelementene, totalt 26 stykker, ble fordelt rundt omkring i rommet, og særlig i oppholdssonen for og eventuelt avdekke lokale ugunstige temperaturer. To ulike oppsett med plasseringer av dem ble brukt ved henholdsvis møteromssimulering og ventiltesting.



Figur 20 Plan -og snittskisse for oppsett av termoelementer ved møteromssimuleringer

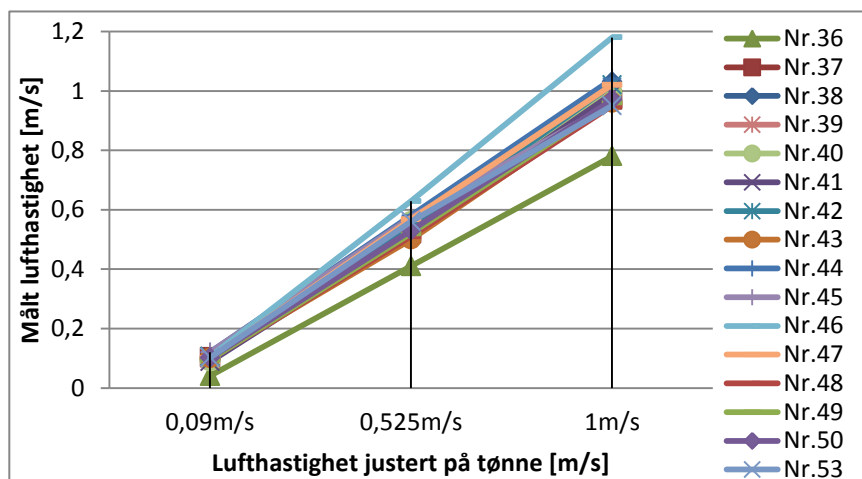


Figur 21 Plan- og snittskisse for oppsett av termoelementer ved ventiltesting

7.3.2 LUFTHASTIGHETSMÅLERE

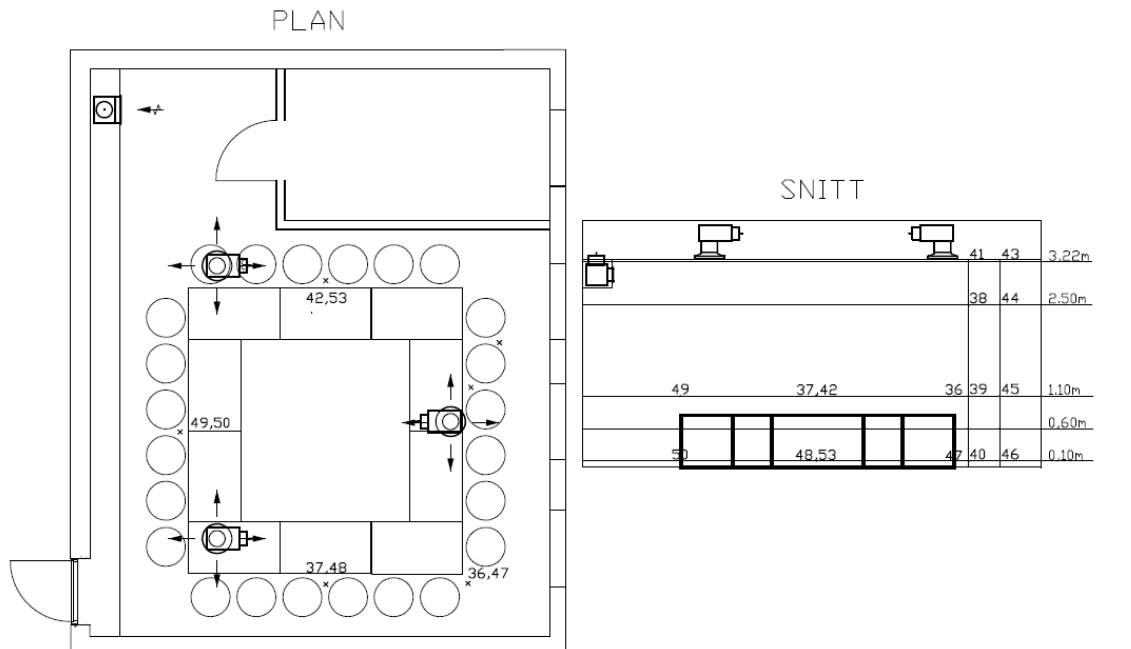
Lufthastighetsmålere av typen TSI 8465 og 8475 ble brukt. Disse har en nøyaktighet på $\pm 3\%$ av avlest verdi og $\pm 1\%$ av fullskala verdi innenfor følerens måleområde. Måleområdet ble etter første testsimulering satt til 0-1m/s og 0-2,5m/s, da vi så at det ikke var behov for å måle større hastigheter enn dette.

Ved funksjonstest og kalibrering av disse ble det avdekket at én ikke fungerte, at én registrerte høyere verdier enn de andre og at én registrerte noe lavere verdier enn de andre.

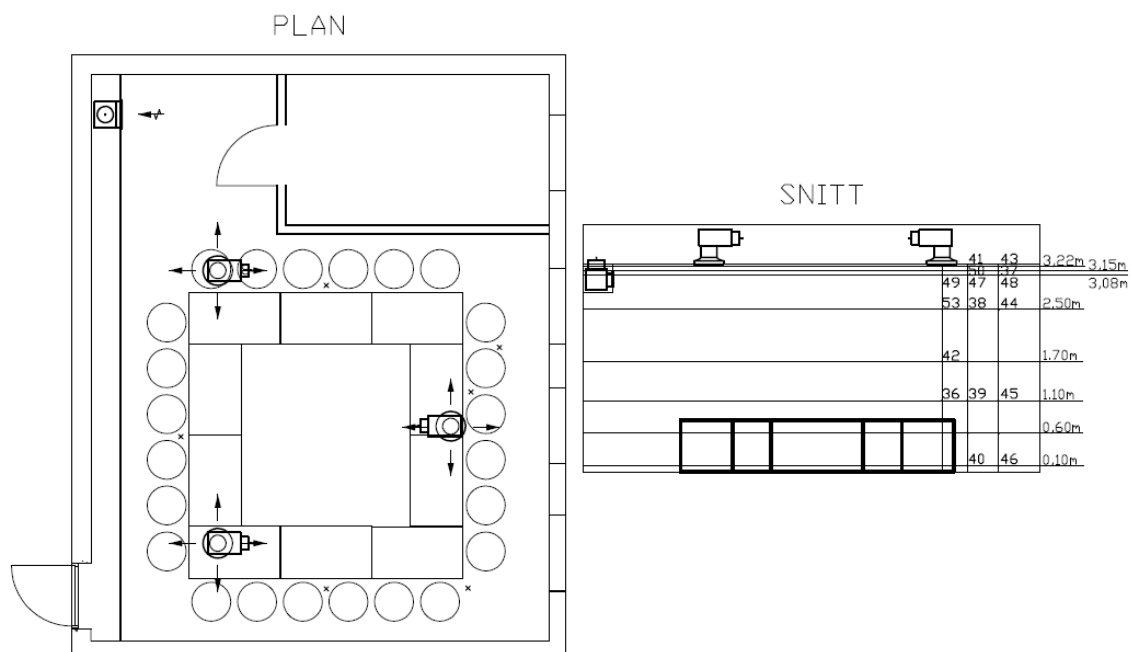


Figur 22 Figur som viser resultat av funksjonstest av lufthastighetsfølere

Lufthastighetsmålerne, totalt 16 stykker, ble på samme måte som termoelementene fordelt rundt omkring i rommet, og særlig i oppholdssonen for å eventuelt avdekke lokale høye lufthastigheter. Her ble det også nødvendig med to ulike oppsett ved henholdsvis møteromssimulering og ventiltesting.



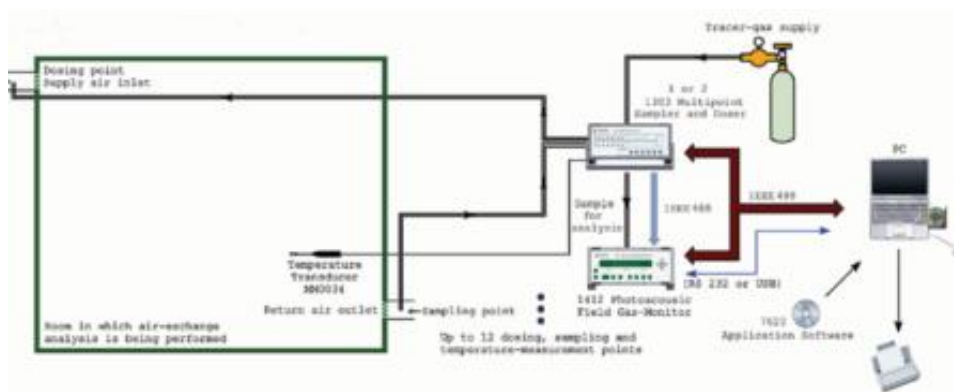
Figur 23 Plan -og snittskisse for oppsett av lufthastighetsfølere ved møteromssimuleringer



Figur 24 Plan -og snittskisse for oppsett av lufthastighetsfølere ved ventiltesting

7.3.3 CO₂-LOGGER

CO₂ ble logget ved hjelp av Lumasense1412 gas monitor og Lumasense 1303 Multipoint Sampler and Doser. Sampleren hentet gassprøver fra rommet. Disse ble videre analysert i monitoren og resultatene ble fremstilt grafisk og numerisk samt lagret. Figuren under viser tilsvarende oppsett som i denne oppgaven, bortsett fra at CO₂-gassen ble tilført eksternt via eget oppsett.

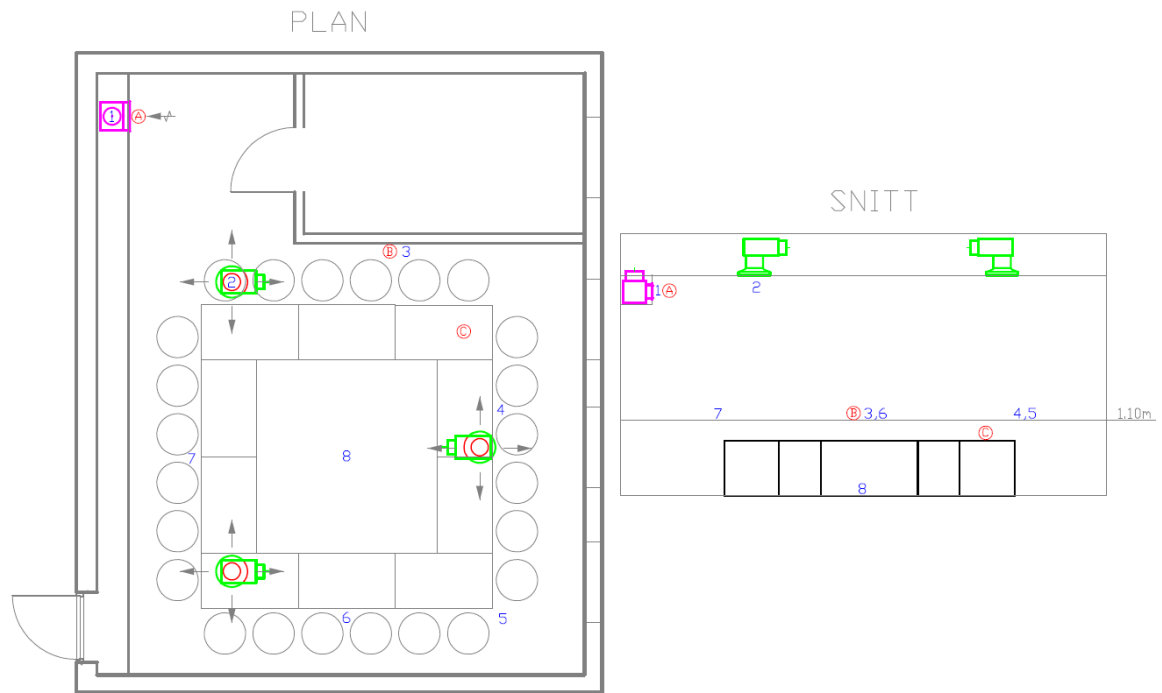


Figur 25 Illustrasjon av oppsett for sampler og monitor ved logging av CO₂, [Lumasense.com]

Kilder til usikkerhet i forbindelse med dette oppsettet er:

- Utette slanger og/eller utette koblinger, som ble så godt som mulig eliminert ved visuell inspeksjon og ettersyn.
- Utstyrets usikkerhet:
 - o Sampleren – oppgitt at maksimum lekkasje ved sug på 10ml/s var på 10µl/s
 - o Monitoren – oppgitt repeterbarhet på 1% av målt verdi, og måleområdets avvik oppgitt til +/- 2,5%.

Loggepunktene for CO₂ ble i stor grad plassert i oppholdssonen og fordelt mest mulig rundt i punkter hvor det allerede var logging av lufthastigheter og temperaturer. Et loggepunkt ble satt i tilluftsventil for å ha kontroll på at tilluften ikke var forurenset. I tillegg ble et punkt satt i avtrekksventilens kammer, slik at det til enhver tid skulle være mulighet for utregning av ventilasjonseffektiviteten.



Figur 26 Plan -og snittskisse for plassering av målepunkter for CO₂

8 RESULTATER OG DISKUSJON – FORSØK

I dette kapitlet blir de viktigste resultatene fra måleseriene presentert og diskutert. En overordnet diskusjon er gjort i kapittel 10.

Resterende resultater er å finne i vedlegg B. Disse underbygger det som kommer frem i dette kapitlet og er derfor ikke videre diskutert.

I første delkapittel vises resultater fra møteromssimuleringene som ble gjort. Forløpet til CO₂-konsentrasjoner for alle punkt er vist sammen med luftmengdene til enhver tid. Resultatene som omhandler lufthastighetene i rommet er fremstilt med verdier fra oppholdssonen. Her er forsøkene med passive og aktive ventiler vist i samme figur for å direkte kunne sammenligne resultatene.

Siste delkapittel omhandler resultatene fra forsøkene som omhandlet testing av passiv og aktiv ventil.

8.1 PLASSERING AV DETEKTORER I MØTEROM

8.1.1 CO₂ - KONSENTRASJONER

Alle forsøksnummer finnes igjen i tabell 4 på side 34.

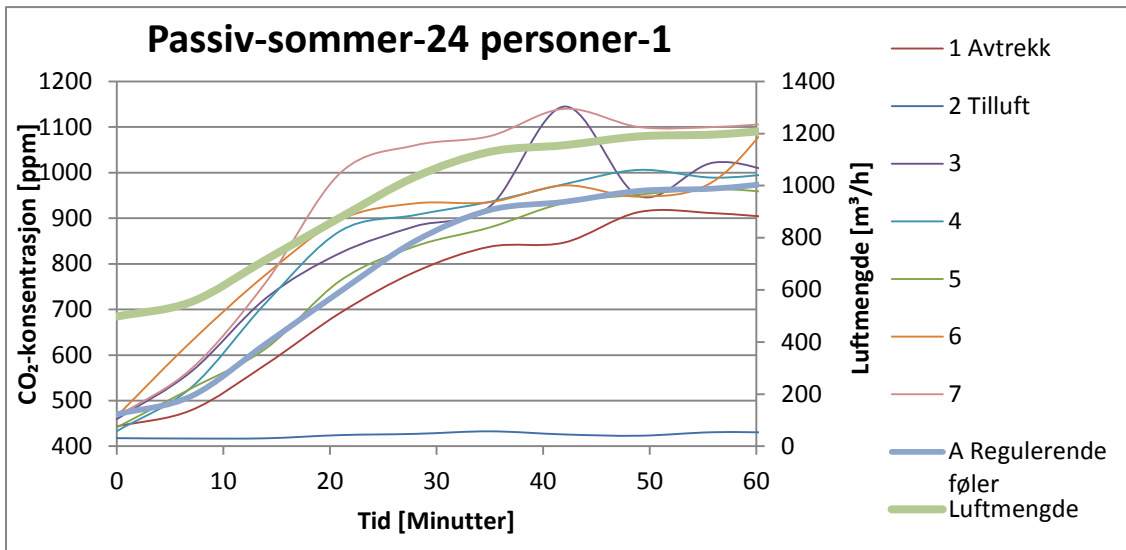
Tabellen under viser plassering av målepunkter for CO₂. Plasseringer er også vist i plan og oppriss i kapittel 7.3. Tabellen gjentas for hver sammenligning og diskusjon.

