

Martin Aasvestad

Inneklima i flerbrukshaller

- Måleparametre og sensorplassering for
behovsstyrt ventilasjon

Juni 2019

Inneklima i flerbrukshaller

- Måleparametre og sensorplassering for behovsstyrt ventilasjon

Martin Aasvestad

Energibruk og energiplanlegging

Innlevert: Juni 2019

Hovedveileder: Hans Martin Mathisen

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Forord

Denne masteroppgaven er skrevet ved institutt for energi- og prosesseteknikk, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven er en videreføring av tidligere prosjektoppgave utført av samme forfatter, og er gitt av NTNU i samarbeid med Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT).

Jeg vil starte med å takke min hovedveileder, professor Hans Martin Mathisen, for gode råd og tett oppfølging gjennom hele masteroppgaven. Videre vil jeg takke Bjørn Aas og SIAT for nyttige tips og støtte vedrørende planleggingen av gjennomførte forsøk. Til slutt vil jeg takke de ulike driftsavdelingene ved Kolstad Arena, Heimdalshallen og Flatåshallen for tillatelse til å utføre forsøk i hallene.

Trondheim, 10. juni 2019



Martin Aasvestad

Sammendrag

Optimal klimatisering av ulike typer bygg vil ha positive effekter når det kommer til komfort og bygningsfysiske krav. For å opprettholde et godt inneklima er det nødvendig å vite rommets forutsetninger og tiltenkt bruk. For flerbrukshaller er det i dag ingen egen standard som omhandler ventilering av denne typen bygg. Aktivitetsnivå, bruk og personbelastning vil kunne ha betydelige variasjoner gjennom dagen. For å ivareta og kompensere for disse endringene vil et ventilasjonssystem med behovsstyring være fordelaktig å bruke.

I denne oppgaven har formålet vært å undersøke hvilke inneklimaparametre som burde benyttes som styringssignal opp mot behovsstyrt ventilasjon i en flerbrukshall, og hvor i hallen sensorene bør plasseres. På bakgrunn av dette har det blitt gjennomført forsøk i tre ulike flerbrukshaller i Trondheim, samt en litteraturstudie for å kartlegge hvilke påvirkninger som styrer luftfordelingen i store rom.

Gjennom forsøkene ble temperatur, relativ fuktighet, CO₂ og partikler logget i ulike punkter i flerbrukshallene. Fra resultatene ble det funnet at temperatur og CO₂ er de to parametrene som tydeligst viser sammenheng med personbelastningen, og reagerer i samsvar med økt aktivitet. CO₂ fremkom som den parameteren som påvirkes raskest, samtidig som temperatur fremstod som en tregere, men også mer stabil styringsparameter.

Relativ fuktighet viste seg å være påvirket av endringer i absolutt fuktighet utendørs. Registrerte verdier fulgte ikke de samme variasjonene som var for personbelastningen i hallen. Dette gjaldt særlig under lav til middels aktivitet. Resultatene fra partikkelkonsentrasjonen ga heller ingen klare tegn til sammenheng med økt aktivitet, og underbygger litteratur som påpeker at målt nivå innendørs vil avhenge av utekonsentrasjonen.

Ut fra gjennomførte forsøk og litteratur vil aktuell sensorplassering være i oppholdssone ved hallflaten. En kombinert temperatur- og CO₂-sensor plassert foran hver banehalvdel langs vegg på den ene langsiden vil være å anbefale. Disse vil avdekke eventuelle forskjeller i flerbrukshallen, selv når banen deles inn med skillevegger og det er ulik aktivitet på sidene.

Abstract

Optimal air conditioning of different types of buildings will have positive effects when it comes to comfort and building physical requirements. In order to maintain a good indoor climate, it is necessary to know the room's prerequisites and intended use. For multipurpose halls, there is currently no separate standard that deals with ventilation of this type of building. Activity level, usage and personal load could have significant variations throughout the day. In order to preserve and compensate for these changes a ventilation system with demand control will be advantageous to use.

In this Master thesis the purpose has been to investigate which indoor climate parameters should be used as a control signal for demand-controlled ventilation in a multipurpose hall, and where in the hall the sensors should be placed. Based on this, experiments have been carried out in three different multipurpose halls in Trondheim, as well as a literature study to map which influences direct the air distribution in large rooms.

During the experiments temperature, relative humidity, CO₂ and particles were logged at various points in the multipurpose halls. From the results it was found that temperature and CO₂ are the indoor climate parameters that most clearly correlate with the personal load and respond in accordance with increased activity. CO₂ emerged as the parameter that is affected most rapidly while temperature was a slower, but more stable control parameter.

Relative humidity proved to be affected by changes in absolute humidity outdoors. Registered values did not follow the same variations that occurred for the personal load in the hall. This especially applies to low to medium activity. The results from the particle concentration show no clear signs of correlation with increased activity, and substantiate literature pointing out that measured levels indoors will depend on the outdoor concentration.