Målepunkt	Plassering
1	I avtrekkskammer
2	I tilluftsventil
3	På innervegg bak den ene stolraden, 1,1m over gulv
4	Ved mennesker ved stolraden langs yttervegg, 1,1m over gulv
5	Ved hjørnet av to stolrader, 1,1m over gulv
6	Ved mennesker ved stolraden overfor innervegg, 1,1m over gulv
7	Ved mennesker ved stolraden overfor yttervegg, 1,1m over gulv
8	På gulv sentrert i rommet

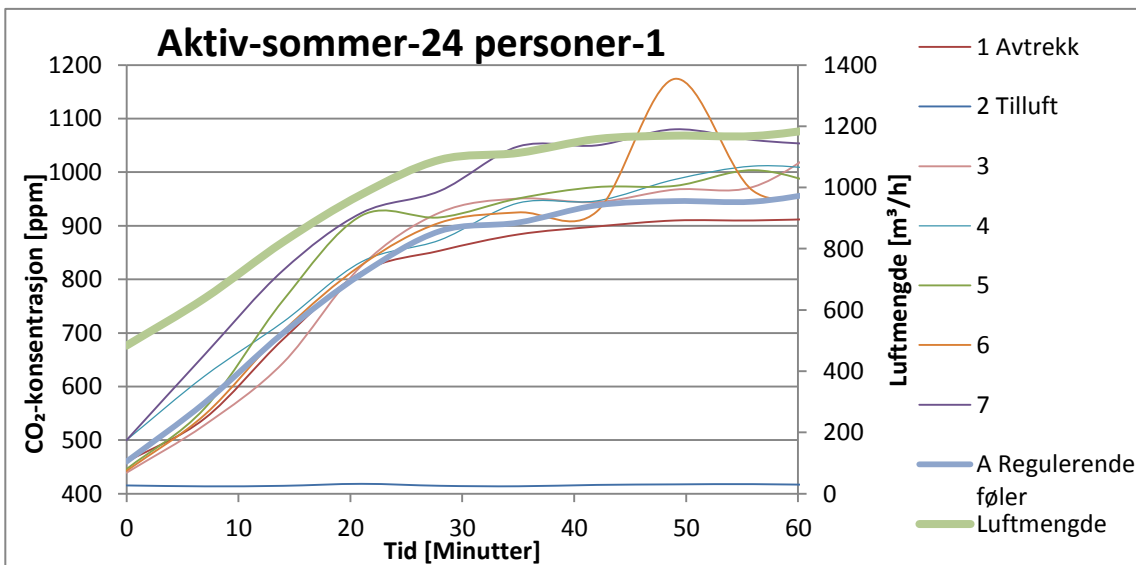
Tabell 6 Plassering av målepunkter for CO₂

1.2.2.1 - 2.2.2.1

Figurene viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med sommertilstand, maksimal personbelastning og detektor i avtrekk (A).



Figur 27 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved passiv ventil og sommertilstand



Figur 28 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved aktiv ventil og sommertilstand

Sammenligning av resultatene fra passiv og aktiv ventil viser at forløpet av CO₂-konsentrasjoner er relativt like. I begge tilfeller stabiliserer konsentrasjonene seg på mellom

900ppm-1050ppm, med unntak av punkt 7 i rommet, hvor det i begge tilfeller skjer en markant økning av CO₂-konsentrasjonen etter 20-30 minutters tid i forhold til resterende loggepunkter. Denne økningen skyldes antageligvis stillstand av luften lokalt i området. Spranget er mest markant ved bruk av passive ventiler.

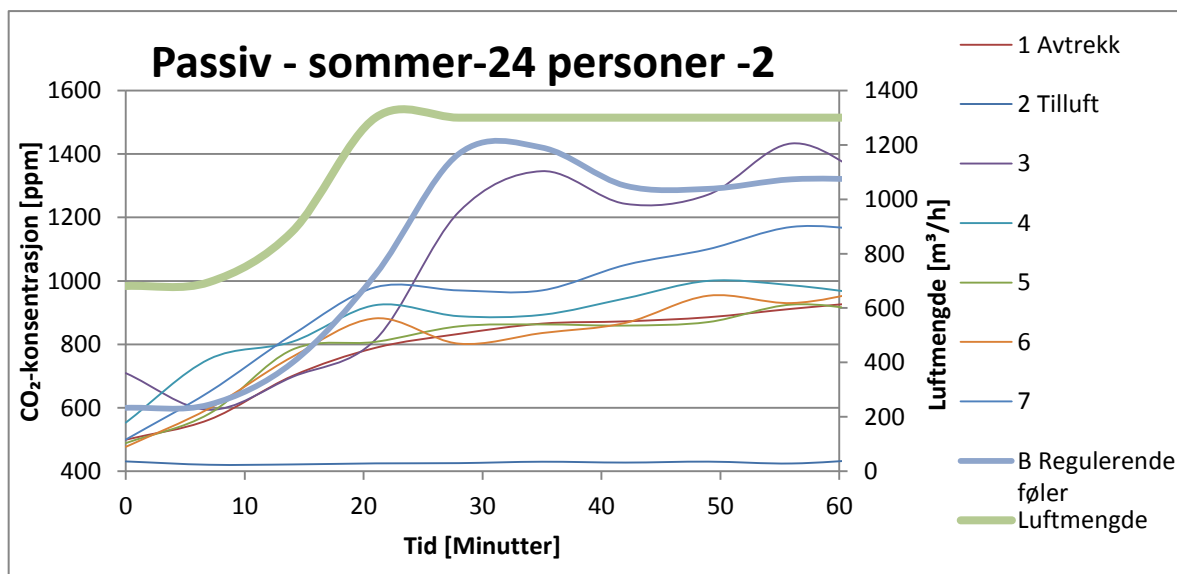
Etter 40-50 minutters tid skjer det markante sprang på tilnærmet 250ppm i punkt 3 ved passiv ventil og punkt 6 ved aktiv ventil. I begge tilfeller er konsentrasjonene i avtrekket lave men like, ergo er tilluftsmengdene også like. Ettersom disse sprangene skjer på forskjellige steder i rommet er det vanskelig å gi en spesifikk forklaring på dem, annet enn lokal stillstand på luften. Sannsynligvis på grunn av forskjellige strømningsbilder som et resultat av ulike hastigheter over ventilene.

Det er også verdt å merke seg at konsentrasjonen er lavest i loggepunktet plassert i avtrekkskammeret. Dette gjelder for begge tilfeller og tilnærmet i hele forsøkets varighet. Ved slutten av forsøkene oppnås lokale ventilasjonsindekser (ϵ_v) mellom 0,82 og 0,9 ved passive ventiler og 0,85 – 0,95 ved aktive ventiler.

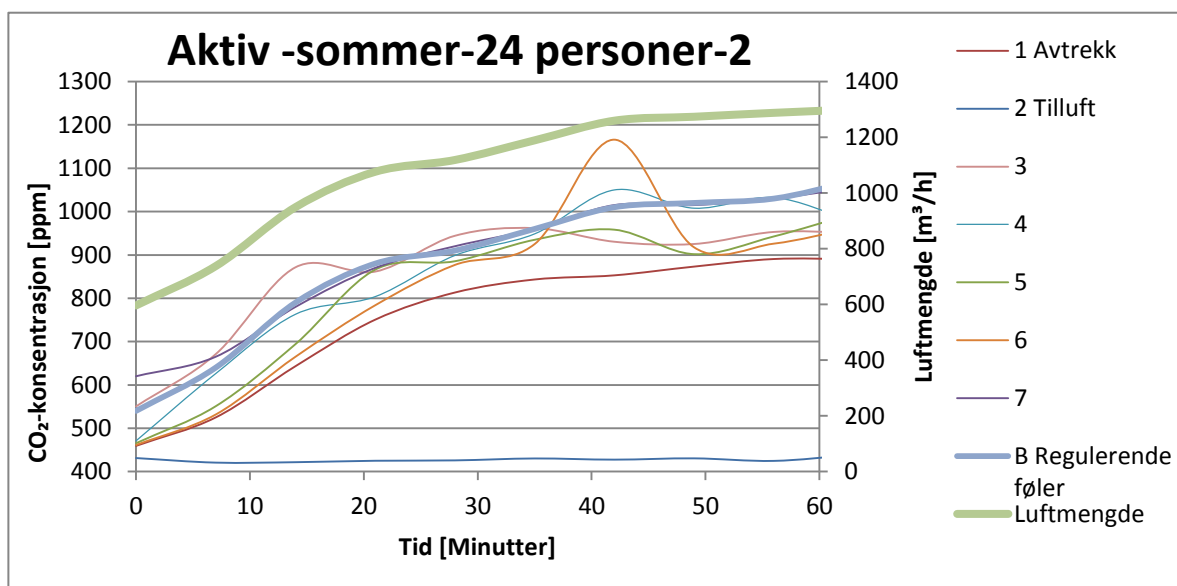
1.2.2.2 - 2.2.2.2

Figurene på neste side viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med sommertilstand, maksimal personbelastning og detektor plassert på innervegg bak den ene stolraden (B) og 3 i tabell og planskisse.

Målepunkt	Plassering
1	I avtrekkskammer
2	I tilluftsventil
3	På innervegg bak den ene stolraden, 1,1m over gulv
4	Ved mennesker ved stolraden langs yttervegg, 1,1m over gulv
5	Ved hjørnet av to stolrader, 1,1m over gulv
6	Ved mennesker ved stolraden overfor innervegg, 1,1m over gulv
7	Ved mennesker ved stolraden overfor yttervegg, 1,1m over gulv
8	På gulv sentrert i rommet



Figur 29 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved passiv ventil og sommertilstand



Figur 30 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved aktiv ventil og sommertilstand

I dette tilfellet hvor detektoren er plassert på vegg i hodehøyde er ikke likheten den samme. Fortsatt stabiliserer CO₂-konsentrasjonene seg rundt 1000 ppm, men ved bruk av passiv ventil er det tydelig at konsentrasjonen i punkt 3 øker kraftig i forhold til resterende punkter. Både regulerende detektor som i disse forsøkene er plassert i punkt 3, og logger i punkt 3

indikerer at konsentrasjonen her stabiliserer seg først ved 1300-1400 ppm. Dette medfører en lokal ventilasjonsindeks på tilnærmet 0,65 ved slutten av forsøket. For de øvrige punktene ligger konsentrasjonen på samme nivå og ventilasjonsindeksene varierer mellom 0,85 – 0,99. En sammenligning med tilsvarende forsøk gjort med vintertilstand, forsøk 1.1.2.2 i vedlegg B, viser at samme punkt også øker i forhold til de resterende punkter, men at det stabiliserer seg noe tidligere ved 1200 ppm.

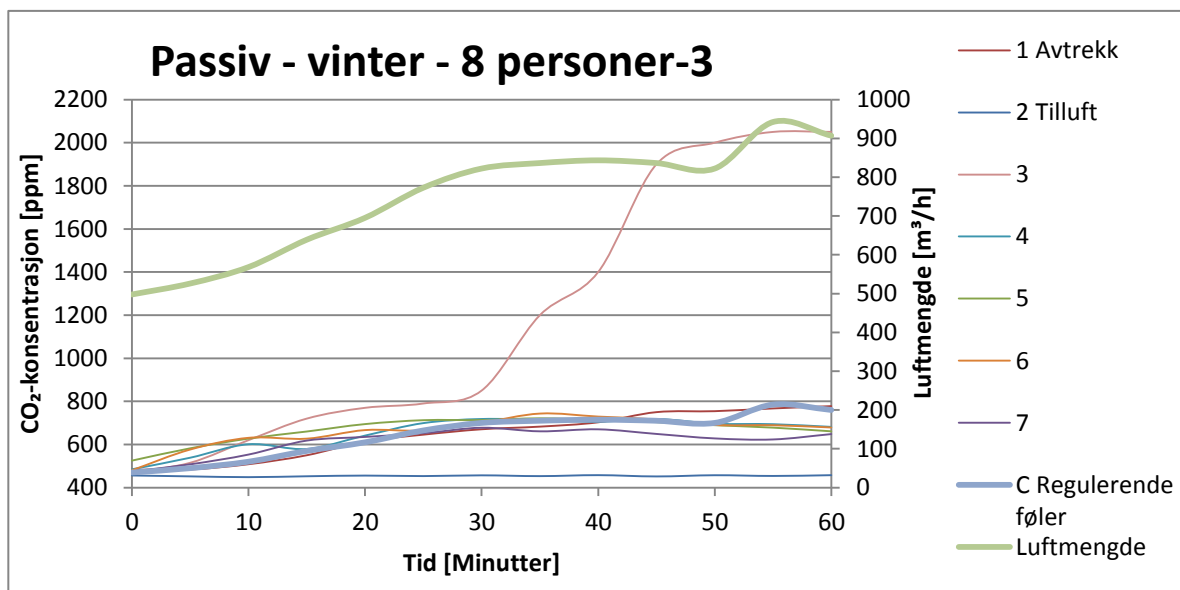
Forsøket med aktive ventiler viser samme trend med et sprang i kurven på 250 ppm i punkt 6, på samme måte som i forsøket med detektor plassert i avtrekk. Dette spranget dipper tilbake til gjennomsnittlig romkonsentrasjon etter 10 minutters tid, og er vanskelig å forklare annet enn lokal stillstand på luften. Tilsvarende forsøk ved vintertilstand, forsøk 2.1.2.2 i vedlegg B, viser at CO₂-konsentrasjonene ligger 50-100 ppm lavere i rommet, men ellers samme utvikling.

Også her er det ventilasjonsindekser mellom 0,85 – 0,95 ved slutten av forsøkene ved bruk av aktive ventiler, og det ser ut til at rommets fordeling av CO₂ er tilnærmet lik, uavhengig av plassering av regulerende detektor. Dette i motsetning til forsøkene med passive ventiler som gir mye større variasjon i CO₂-fordelingen i rommet.

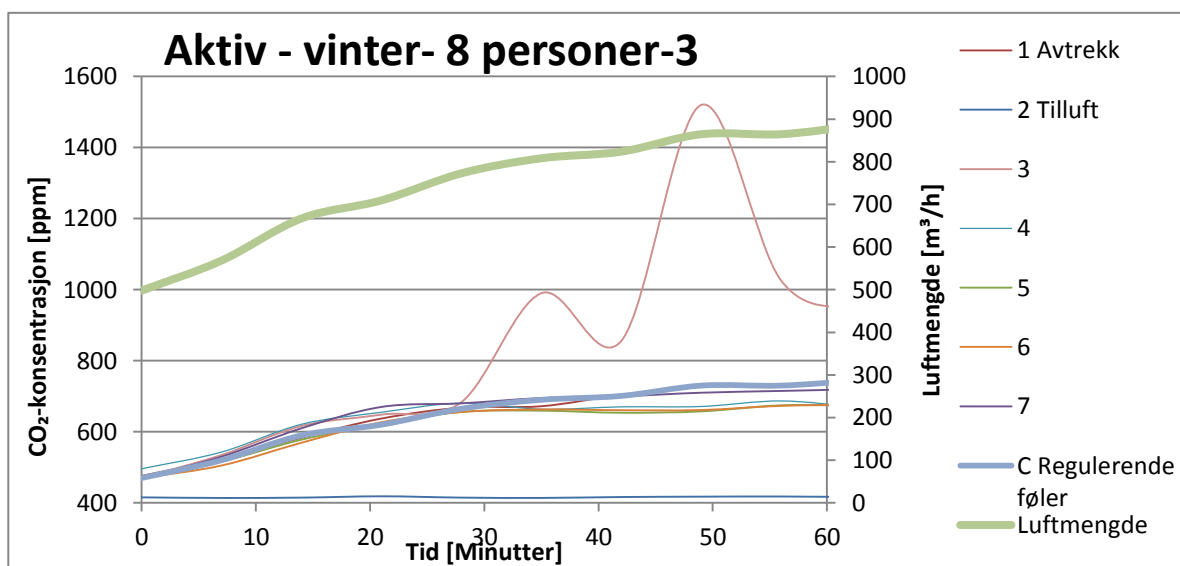
1.1.1.3 - 2.1.1.3

Figurene på neste side viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med vintertilstand, personbelastningen er nå en tredel av maksimal belastning og detektor er plassert på bord foran personer (C).

Målepunkt	Plassering
1	I avtrekkskammer
2	I tilluftsventil
3	På innervegg bak den ene stolraden, 1,1m over gulv
4	Ved mennesker ved stolraden langs yttervegg, 1,1m over gulv
5	Ved hjørnet av to stolrader, 1,1m over gulv
6	Ved mennesker ved stolraden overfor innervegg, 1,1m over gulv
7	Ved mennesker ved stolraden overfor yttervegg, 1,1m over gulv
8	På gulv sentrert i rommet



Figur 31 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved passiv ventil og vintertilstand



Figur 32 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved aktiv ventil og vintertilstand

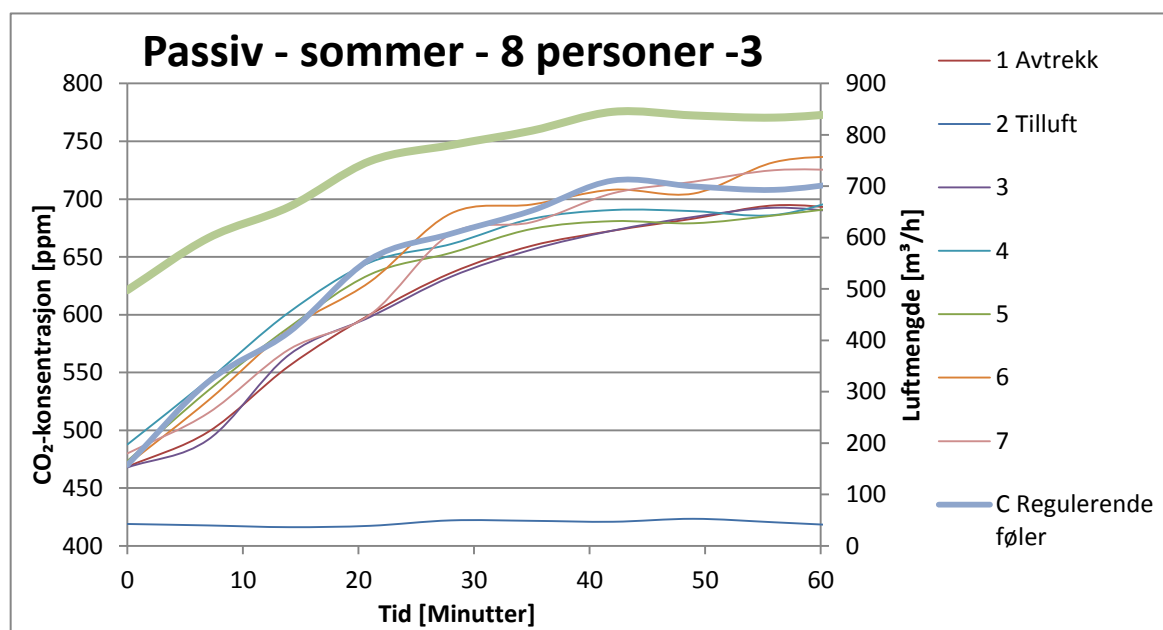
På grunn av den lave personbelastningen så stabiliserer CO₂-konsentrasjonene seg på et lavere nivå ved disse forsøkene. Men sammenlignet med forsøkene med maksimal personbelastning sees at kurven som gjengir konsentrasjonen i punkt 3 også her ligger høyere enn de andre kurvene. I disse to forsøkene er dette ekstremt, og ved bruk av passive ventiler så ser det ut til at CO₂-nivået stabiliserer seg ved 2000 ppm ved slutten av forsøket. Ved bruk av aktive ventiler, er det ikke fullt så stort avvik, men også her er nivået oppe i 1500 ppm. Det spesielle i dette tilfellet er at nivået faller tilbake til 950 ppm 10 minutter før slutten av forsøket.

Årsakene til at konsentrasjonen i punkt 3 er høyere i disse forsøkene i forhold til forsøkene med maksimal personbelastning er nok at regulerende detektor står i et punkt med lave konsentrasjoner, noe som medfører for liten tilluftsmengde. Derimot sett i forhold til alle andre punkter i rommet, så er tilluftsmengden mer enn tilstrekkelig, og CO₂-konsentrasjonene ligger mellom 650-750 ppm for de resterende målepunktene. CO₂-nivået i avtrekkskammeret ligger i øvre sjikt i forhold til de andre punktene, så ventilasjonseffektiviteten er generelt god både ved bruk av passive og aktive ventiler, sett bort fra punkt 3 så klart der den er helt nede i 0,3 ved slutten av møtet.

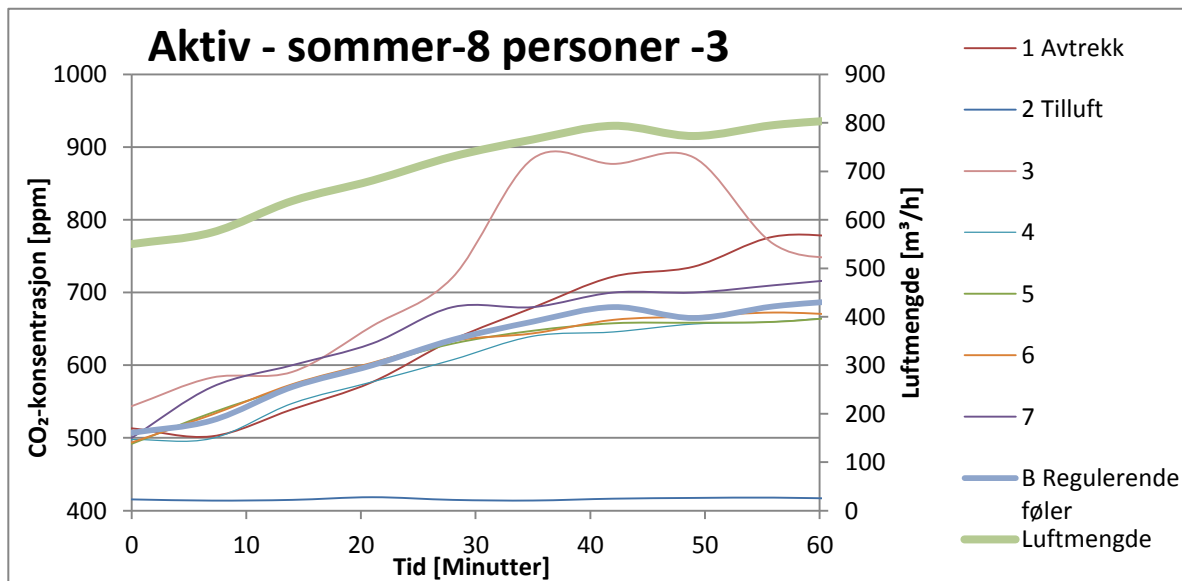
1.2.1.3 - 2.2.1.3

Figurene viser tilsvarende forsøk som det forrige men ved sommertilstand.

Målepunkt	Plassering
1	I avtrekkskammer
2	I tilluftsentil
3	På innervegg bak den ene stolraden, 1,1m over gulv
4	Ved mennesker ved stolraden langs yttervegg, 1,1m over gulv
5	Ved hjørnet av to stolrader, 1,1m over gulv
6	Ved mennesker ved stolraden overfor innervegg, 1,1m over gulv
7	Ved mennesker ved stolraden overfor yttervegg, 1,1m over gulv
8	På gulv sentrert i rommet



Figur 33 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved passiv ventil og sommertilstand



Figur 34 Konsentrasjonsvariasjon av CO₂ i rommet ved aktiv ventil og sommertilstand

Sammenlignet med forsøkene som ble gjort med vintertilstand, så ser det ut til at CO₂-konsentrasjonene i rommet utvikler seg mye på samme måte som nå ved sommertilstand. Den største forskjellen er at konsentrasjonene i punkt 3 er mye mer lik konsentrasjonene i resten av rommet. En grunn til dette kan være at man har bedre luftsirkulasjon og omrøring på grunn av den undertempererte tilluften som i teorien skal trenge ned i oppholdssonen raskere enn ved vintertilstand og isoterm tilluft.

Kurvene fra forsøket med passive ventiler er meget like, og er et godt eksempel på god omrøringsventilasjon. Hele rommet har lik CO₂-konsentrasjon, selv om kun den ene siden av rommet får tilført CO₂. Alle konsentrasjoner ligger mellom 690-720 ppm ved slutten av forsøket, og dette medfører gode lokale ventilasjonsindekser og god ventilasjonseffektivitet. Det eneste som er negativt er at avtrekkskonsentrasjonen ligger i nedre sjikt, men variasjonene er så små at det likevel veldig god ventilasjonseffektivitet.

Forsøket med aktive ventiler viser at CO₂-nivået også her ligger rundt 700 ppm ved slutten. Her har punkt 3 et sprang tilsvarende samme forsøk ved vintersimulering, dog mye mindre, og kurven dropper på tilsvarende måte. Som i de andre forsøkene så er ingen annen forklaring enn stillstand i omkringliggende luft, årsaken til den forhøyede konsentrasjonen.

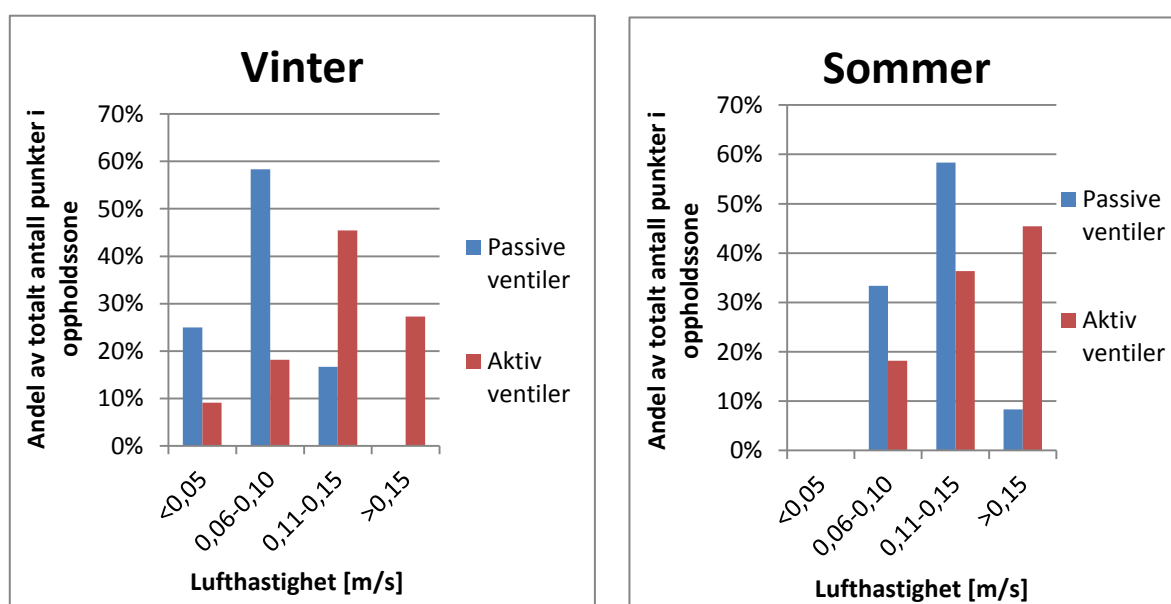
8.1.2 LUFTHASTIGHETS- OG TEMPERATURFORDELING

Alle verdier oppgitt er gjennomsnittlige verdier logget hvert 30. sekund over en periode på én time. Alle forsøksnummer finnes igjen i tabell 5 på side 35.

LUFTHASTIGHETER

1.1.2.2 - 2.1.2.2 OG 1.2.2.2 - 2.2.2.2

Figurene viser forskjellen i lufthastigheter i møterommet ved passive og aktive ventiler ved henholdsvis vintersimulering og sommersimulering. Personbelastningen er maksimal og detektor er plassert på vegg bak den ene stolraden.



Figur 35 Lufthastigheter i oppholdssonen ved vinter -og sommersimulering – høy personbelastning

Av begge sammenstillinger er det tydelig at lufthastighetene i rommet generelt er noe høyere ved bruk av aktive ventiler. Utløpshastigheten til tilluften er betydelig større ved bruk av aktive ventiler på grunn av adaptivt og mindre utløpsareal, noe som tydelig har innvirkning på hastighetene også i oppholdssonen.

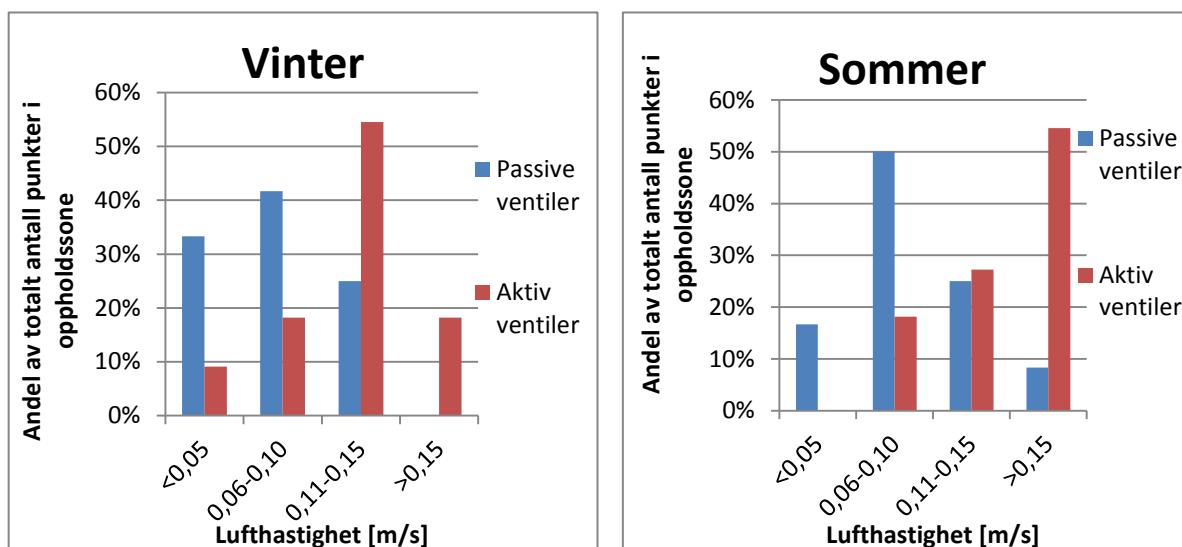
For lave hastigheter kan tyde på for lav bevegelse på luften, noe som kan medføre dårlig ventilasjonseffektivitet. Ved sammenligning av CO₂-grafene for disse fire forsøkene kan det konkluderes med at ventilasjonseffektiviteten er bedre ved bruk av aktive ventiler.