Based on completed experiments and literature, the current sensor locations will be in the occupied zone at the sports hall surface. A combined temperature and CO₂-sensor located in front of each of the halfway paths, along one of the long sides will be recommended. These will uncover any differences in the multipurpose hall, even when the sports hall is divided with partitions and there is different activity.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurer	viii
Tabeller	ix
1 Innledning	1
1.1 Formål og problemstilling	2
1.1.1 Omfang og avgrensninger	2
1.1.2 Formål og disposisjon	3
2 Teori	4
2.1 Krav i standarder og forskrifter	4
2.1.1 Luftmengde	4
2.1.2 Temperatur og luftfuktighet	6
2.1.3 PMV og PPD	7
2.2 Ventilasjonsstrategier	8
2.2.1 Omrøringsventilasjon	8
2.2.2 Fortrengningsventilasjon	9
2.3 Strømning i store rom	10
2.3.1 Tillufts- og avtrekksventiler	10
2.3.2 Ikke-isoterme luftstrømmer	12
2.3.3 Bevegelser i rommet	13
2.3.4 Interne kilder	14
2.4 Styringsparametre for ventilasjon	16
2.4.1 Temperatur	16
2.4.2 CO ₂	16
2.4.3 Relativ luftfuktighet	17
2.4.4 Partikler	19
2.4.5 VOC	19
2.4.6 Sammenligning av sensortyper	20
2.4.7 Plassering av sensorer	21

3	Flerbrukshaller	22
3.1	Heimdalshallen	22
3.1.1	Ventilasjonssystemet	23
3.1.2	Regulering og sensorplassering	23
3.2	Kolstad Arena	24
3.2.1	Ventilasjonssystemet	24
3.2.2	Regulering og sensorplassering	25
3.3	Flatåshallen	26
3.3.1	Ventilasjonssystemet	26
3.3.2	Regulering og sensorplassering	27
4	Metode	28
4.1	Litteraturstudie	28
4.2	Forsøk	28
4.2.1	Måleutstyr og nøyaktighet	29
4.2.2	Overordnet forsøksplan og gjennomføring	30
4.2.3	Heimdalshallen - Sensorplassering og omstendigheter	31
4.2.4	Kolstad Arena - Sensorplassering og omstendigheter	32
4.2.5	Flatåshallen - Sensorplassering og omstendigheter	34
4.3	Databehandling og programvare	35
5	Resultat og deldiskusjon	37
5.1	Resultater - Heimdalshallen	37
5.1.1	Temperatur	37
5.1.2	Relativ fuktighet	39
5.1.3	CO ₂	39
5.1.4	Partikler	40
5.2	Resultater - Kolstad Arena	41
5.2.1	Temperatur	41
5.2.2	Relativ fuktighet	42
5.2.3	CO ₂	43
5.2.4	Partikler	44
5.3	Resultater - Flatåshallen	45
5.3.1	Temperatur	45
5.3.2	Relativ fuktighet	46
5.3.3	CO ₂	47
5.3.4	Partikler	48
5.4	Sammenligning av flerbrukshallene	48
6	Diskusjon	51
6.1	Temperatur	51
6.2	Relativ fuktighet	52
6.3	CO ₂	53
6.4	Partikler	54
6.5	Sensorplassering og styring	55
6.6	Løsninger i flerbrukshallene	56

7	Konklusjon	61
8	Videre arbeid	62
	Bibliografi	63
A	Tilleggsinformasjon om hallene	A1
B	Utelatte resultater	B1
C	Diverse vedlegg	C1

Figurer

2.1	Optimal operativ temperatur	6
2.2	Sammenheng PMV og PPD	8
2.3	Strømning fra fri sirkulær innblåsning ved isoterme forhold	11
2.4	Luftstråler for runde aksielle, plane og radielle tilluftsåpninger	13
2.5	Kaldras ned langs vegg	14
2.6	Konveksjonsstrøm fra en varmekilde	15
2.7	Mollierdiagram	18
2.8	Måleparametre brukt for styring av ventilasjon	20
3.1	Oversiktsbilde av Heimdalshallen	22
3.2	Oversiktsbilde av Kolstad Arena	24
3.3	Sensorplassering og aggregater i Kolstad Arena.	26
3.4	Aggregat plassert i Flatåshallen	27
4.1	Forklaring til plassering av måleutstyr i Heimdalshallen	31
4.2	Forklaring til plassering av måleutstyr i Kolstad Arena, 3D-modell	32
4.3	Forklaring til plassering av måleutstyr i Flatåshallen, 3D-modell	34
5.1	Temperaturforløp i oppholdssonen i Heimdalshallen, uke 10	38
5.2	Vertikale temperaturforskjeller i Heimdalshallen, uke 10	38
5.3	Relativ fuktighet i Heimdalshallen, uke 10	39
5.4	CO ₂ -konsentrasjon i Heimdalshallen, uke 10	40
5.5	PM _{2.5} -konsentrasjon i Heimdalshallen, uke 10	41
5.6	Temperaturforskjeller i Kolstad Arena for uke 11	42
5.7	Relativ fuktighet i Kolstad Arena for uke 11	43
5.8	CO ₂ -konsentrasjon i Kolstad Arena for uke 11	43
5.9	PM _{2.5} -konsentrasjonen i Kolstad Arena, 14.03	44
5.10	PM ₁₀ -konsentrasjonen i Kolstad Arena, 14.03	45
5.11	Temperaturforskjeller i Flatåshallen uke 12	46
5.12	Relativ fuktighet i Flatåshallen uke 12	46
5.13	Aboslutt fuktighet utendørs og relativ fuktighet oppholdssone, uke 12	47
5.14	CO ₂ -konsentrasjon i Flatåshallen, uke 12	48
5.15	Utetemperatur og relativ fuktighet ved Saupstad målestasjon	49
5.16	Sammenligning av CO ₂ -konsentrasjonen i de ulike flerbrukshallene	50
6.1	Forslag til sensorplassering	59