Et vanlig dimensjoneringskriterium ved prosjektering er å holde lufthastighetene i møterom under 0,15 m/s. Dimensjoneringskriterier hentet fra NS-EN ISO 7730 skiller mellom lufthastigheter på vinter og sommer. Ved vinterforhold tillates 0,16m/s og ved sommerforhold tillates 0,19m/s. Hastigheter høyere enn dette kan også tillates, men da bør det gåes grundigere til verks med hensyn til bruker og bruksmønster.

I simuleringene ovenfor er maksimalverdier i oppholdssonen henholdsvis 0,20 m/s ved aktive ventiler i vintersimuleringen og 0,24m/s ved aktive ventiler i sommersimuleringen. Verdiene er altså litt for høye jamfør verdiene i Norsk Standard. En optimalisert løsning ville i dette tilfellet vært og satt inn flere aktive ventiler, slik at lufthastighetene hadde kommet innenfor kravene. Antageligvis ville ventilasjonseffektiviteten fortsatt vært bedre enn ved bruk av passive ventiler.

1.1.1.2 - 2.1.1.2 OG 1.2.1.2 - 2.2.1.2

Figurene er en tilsvarende sammenstilling som de over, men her er person-belastningen kun en tredel av maksimal belastning i rommet.



Figur 36 Lufthastigheter i oppholdssonen ved vinter -og sommersimulering - lav personbelastning

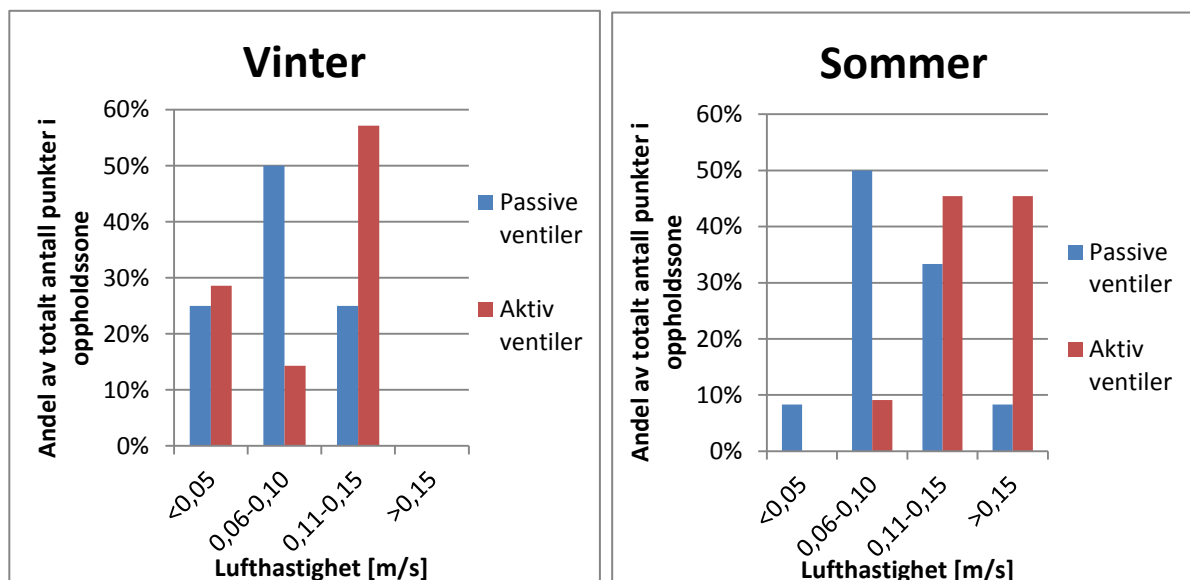
Samme resultater viser seg her som i sammenstillingene fra forsøkene over. De aktive ventilene medfører jevnt over høyere lufthastigheter i oppholdssonen. Både ved

vintersimuleringen og sommersimuleringen var maksimalhastigheten på 0,20m/s ved bruk av aktive ventiler. Det kan konkluderes med at det mest optimale ville vært bruk av aktive ventiler ved sommerforhold ettersom dette medfører bedre omrøring og ventilasjonseffektivitet. Ved vinterforhold kan det bli for høye lokale hastigheter som videre kan medføre trekkplager, så her kan det være at de passive ventilene er best å bruke.

Hvis man sammenligner resultatene fra disse forsøkene som innebærer en tredels personbelastning, mot forsøkene over hvor det var maksimal personbelastning, så ser man at de aktive ventilene holder mye bedre på lufthastighetsfordelingen enn de passive. Dette er logisk ettersom de er adaptive og hele tiden justerer utløpsarealet i forhold til luftmengden.

1.1.2.1 - 2.1.2.1 OG 1.2.2.1 - 2.2.2.1

Figurene viser forskjellen i lufthastigheter i møterommet ved passive og aktive ventiler ved henholdsvis vintersimulering og sommersimulering. Her er detektor plassert i avtrekksventilens kammer og personbelastningen er maksimal.



Figur 37 Lufthastigheter i oppholdssonen ved vinter- og sommersimulering - høy personbelastning

Også her viser resultatene at de aktive ventilene medfører høyere lufthastigheter i oppholdssonen. Fra vintersimuleringen sees at de passive ventilene medfører veldig lave

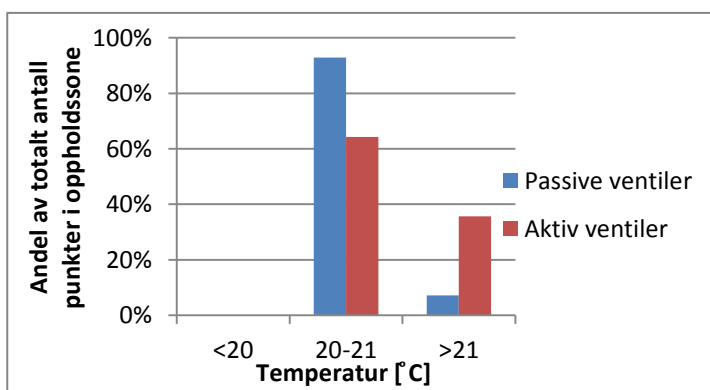
hastigheter. Ved sammenligning av CO₂-konsentrasjoner for disse to forsøkene med aktive og passive ventiler ved vinterforhold kan man se at disse er lavere ved bruk av aktive ventiler, selv om luftmengden er noe lavere ved bruk av disse. Konklusjonen er bedre omrøring uten for høye hastigheter i oppholdssonen i tillegg til lavere SFP ved bruk av aktive ventiler, i dette tilfellet.

Lufthastighetsfordelingen ved passive og aktive ventiler er mer lik ved sommersimuleringen. Her er det vanskelig å konkludere om den ene løsningen er bedre enn den andre. Maksimal lufthastighet som ble logget var 0,22m/s og dette var i ett punkt ved bruk av aktive ventiler.

TEMPERATURER

Uavhengig av sommer eller vintersimulering så ble resultatene meget like for temperaturfordelingen i rommet. Alle temperaturer i oppholdssonen viste seg å ligge i stor grad mellom 20-21 °C, med noen unntak der temperaturene lå så vidt under 20 °C og over 21 °C.

Figuren viser en typisk temperaturfordeling i rommet ved forsøk med passive og aktive ventiler. Forsøkene er direkte sammenlignbare ettersom at forutsetningene er like.

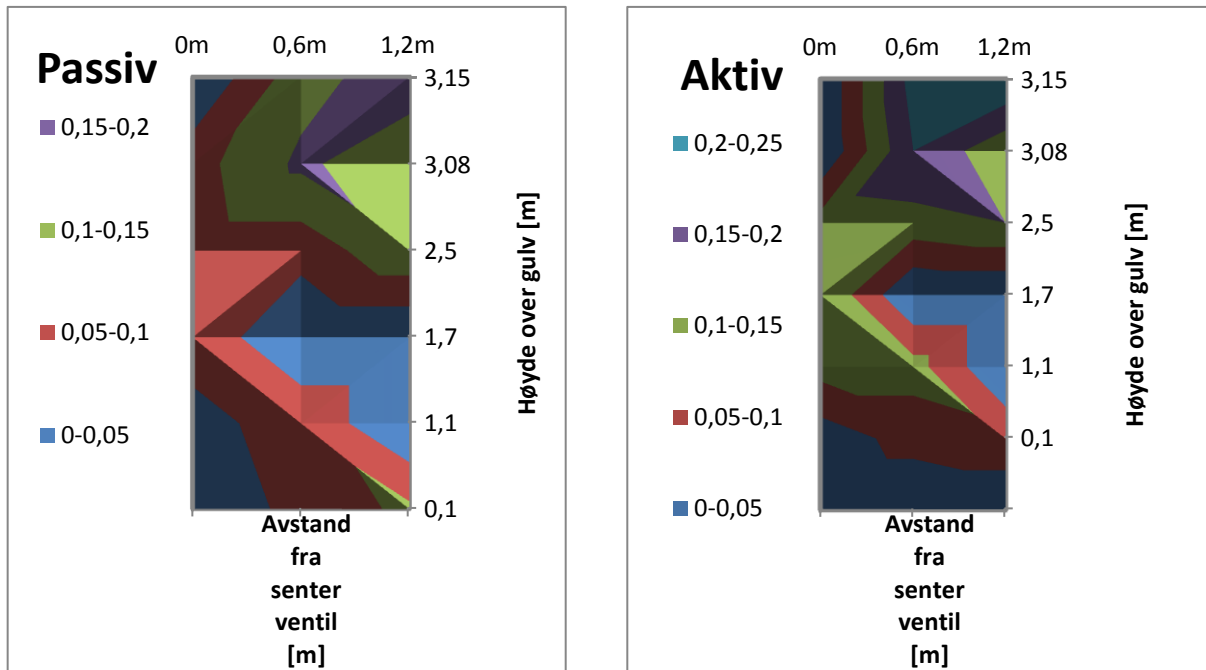


Figur 38 Temperaturfordeling i oppholdssonen ved bruk av passive og aktive ventiler

En årsak til at temperaturene varierer så lite og at tilluften som er undertemperert er så varm når den entrer oppholdssonen, er god omrøring der den brukte varme luften som har oppdrift blandes inn i tilluftstjetten og gir denne en hurtig oppvarming. Ved alle 24 forsøk viste det seg at den vertikale temperaturgradienten innenfor oppholdssonen lå innenfor 2K.

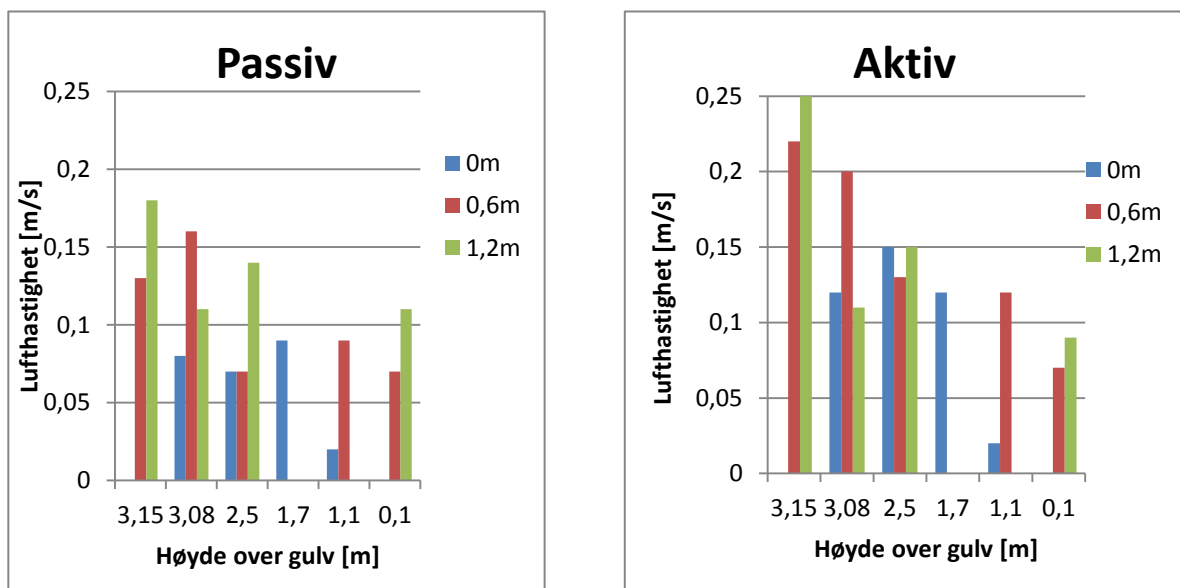
8.2 SAMMENLIGNING AV PASSIVE OG AKTIVE VENTILER

I figurene under vises lufthastighetsfordelingen ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil. Luftmengden er lav - $200\text{m}^3/\text{h}$ og tilluften har 5K undertemperatur.



Figur 39 Fremstilling av lufthastigheter ved testing av passiv og aktiv ventil med lav luftmengde

De samme forsøkene vist med spesifikke lufthastigheter i hvert målepunkt. Hver søyle representerer et målepunkt med en viss avstand fra senter ventil og en viss høyde over gulv.

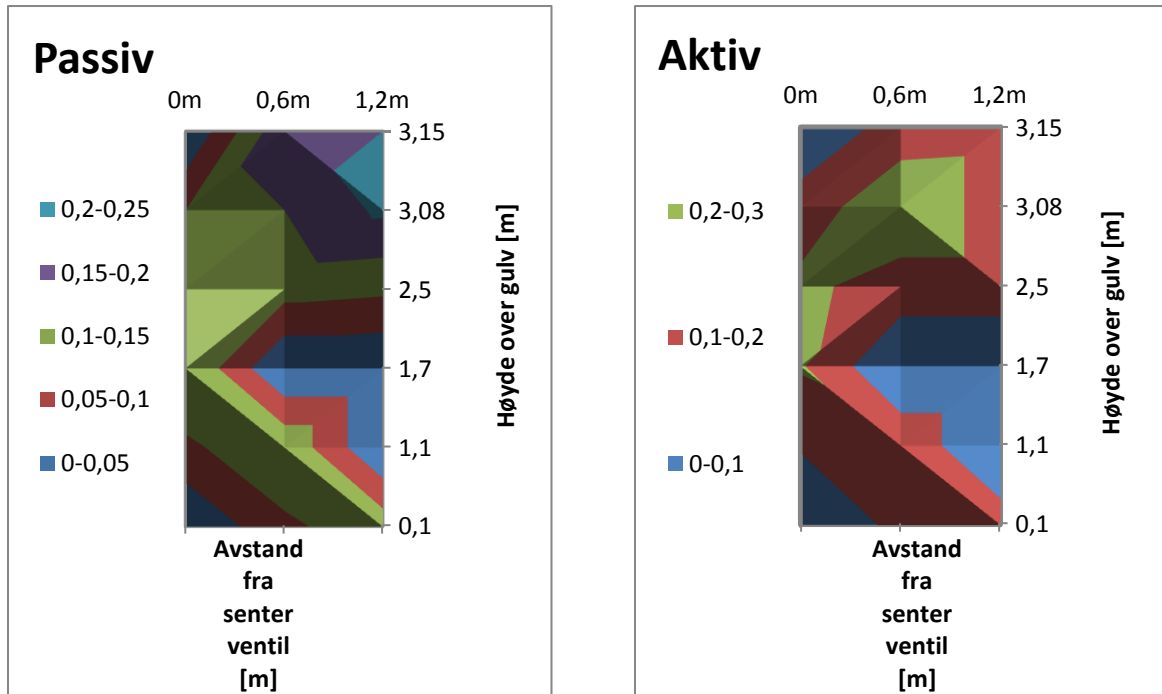


Figur 40 Lufthastigheter i oppholdssonen ved testing av passiv og aktiv ventil med lav luftmengde

Figurene som viser lufthastighetsfordelingen fra ventilene i snittperspektiv er illustrative, og viser at strømningsbildet er overraskende likt for begge typer. Lave luftmengder og undertemperert tilluft skal kunne medføre høye lufthastigheter direkte under passiv ventil på grunn av kaldras. Resultatene viser ingen antydning til dette, og ved bruk av røykappuller ble det heller ikke funnet indikasjoner på det. Tilluften som hadde en temperatur på 16 grader ble raskt oppvarmet ved innblanding av romluft, og 0,6m ut fra ventilens senter holdt tilluften allerede 19,5 grader. Dette kan tyde på god innblanding av romluften, og god sirkulasjon under ventilen. Kanskje hadde effekten av kaldras kommet om forsøkene hadde blitt kjørt med enda større forskjell i tillufts- og romtemperatur. 10K er vanligvis maksimum undertemperatur som blir brukt ved kjøling via ventilasjonsanlegget. En kombinasjon av så lav undertemperatur og enda lavere luftmengder kunne kanskje gitt antydninger til kaldras. Resultatene viser ellers at den aktive ventilen medførte høyest lufthastigheter generelt både i oppholdssonen og i nærsone til ventilen.

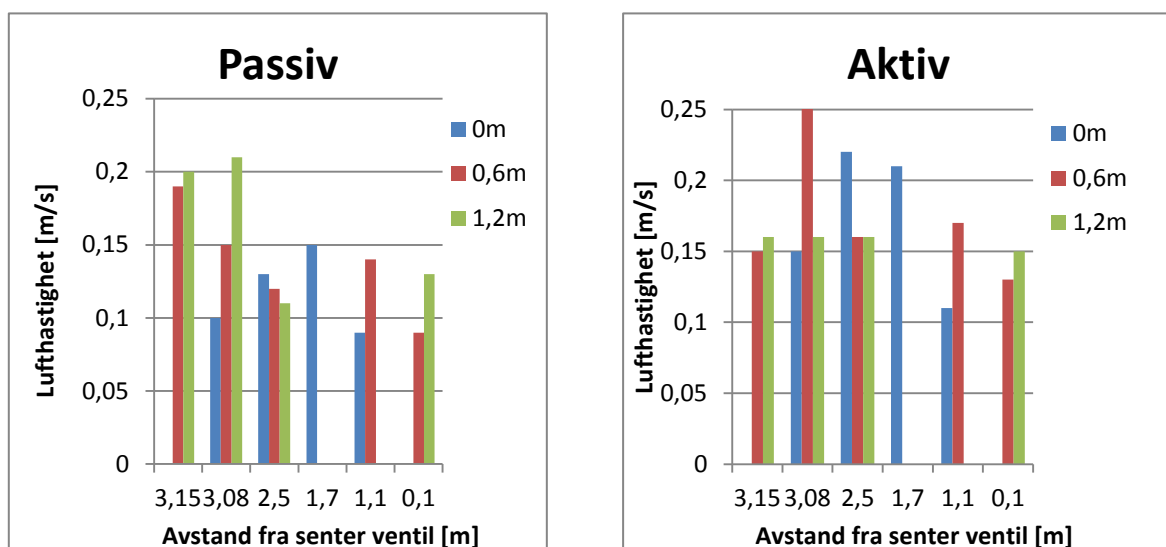
Figurene som viser hvert enkelt målepunkts hastighet bekrefter at generell lufthastighet er høyere med den aktive ventilen. Også her er trenden overraskende lik for aktiv og passiv ventil, og hastigheten minker jo nærmere gulvet målingen ble gjort. Ett unntak er ved 1,1 meters høyde direkte under ventilen, der det ser ut til at luften har liten bevegelse i forhold til samme punkt lengre ut fra ventilen.

I figurene under vises lufthastighetsfordelingen ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil. Luftmengden er i dette tilfellet høy - 400m³/h og tilluften har bare 1K undertemperatur.



Figur 41 Fremstilling av lufthastigheter ved testing av passiv og aktiv ventil med høy luftmengde

Her er de samme forsøkene vist med spesifikke lufthastigheter i hvert målepunkt. Hver søyle representerer et målepunkt med en viss avstand fra senter ventil og en viss høyde over gulv.



Figur 42 Lufthastigheter i oppholdssonen ved testing av passiv og aktiv ventil med høy luftmengde

De samme resultatene går også igjen her. De aktive ventilene medfører høyest lufthastigheter ved alle målepunkter i både oppholdssone og ventilens nærsone. Årsaken til at de aktive ventilene medfører høyere lufthastigheter er antageligvis for stor forskjell i utgangshastighet ved aktive kontra passive ventiler.

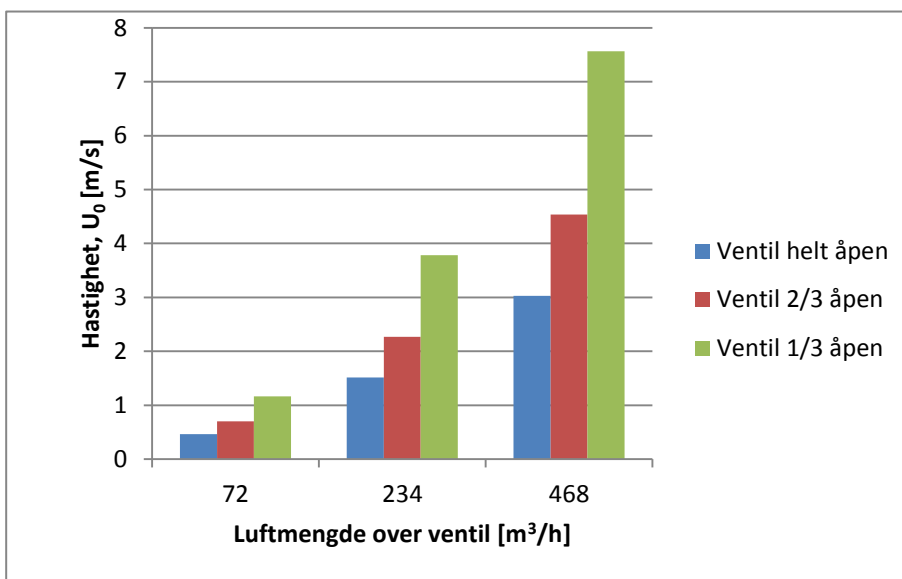
Ved sammenligning av lufthastighetene langs underkant himling, så er det tydelig at den aktive ventilen er adaptiv. Hastigheten ved lav luftmengde er faktisk høyere enn ved høy luftmengde. Dette som en motsetning til den passive ventilen, der høyere luftmengde tilsvarer høyere hastighet. Dette gjelder for målepunkter helt oppunder himlingen. Fra 12cm under himling og ned mot gulv ser det ikke ut til at den aktive ventilen har spesielt stor innvirkning på tilluftsbildet annet enn generelt høyere lufthastigheter og mer bevegelse på romluften.

9 RESULTATER OG DISKUSJON - BEREGNINGER

Eksempel med den aktive tilluftsventilen Swegon Adapt sphere er beregnet for å illustrere hvordan lufthastigheter, kastelengder og avløsning fra tak teoretisk endrer seg med forskjellige luftmengder. Forskjellen som oppstår på grunn av passiv kontra aktiv ventil er også vist. Ved beregning er det tatt utgangspunkt i radielt strømmende tilførsel og slett himling for sammenligning med forsøkene som er utført i testlaboratoriet. Ventilens spalteåpning er ved maksimal luftmengde på 15mm, og den kan justere seg ned mot 1mm i følge spesifikasjoner fra leverandøren.

GRAFISK SAMMENSTILLING TILLUFTSMENGDE OG HASTIGHET MED CAV -OG VAV-VENTIL

Figuren viser hvordan lufthastigheten endrer seg med forskjellige luftmengder over både aktiv og passiv ventil. Den passive ventilen er representert ved den blå søylen ettersom slike ventiler har konstant innblåsningsareal.



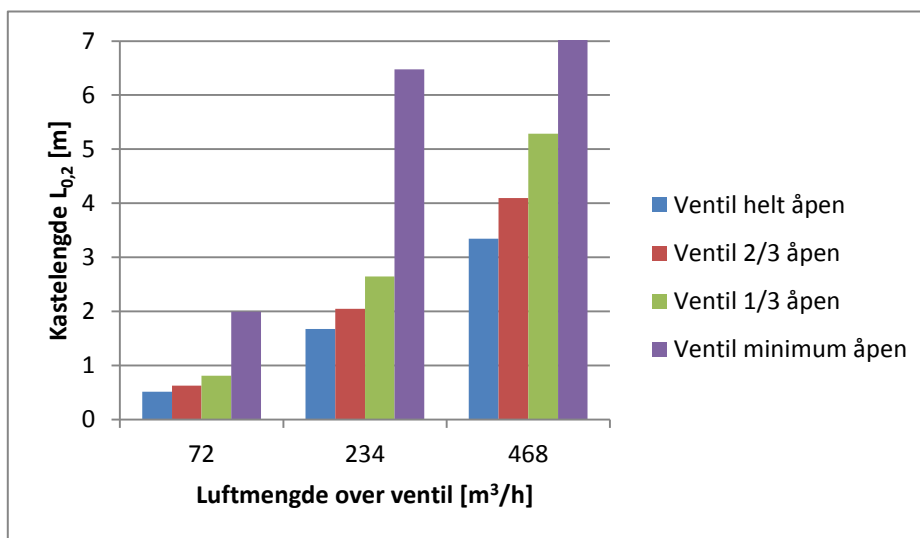
Figur 43 Hastighet over tilluftsventil som funksjon av luftmengde ved passiv og aktiv ventil

Det kommer tydelig fram at lufthastighetene endrer seg mindre ved variasjon av tilluftsmengde og bruk av aktiv ventil. Ved halvering av luftmengden vil også hastigheten

halveres med passiv ventil. Den aktive ventilen kan eksempelvis halvere innblåsningsarealet og tilnærmet opprettholde utgangshastigheten.

GRAFISK SAMMENSTILLING TILLUFTSMENGDEN OG KASTELENGDE MED PASSIV OG AKTIV VENTIL

Figuren viser hvordan kastelengden, det vil si distansen fra ventilen til det punktet jetstrålen har redusert sin egenhastighet til en viss verdi, i dette tilfellet og normalt 0,2m/s, endrer seg ved ulike tilluftsmengder.

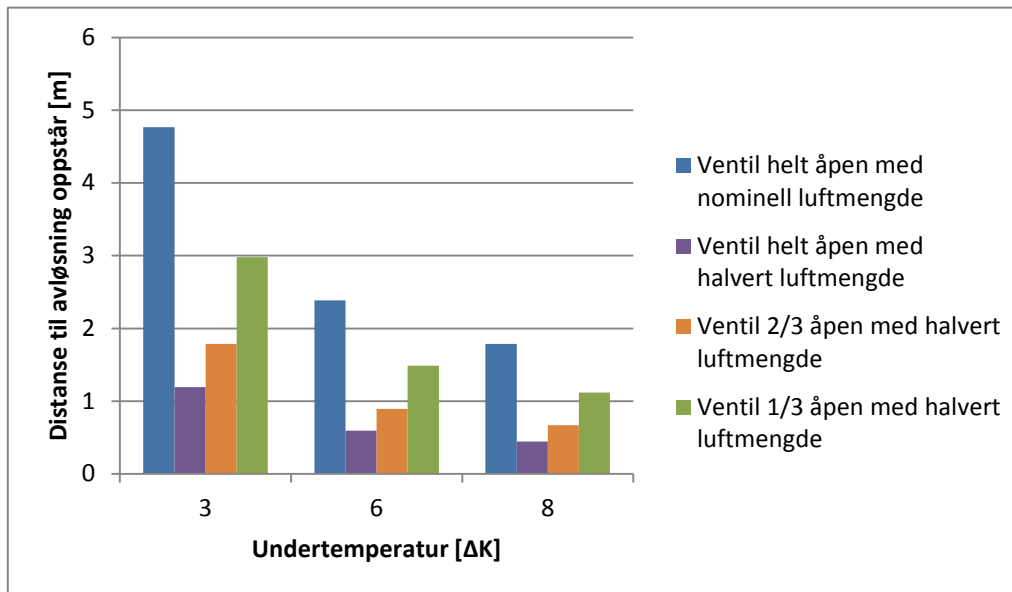


Figur 44 Kastelengde for jetstråle som funksjon av luftmengde ved passiv og aktiv ventil.

Også her illustreres fordelene med en aktiv adaptiv ventil som har mulighet for å tilpasse utløpsarealet, slik at en mer konstant kastelengde oppnås ved reduserte luftmengder. De blå søylene illustrerer også her passiv ventil. Ved halvering av luftmengden vil man også her måtte strupe utløpsarealet til mindre enn en tredel av maksimum for å holde noenlunde samme kastelengde.

VARIABEL TILLUFTSTEMPERATUR

Figuren viser ulike distanser for jetstrålen fra ventilutløp til avløsning fra slett takflate, det vil si når strålen beveger seg ned mot oppholdssonen. Avløsning er antatt ved $Ar_x=0,15$ (Skåret, 2000). Distansen til avløsning er beregnet ved ulike undertemperaturer på tilluften.



Figur 45 Avløsning fra tak for jetstråle ved ulike undertemperaturer for passiv og aktiv ventil

Det er tydelig at aktive adaptive ventiler, teoretisk, skal opprettholde strømmingen langs takflaten i større grad enn passive ventiler. Ved halvering av luftmengden vil en passiv ventil gjøre at avløsningen skjer omtrent 4-4,5 ganger tidligere enn ved maksimumsmengde. En aktiv ventil vil strupe utløpsarealet til en tredel, og avløsningen fra tak vil skje kun 1,5-2 ganger tidligere. Dette taler godt for at en løsning med aktive ventiler kan bidra til økt opplevd termisk komfort i et behovsstyrt anlegg ettersom man får mindre grad av lokale nedfall med undertempert luft.

10 DISKUSJON – OPPSUMMERING

10.1 MØTEROMSSIMULERING

CO₂-konsentrasjonene i avtrekkskammeret har tilsvarende forløp og utvikling som de andre loggepunktene i rommet, men nivået er noe lavere enn de som ble målt i de andre punktene. Kurvene for konsentrasjonsforløpet i avtrekk viser seg å være mest jevne av alle og har ingen plutselige sprang som alle andre kurver har i et eller annet forsøk.

For de fleste forsøk ser det ut til at variasjonene av CO₂-konsentrasjoner i rommet er minst ved bruk av aktive ventiler, når man sammenligner forsøkene med ulik bruk av rommet. Med hensyn til utviklingen av CO₂-nivåer i rommet, så ser det ut til at de aktive ventilene opprettholder ventilasjonseffektiviteten bedre, og i større grad er uavhengig av plasseringen på regulerende detektor i forhold til de passive ventilene ved ulikt bruksmønster av rommet.

Av resultatene kommer det fram at undertemperert tilluft ved sommertilstand jevner ut CO₂-konsentrasjonene i rommet mer enn isoterm tilluft som blir brukt ved vintertilstand. Dette gjentar seg både for forsøkene kjørt med passive og aktive ventiler.

Det ble raskt tydelig at ett loggepunkt var plassert på en plass hvor CO-nivået i de fleste tilfeller var mye høyere enn i de resterende punktene i rommet. Startkonsentrasjonen i dette punktet var lik de andre konsentrasjonene, men utviklingen var mye raskere. I noen tilfeller stabiliserte ikke konsentrasjonen seg før nærmere 2000 ppm var nådd, i motsetning til de andre punktene hvor maksimal konsentrasjon var 1000-1100 ppm. En forklaring på at dette punktet i rommet hadde så høye verdier av CO₂ kan være lokal stillstand på luften, det vil si liten eller ingen luftbevegelse. Noe som taler for det er at verdiene er betraktelig lavere ved forsøk kjørt med aktive ventiler kontra passive ventiler. Sammenstillinger som viser lufthastighetsfordelingene i rommet underbygger dette ved at hastighetene ved forsøk med aktive ventiler generelt er høyere i alle målepunkter. Dette punktet ble sjekket grundigere med røyk, og ved påslipp av røyk under detektoren som sto på veggen, var det tydelig at røyken helt inntil veggen hadde meget liten bevegelse. Røyken så ut til å klebre seg til veggen og den ble omtrent stående stille. Det var ikke mulig å se forskjeller på dette ved de ulike forsøkene med passive og aktive ventiler.

I de fleste forsøk var det antydninger til et og annet mindre sprang som ble etterfulgt av en nedgang etter 10 minutters tid. Dette er utviklinger som vanskelig kan forklares, spesielt fordi dette skjedde på helt forskjellige plasser fra forsøk til forsøk. Antageligvis er det lokal stillstand på luften ved en viss tilluftsmengde, også avtar denne stillstanden ved høyere luftmengder. Dette kan være et problem for detektor plassert i oppholdssonen. Den vil være ømfintlig i forhold til brukernes bevegelsesmønster og lokale konsentrerte forurensninger.

Ventilasjonseffektiviteten er beskrevet ved hjelp av ventilasjonsindekser beregnet av tall tatt ved slutten av møtesimuleringene. Ventilasjonseffektiviteten viser seg å ligge fra 0,80 opp mot 1,0 i forsøkene gjort med passive ventilatorer, med unntak av det ene punktet beskrevet i overliggende avsnitt, hvor det i verste tilfelle kun var en ventilasjonseffektivitet på 0,3. For de aktive ventilene lå effektiviteten generelt høyere, men det er ikke mye om å gjøre. Den største forskjellen mellom de aktive og passive ventilene ser ut til å være at man har en jevnere utvikling på CO₂-konsentrasjonene i rommet ved bruk av de aktive ventilene.

Lufthastighetene i oppholdssonen er som sagt generelt høyere ved bruk av aktive ventilatorer. I noen tilfeller er hastighetene for høye, men dette kan justeres ved å fordele luftmengdene over en ekstra ventil. Den største fordel til de aktive ventilene er at de er adaptive. Dette tydeliggjøres i resultatene der man ser at lufthastighetene i mye større grad forholder seg like ved variasjon av personbelastning og tilluftsmengde, i forhold til ved bruk av de passive ventilene der variasjonen er større, og det i visse forsøk nærmest ikke er målt bevegelse på luften.

Temperaturene varierte veldig lite og ved alle 24 forsøk viste det seg at den vertikale temperaturgradienten innenfor oppholdssonen lå innenfor 2K. Grunnen til dette er at romluften som er varm, kommer fra oppholdssonen og som har oppdrift trekker inn i den undertempererte tilluften. Tilluftsjetten blir da meget raskt oppvarmet og er i de fleste tilfeller innenfor optimal operativ temperatur før den når oppholdssonen.

10.2 AKTIVE - PASSIVE VENTILER

Teoretisk både fra litteratursøk og i de beregninger som er gjort, ser det ut til at aktive ventiler skal ha en klar fordel i forhold til passive ventiler ved bruk i behovsstyrte anlegg. Dette gjelder for opprettholdelse av kastelengden og strømningsbildet, og ikke minst ved tilførsel av undertemperert luft som ofte er tilfellet ved kjølebehov ved sommerforhold.

Forsøkene som ble gjort ved testing av aktiv og passiv ventil viste antydninger til at praksis stemte med teori i dette tilfellet. De store forskjellene er å finne helt oppunder himlingen, hvor hastigheten ved lav luftmengde er høyere enn ved høy luftmengde ved bruk av aktiv ventil. Dette som en motsetning til den passive ventilen, der høyere luftmengde tilsvarer høyere hastighet. Fra 12cm under himling og ned i oppholdssonen er ikke denne opprettholdelsen merkbar, og den eneste forskjellen mellom aktive og passive ventiler her er at den aktive medfører noe høyere hastighet generelt.

For at antydninger til kaldras skulle blitt målt, måtte antageligvis forsøkene blitt kjørt med enda større forskjell i tillufts- og romtemperatur og enda lavere luftmengder. 10K er vanligvis maksimum undertemperatur som blir brukt i næringsbygg ved kjøling via ventilasjonsanlegg. En kombinasjon av så lav undertemperatur og enda lavere luftmengder som i praksis er et fullt mulig scenario i møterom ville kanskje gitt kaldras og vist enda større forskjeller mellom passive og aktive ventiler.

11 KONKLUSJON

Resultatene fra denne oppgaven bekrefter at både lufthastigheter og fordelingen av CO₂-konsentrasjoner i rom varierer ved behovsstyring av luft og varierende luftmengder.

Forskjellige strømningsbilder gir ulike grader av omrøring i et rom, og det kan være en utfordring med optimal plassering av detektoren. I litteraturen er det enighet om at optimal plassering er avhengig av ventilasjonsprinsipp, sensortype, rommets utforming og bruk, plassering av forurensningskilder og temperaturforhold.

Vanlig praksis i ventilasjons- og automatikkbransjen er å montere detektor i avtrekkskanal. En løsning som fungerer ved fullstendig omrøring, men dette kan være vanskelig å oppnå ettersom en byggesak er kompleks og involverer mange parter i fra oppstart til ferdigstilling. Resultatene fra forsøkene i denne oppgaven har vist at plassering av detektor i avtrekk både har negative og positive effekter ved behovsstyring. Konsentrasjonen av CO₂ i avtrekket hadde en utvikling lik de andre punktene i rommet, men generelt noe lavere. Ventilasjonseffektiviteten for punktene i oppholdssonen lå sjelden under 0,8 med unntak av ett punkt hvor det viste seg å være gjentakende dårlig sirkulasjon på luften. Kurvene for konsentrasjonsforløpet i avtrekk viser seg å være mest jevne av alle og har ingen plutselige sprang som alle andre kurver har i et eller annet forsøk.

Forskjellene mellom aktive og passive ventiler ved behovsstyring er tydelige. Variasjonene av CO₂-konsentrasjoner i rommet er mindre ved bruk av aktive ventiler ved ulik bruk av rommet. Disse ventilene er også i større grad uavhengige i forholdt til plassering av regulerende detektor og opprettholdelse av ventilasjonseffektiviteten, selv om det ikke er snakk om store forskjeller mellom ventiltypene. Lufthastighetene i oppholdssonen er generelt høyere ved bruk av aktive ventiler, og dette er mest trolig årsaken til at ventilasjonseffektiviteten er høyere enn ved bruk av passive ventiler.

Resultatene fra oppgaven indikerer at detektorplassering i oppholdssonen gir bedre representasjon av virkelig og opplevd forurensning som videre medfører mer korrekt luftmengde til enhver tid. Dette varierer derimot litt fra forsøk til forsøk og ved plassering i avtrekk er fordelene at detektoren er beskyttet med tanke på både lokale kortvarige

forhøyninger av CO₂, samt bevegelsen til brukerne av rommet. Resultatene viser også at undertemperert tilluft er med på å skape noe mer sirkulasjon i rommet som videre begrenser økningen av CO₂-konsentrasjon i tilfeller med lokale forhøyninger på grunn av stillstand av luft.

Resultatene fra forsøkene som gikk på å finne forskjeller ved bruk av aktive og passive ventiler var ikke like tydelige i praksis som teorien og beregningene antyder. De aktive ventilene var adaptive og opprettholdt tilluftens hastighet oppunder himling ved ulike luftmengder i mye større grad enn de passive ventilene. I oppholdssonen var denne opprettholdelsen så og si ikke merkbar. Den eneste forskjellen var at lufthastighetene generelt lå høyere unntatt direkte under selve ventilen.

12 FORSLAG TIL VIDERE ARBEID

En videreføring av denne oppgaven kan innebære og se nærmere på strømningsbilder fra aktive ventiler sammenlignet med passive ventiler. Alt utstyr og instrumentering ble i disse forsøkene satt opp i forhold til en møteromssimulering, og dette er ikke optimalt for testing av ventiler. For å eliminere feilkilder bør det derfor settes opp egen rigg i et mindre rom med kun én ventil. I denne sammenheng bør det også instrumenteres opp med enda flere lufthastighetsmålere, slik at man kan danne seg et fullverdig bilde av luftstrømmen både i nærsonen til ventilen og oppholdssonen.

Både i forbindelse med testing av ventiler og møteromssimuleringer kan det være interessant og se hvordan strømningsbildene utvikler seg ved enda større differansetemperaturer mellom tilluft og rom. Dette for å se om de aktive ventilene kanskje egner seg enda bedre ved store varmebelastninger og kjølebehov.

Tilsvarende kan det være interessant og se nærmere på hvordan strømningsbildene for de aktive og passive ventilene blir påvirket ved enda større differanser i tilluftsmengde.

13 REFERANSER

- Aune, P.E. 2013, Salgsingeniør i Swegon AS. Privat kommunikasjon
- Awbi , H.B. 1991, Ventilation of buildings
- Blom, P. 2000, Krav til innemiljøet i yrkes- og servicebygninger
Byggforsk detaljblad 421.505, Norges byggforskningsinstitutt
- Blom, P. 1999-1, Temperatur og lufthastighet. Betingelser for termisk komfort
Byggforsk detaljblad 421.501, Norges byggforskningsinstitutt
- Blom, P. 1999-2, Krav til luftmengder i ventilasjonsanlegg
Byggforsk detaljblad 421.503, Norges byggforskningsinstitutt
- Bøe, T. 2012, Myte at dyrt – Prisedgang CO₂-følere, Norsk VVS
<http://www.norskvvs.no/article/20120529/NYHETER/120529991/1026/ventilasjon&ExpNodes=1026>
- Davidge, B. 1991, Demand Controlled ventilation systems in office buildings.
Proceedings of the 12th AIVC Conference Air Movement & Ventilation control within buildings
- Dwyer, T. 2012, Demand controlled ventilation to reduce fan energy use
The CIBSE journal, <http://www.cibsejournal.com/cpd/2012-10/>
- Emmerich S.J. et al. Literature review on CO₂-Based Demand-Controlled Ventilation
<http://fire.nist.gov/bfrlpubs/build97/PDF/b97015.pdf>
- Fisk, William et. al. 2009, Accuracy of CO₂ sensors deployed in commercial buildings
Interim Report for the California Energy Commission
- Fjerdingsgen, O.T. 2012, Overingeniør i COWI, VVS-teknisk utdanning og lang erfaring innen automasjon. Privat kommunikasjon
- Halvarsson, Johan 2012, Innemiljø og helse, Klimateknikk
Forelesning 2. «Det termiske og atmosfæriske miljø»
- Heiselberg P. 1994, “Draught risk from cold vertical surfaces”,
Building and Environment, 29, pp. 297 – 301
- Hestad, T. 1976, Dimensjonering av innblåsningsventiler, kaldluft-nedfall
Norsk VVS nr. 6 1976

- Magnussen, I.H. et. al. 2011-9, Energibruk I Fastlands-Norge, Norges vassdrags- og energidirektorat
<http://www.nve.no/Global/Publikasjoner/Publikasjoner%202011/Rapport%202011/rapport9-11.pdf>
- Maripuu, M.L 2006, Adapting Variable Air Volume(VAV) Systems for Office Buildings without Active Control Dampers, Chalmers University of technology
- Maripuu, M.L. 2009, Demand Controlled Ventilation Systems in Commercial Buildings
Doktoravhandling, Chalmers University of technology
- Maripuu, M.L. 2011, Demand controlled ventilation for better IAQ and Energy Efficiency
<http://www.rehva.eu/en/385.demand-controlled-ventilation-dcv-for-better-iaq-and-energy-efficiency>
- Mathisen, H.M. 2012, Privat kommunikasjon.
- Mysen, M. 2000, Prosjektering av energieffektive ventilasjonsanlegg
Byggforsk detaljblad 552.335, Norges byggforskningsinstitutt
- Mysen, M. 2005, Behovsstyrt ventilasjon
Byggforsk detaljblad 552.323, Norges byggforskningsinstitutt
- Mysen, M. 2010, Energy use in Educational buildings with robust Demand Controlled Ventilation
<http://www.sintef.no/project/reDuCeVentilation/Presentasjoner/Pres131010MadsMysen.pdf>
- Mysen, M. 2010, Passivhus i Norge krever moderne energieffektiv ventilasjon
<http://www.sintef.no/project/reDuCeVentilation/Presentasjoner/VVS-dagene%20-%20Utvikling%20av%20krav.pdf>
- Mysen, M. et. al. 2005, Occupancy density and benefits of demand-controlled ventilation in Norwegian primary schools
- Nielsen, P.V. et. al. 1988, Displacement ventilation by different types of diffusers
- Norsk Standard, NS-EN ISO 7730, 2006, " Termiske miljø - Moderate omgivelser - Bestemmelse av PMV- og PPD-indeks og betingelser for termisk komfort"
- Norsk Standard, NS-EN 15251:2007, Inneklimaparamtere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk
- Regjeringen, 2005-12, Mer effektiv bygningslovgivning
<http://www.regjeringen.no/nb/dep/krd/dok/nouer/2005/nou-2005-12/27/5.html?id=154679>

- Rehn, C. 2009, Ventilasjon av møterom
Ventøkblad 3.20, Kompetansebiblioteket
- Sangnes, A.O. 2011, Behovsstyrt og behovstilpasset klimatisering – energibruk og inneklime
Masteroppgave, Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
- Skåret, E. 1996-2, Fordeling av ventilasjonsluft
Byggforsk detaljblad 552.351, Norges byggforskningsinstitutt
- Skåret, E. 2000, Ventilasjonsteknisk håndbok
Håndbok 48, Norges byggforskningsinstitutt
- Sørensen, B. 2002, Application and Energy Consumption og Demand Controlled Ventilation
Systems. Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet
- Swegon, Produktblad for adaptive tilluftsventil
http://www.swegon.com/Global/PDFs/Flow%20control/WISE/_sv/ADAPTFb.pdf
- Tjelflaat, P.O. 1996, General strategies and a calculation method for Cold down-draft
prevention in a large glazed enclosure.
- Tjelflaat, P.O. 2012, Forelesningsnotater – Equations for flow elements
- Tjelflaat, P.O. 2012, Forelesningsnotater angående lokal ventilasjon og rekkevidde på jetter
og avkast
- Wargocki, P. 1998, Human Perception, Productivity and Symptoms Related to Indoor Air
Quality. Technical University of Denmark
- Wargocki et al, 2012, Satisfaction and self-estimated performance in relation to indoor
environmental parameters and building features
- Østerlie, F. 2012, Senioringeniør I COWI, VVS-teknisk utdanning og lang erfaring innen
automasjon. Privat kommunikasjon

14 VEDLEGG A

Vedlegget viser beregning av kjølerommets temperatur ved varmetap gjennom veggen som er bygd på testlaben. Temperaturen skal tilsvare en utetemperatur på -10°C ved varmetap gjennom en vegg bygd i henhold til TEK10.

Ved en vintertilstand med utetemperatur på -10°C vil det være naturlig med en optimal operativ innetemperatur satt til 22°C ved møtevirkosomhet.

Teknisk forskrift setter krav til at U-verdi til vindu skal være maksimum $1,2\text{ W/m}^2\text{K}$. U-verdien til vinduene i ytterveggen på testlaben er $2,7\text{ W/m}^2\text{K}$ (Sarasevic, 2007). Tilsvarende har TEK10 krav til U-verdi yttervegg på maksimum $0,18\text{ W/m}^2\text{K}$. U-verdien på ytterveggselementene på testlaben er $0,35\text{ W/m}^2\text{K}$ (Saracevic, 2007).

Med utgangspunkt i dette beregnes temperaturen kjølerommet må ha ved hjelp av ligningen som beskriver varmetap i form av konduksjon gjennom en flate:

$$Q_{\text{konduksjon}} = (AU\Delta T)_{\text{vegg}} + (AU\Delta T)_{\text{vindu}}, Q_{\text{konduksjon}} = \text{konstant ved begge tilfeller}$$

Arealer er konstante ved begge tilfeller

$$\Delta T = 32\text{K}$$

$$c = [(U\Delta T)_{\text{vegg}} + (U\Delta T)_{\text{vindu}}]$$

$$[(U\Delta T)_{\text{vegg}} + (U\Delta T)_{\text{vindu}}]_{\text{TEK10}} = [(U\Delta T)_{\text{vegg}} + (U\Delta T)_{\text{vindu}}]_{\text{EKSISTERENDE VEGG}}$$

$$\Delta T_{\text{EKS.VEGG}} = 14,5^{\circ}\text{C}$$

Det vil si at for at temperaturen i kjølerommet skal illustrere en utetemperatur på -10°C ved en yttervegg bygd etter TEK 10, må det ha en temperatur på $22^{\circ}\text{C} - 14,5^{\circ}\text{C} = \underline{7,5^{\circ}\text{C}}$.

15 VEDLEGG B

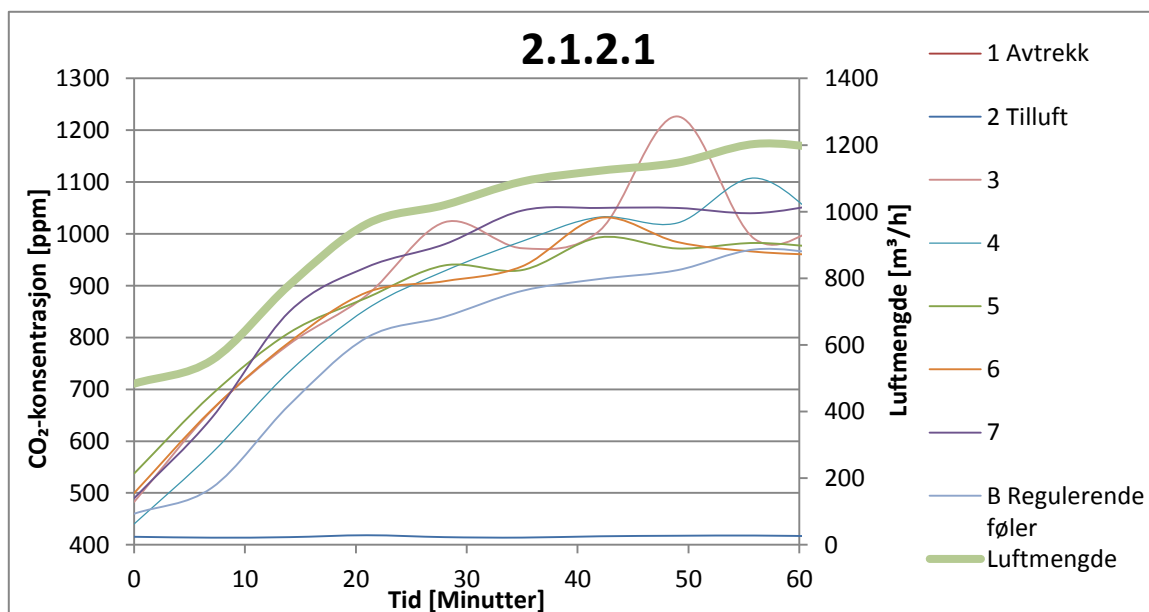
I dette vedlegget finnes resultater fra CO₂-og lufthastighetslogging som ikke er diskutert i oppgaven. Disse er ikke nevnt i oppgaven ettersom de viser det samme og underbygger de resultatene som er diskutert i kapittel 9.

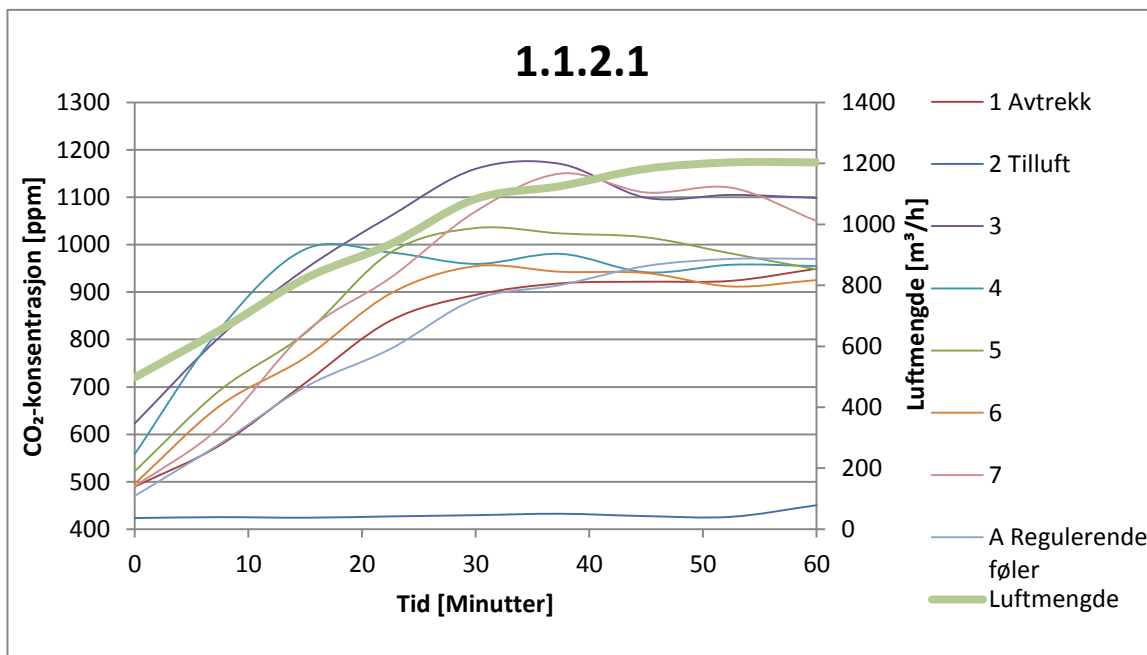
UTVIKLING AV CO₂-KONSENTRASJONER I MÅLEPUNKTENE I ROMMET

Plassering av målepunkter av CO₂. Plasseringer er også vist i plan og oppriss i kapittel 7.3.

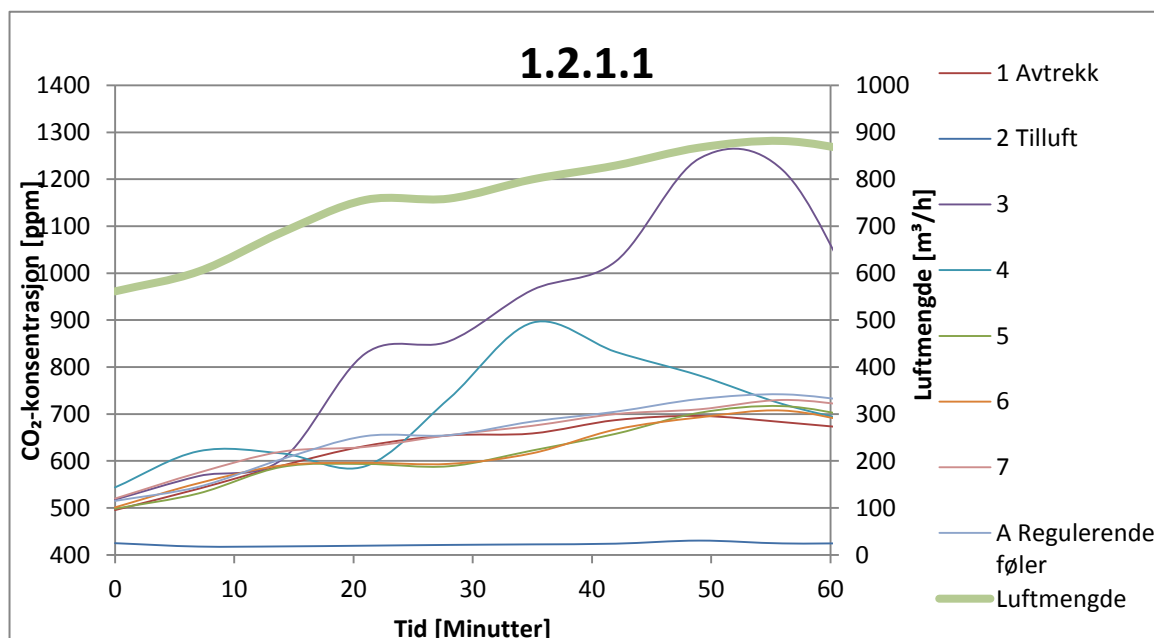
Målepunkt	Plassering
1	I avtrekkskammer
2	I tilluftsventil
3	På innervegg bak den ene stolraden, 1,1m over gulv
4	Ved mennesker ved stolraden langs yttervegg, 1,1m over gulv
5	Ved hjørnet av to stolrader, 1,1m over gulv
6	Ved mennesker ved stolraden overfor innervegg, 1,1m over gulv
7	Ved mennesker ved stolraden overfor yttervegg, 1,1m over gulv
8	På gulv sentrert i rommet

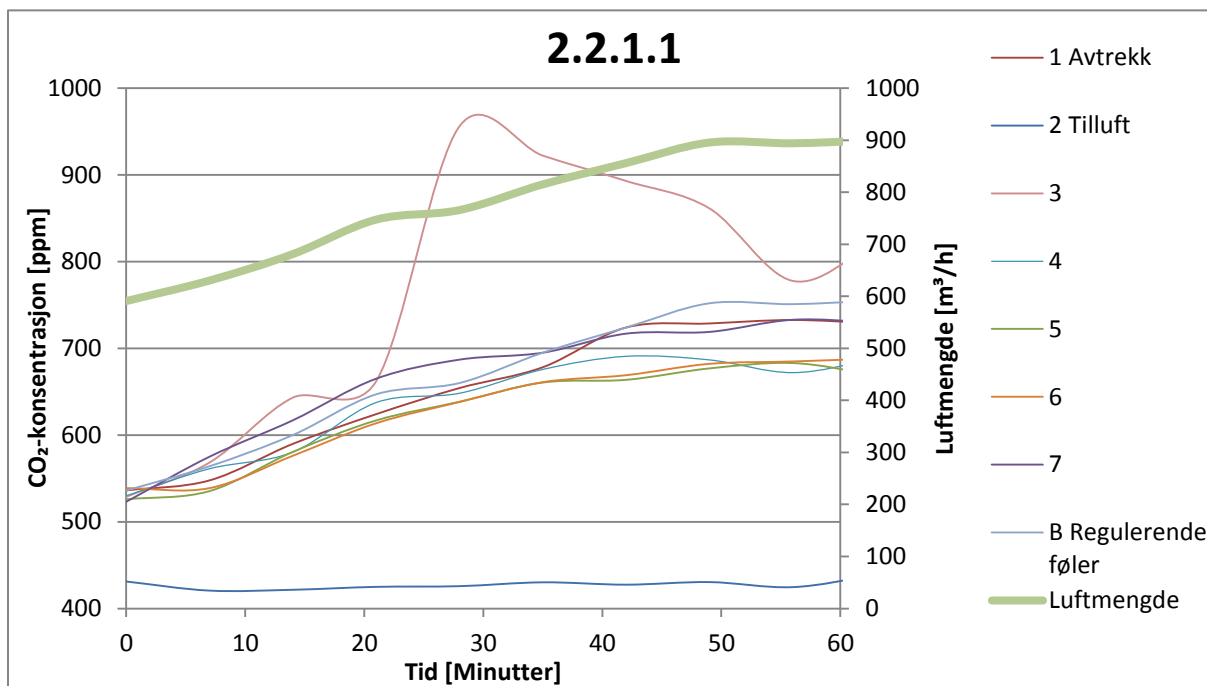
Figurene under viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med vintertilstand, maksimal personbelastning og detektor i avtrekk (A).



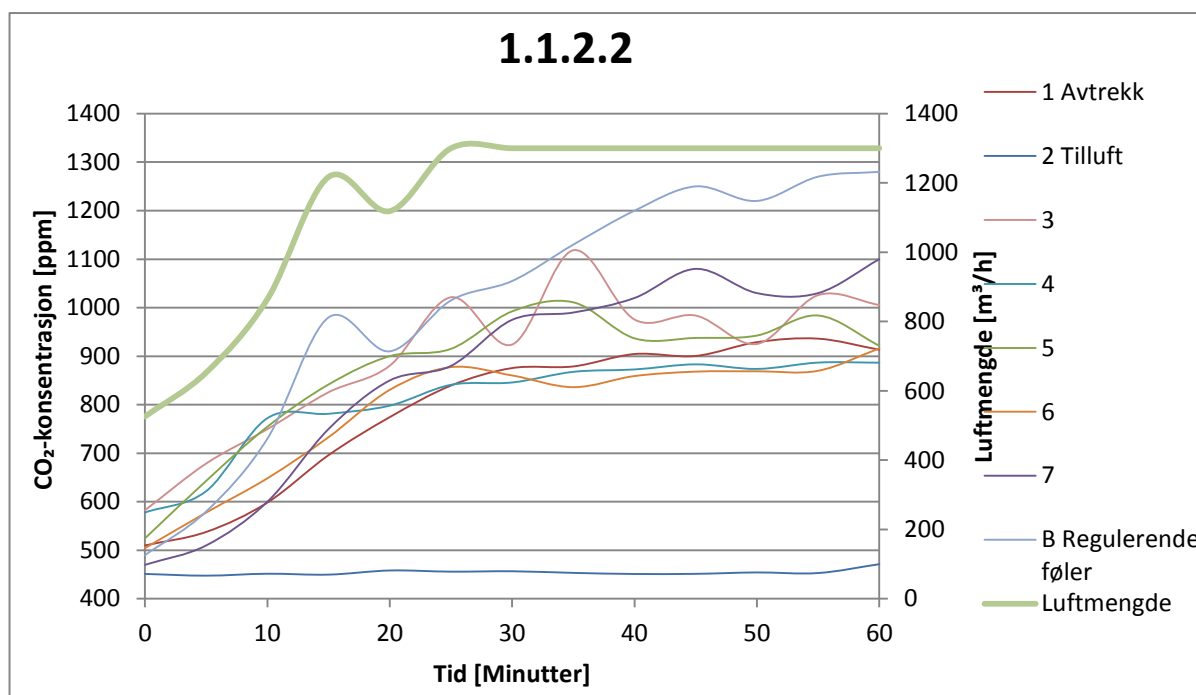


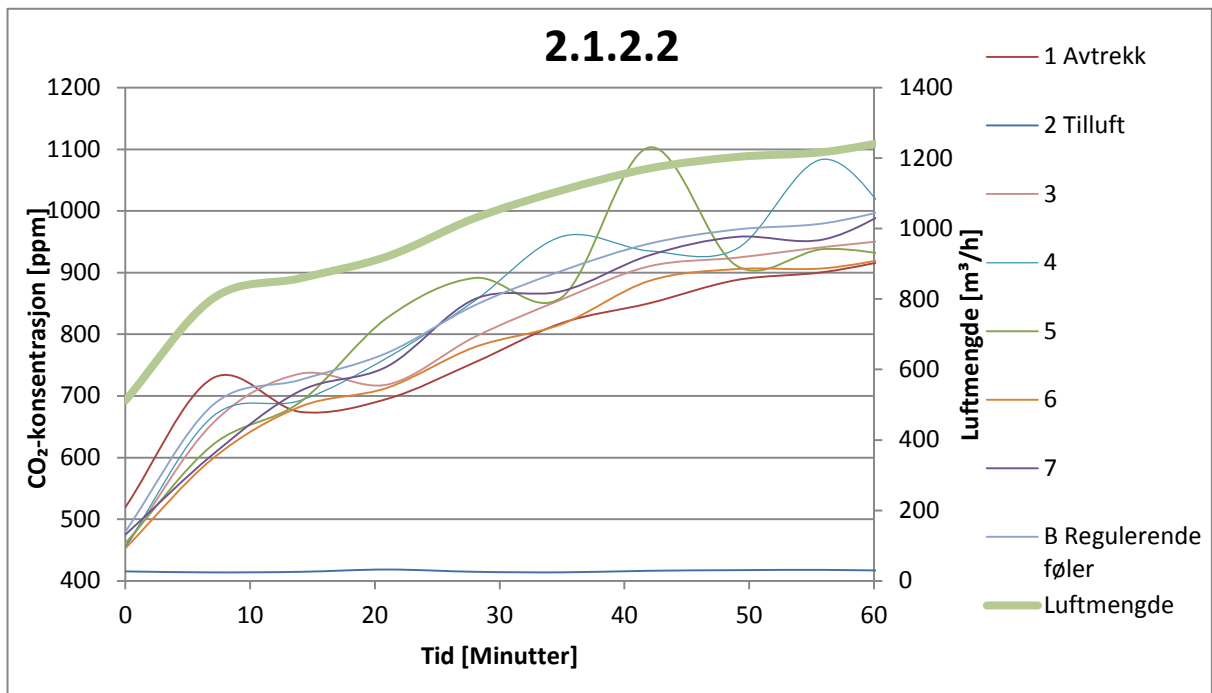
Figurene under viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med sommertilstand, en tredel av maksimal personbelastning og detektor i avtrekk (A).



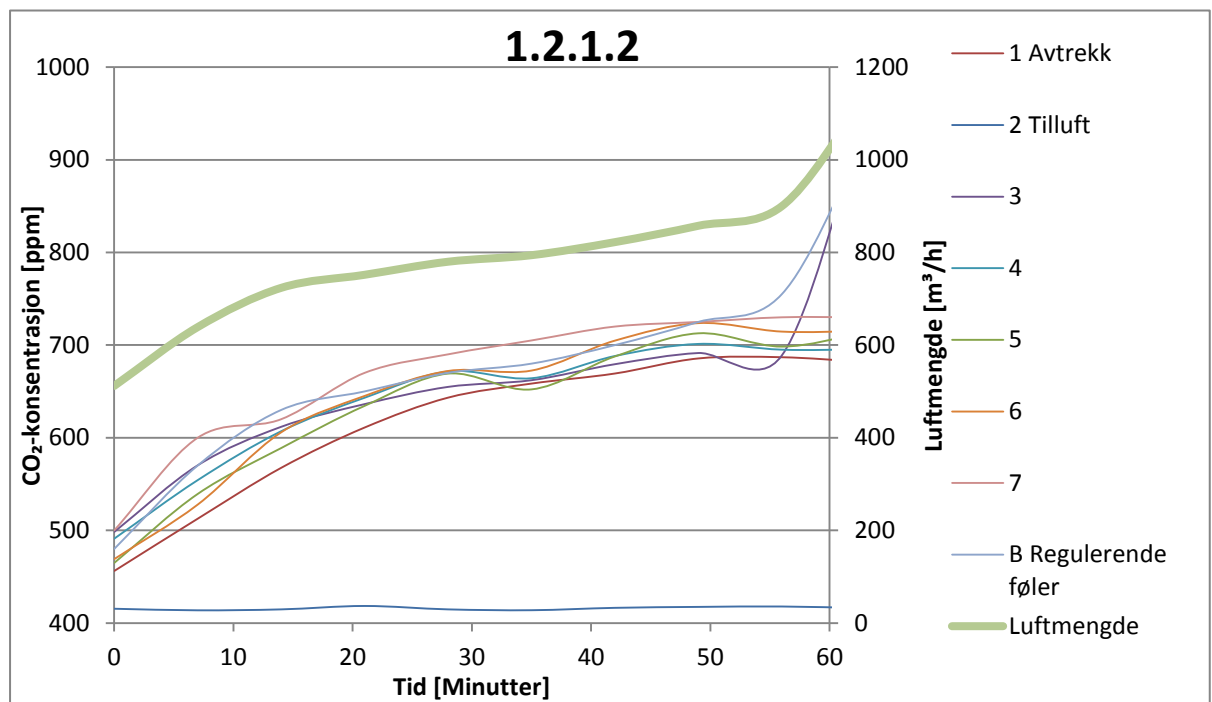


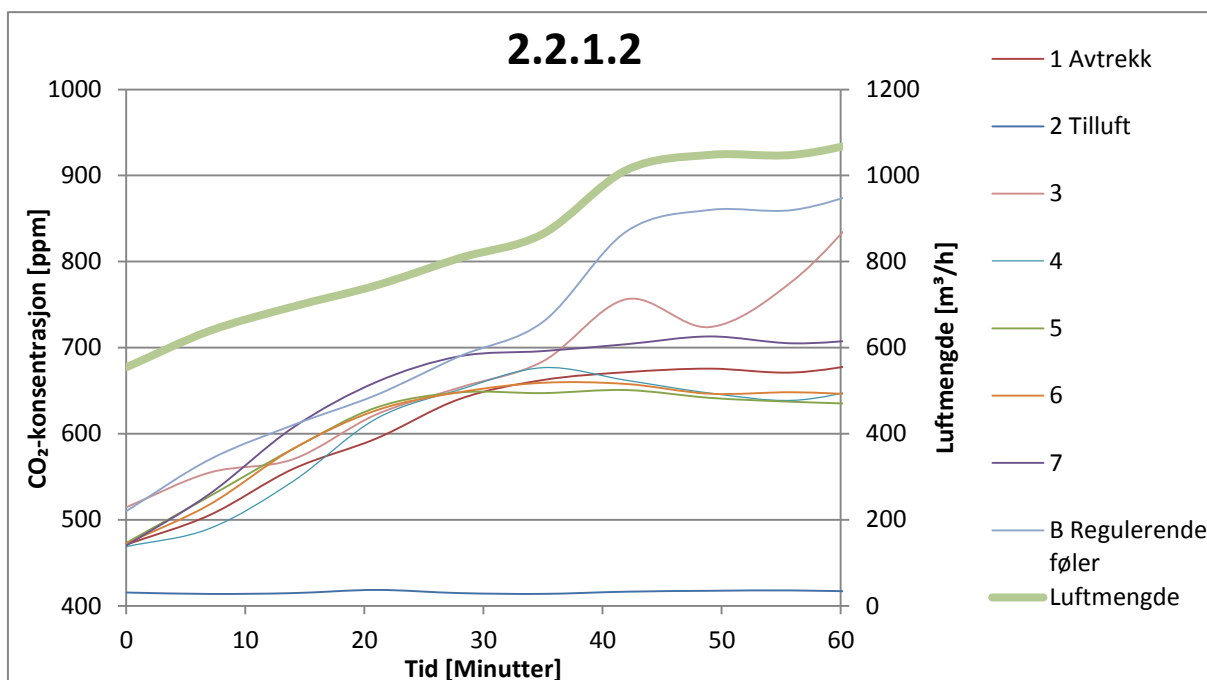
Figurene under viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med vintertilstand, maksimal personbelastning og detektor i på vegg bak den ene stolraden (B).



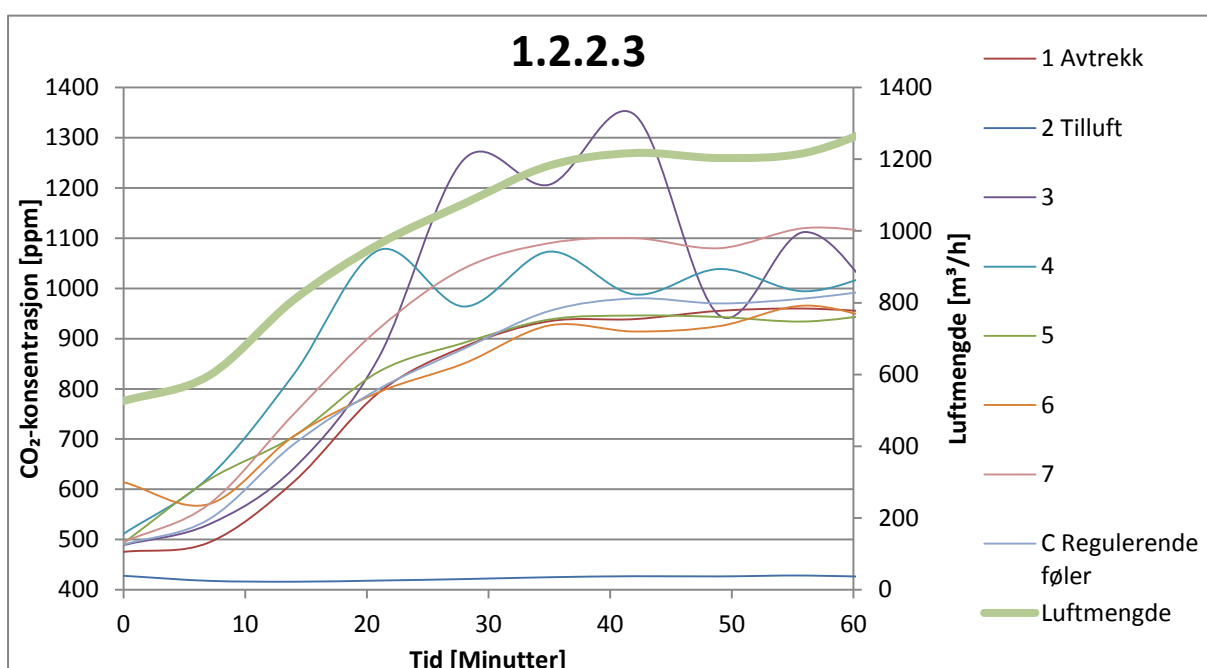


Figurene under viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med sommertilstand, en tredel av maksimal personbelastning og detektor plassert på vegg bak den ene stolraden (B).

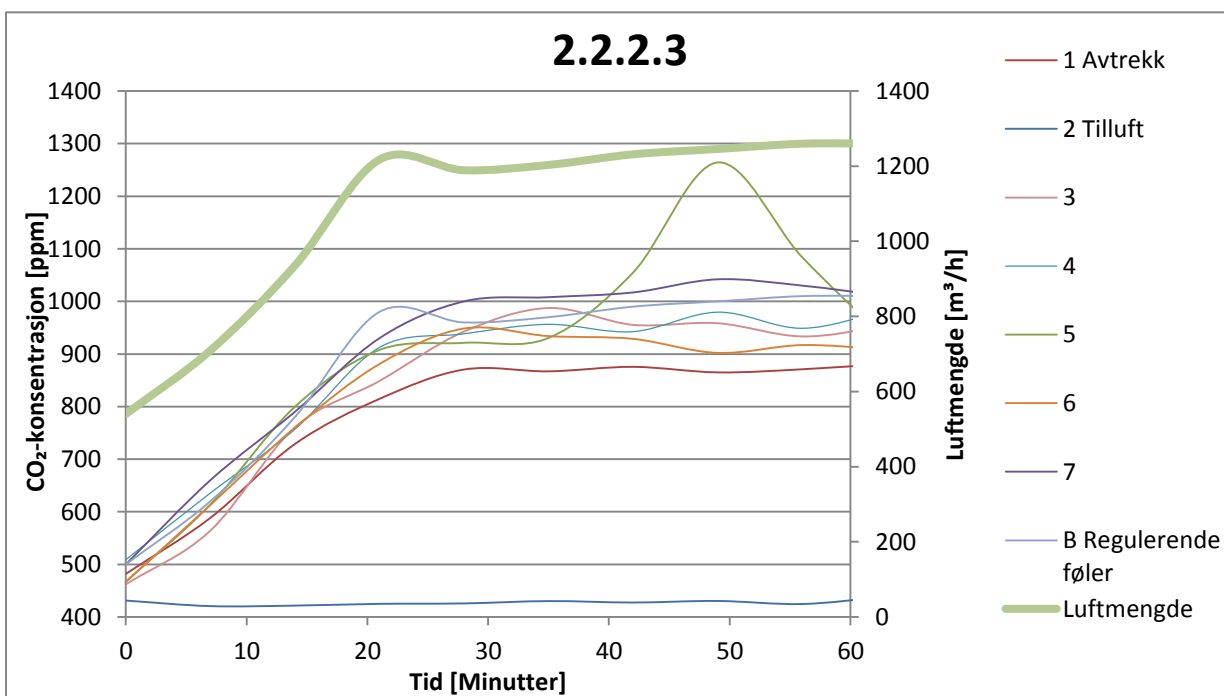




Figurene under viser konsentrasjonsvariasjonene for punktene i rommet ved bruk av henholdsvis passiv og aktiv ventil med sommertilstand, maksimal personbelastning og detektor plassert på bord foran personer (C).

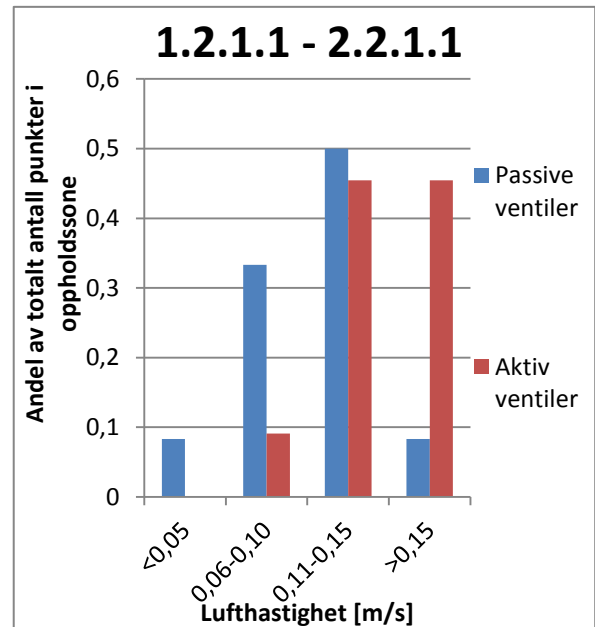
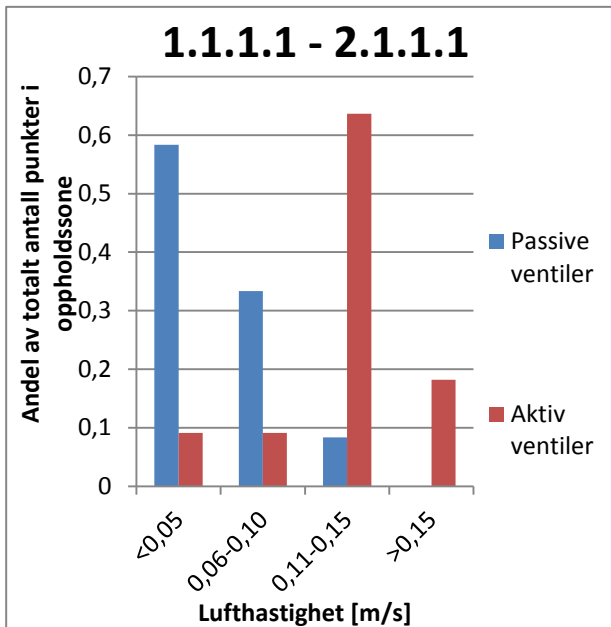


2.2.2.3



LUFTHASTIGHETSFORDELINGEN I ROMMET VED AKTIVE-PASSIVE VENTILER

Figurene viser forskjellen i lufthastigheter i møterommet ved passive og aktive ventiler ved henholdsvis vintersimulering og sommersimulering. Personbelastningen er en tredel av maksimal og detektor er plassert i avtrekk (A).



Figurene under viser forskjellen i lufthastigheter i møterommet ved passive og aktive ventiler ved henholdsvis vintersimulering og sommersimulering. Personbelastningen er en tredel av maksimal og detektor er plassert på foran personer (B)