Tabeller

2.1	Metabolisme og luftmengder per person ved ulike aktivitetsnivåer	5
2.2	CO ₂ -konsentrasjoner mellom inne- og uteluft	17
2.3	Partikkelkonsentrasjon av anbefalte mengder	19
4.1	Måleutstyr benyttet ved forsøk i flerbrukshallene	29
4.2	Forsøksperioder i flerbrukshallene	30
4.3	Målepunkter ved Heimdalshallen under forsøket	31
4.4	Målepunkter ved Kolstad Arena under forsøket	33
4.5	Målepunkter ved Flatåshallen under forsøket	34
5.1	Oversikt over registrerte verdier fra forsøkene	50

1

Innledning

Riktig klimatisering av ulike romtyper vil ha positive effekter både når det kommer til generell komfort og de bygningsfysiske krav. For å imøtekomme ønsket om et godt innneklima, må rommets forutsetninger og tiltenk bruk være kjent. I dag finnes det ingen egen byggteknisk standard eller teknisk forskrift som direkte omhandler klimatisering og ventilering av idrettshaller [1]. I byggteknisk forskrift (TEK 17) er det beskrevet at byggverk for publikum og arbeidsbygninger skal ventileres slik at luftkvaliteten holdes tilfredsstillende. Dette med hensyn til rommets utforming, bruk, forurensing og fuktbelastning [2]. En idrettshall vil typisk ha en helt annen romutforming og ikke minst aktivitetsbruk, sammenlignet med et normalt yrkesbygg.

Rettes fokuset ytterligere inn mot flerbrukshaller, vil denne typen bygg tidvis ha store forskjeller i bruk og personbelastning. Ved drift på dag- og kveldstid vil det normalt kunne være mellom 15-30 personer som har trening samtidig. På nattestid vil hallen mest sannsynlig stå ubrukt over mange timer. Disse to brukssituasjonene vil utgjøre store deler av den totale tiden for flerbrukshallen gjennom året. I tillegg vil det foregå arrangementer som idrettscuper, elitekamper eller konserter, der det kan være et par hundre til flere tusen personer i hallen samtidig. Disse store forskjellene i personbelastning vil gi store variasjoner i varmetilskudd, fukttilskudd og målt luftkvalitet. Dermed må ventilasjonssystemet være fleksibelt og ha mulighet til å justere seg raskt etter nødvendig luftmengdebehov.

For å kunne regulere og kompensere for disse variasjonene i nødvendig luftmengde, vil et system med behovsstyrt ventilasjon (DCV-demand control ventilation) være hensiktsmessig å benytte. Dette gir mulighet til å regulere luftmengden ut fra et målt signal fra en eller flere sensorer plassert i tilknytning til rommet. Parametrene det kan reguleres etter er eksempelvis temperatur, CO₂ eller relativ fuktighet. For å få et optimalt system vil valget av sensortype og plasseringen av disse være en avgjørende faktor. Resultatet av god prosjektering vil være et godt innneklima og redusert energibruk tilknyttet ventilasjonen.[3]

I denne oppgaven er fokuset vendt mot behovsstyrt ventilasjon og hvilke styringsparametre det vil være fordelaktig å benytte for optimal ventilering i en flerbrukshall. Driftstrategier og konsepter for luftfordeling i hallen vil kunne ha innvirkning på både type og plassering av sensorer. På grunn av flerbrukshallens store areal og volum, kan lufttemperaturen også gi en horisontal temperaturgradient [4]. Det er derfor også sett teoretisk på de påvirkninger som dominerer strømningsbildet i store rom.

1.1 Formål og problemstilling

Formålet med masteroppgaven er å se hvilke inneklimateparametre som bør måles og hvor sensorene skal plasseres for å ivareta god luftkvalitet og termisk komfort ved behovsstyrt ventilasjon. Oppgaven er utarbeidet og gitt i samarbeid mellom NTNU og Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT). Følgende problemstillinger er utformet som en del av det oppgaven skal svare på:

Underbygd av litteraturstudie og feltmålinger, hvilke inneklimateparametre bør måles og hvor bør sensorene plasseres for optimal behovsstyring av ventilasjon i en flerbrukshall?

For å enklere kunne besvare problemstillingen, er det også utarbeidet noen underpunkter som retter seg spesifikt mot viktige områder tilknyttet oppgaven.

- Gjennom litteraturstudie undersøke hvilke påvirkninger som vil ha betydning for strømningsbildet og luftfordelingen i rom med store volum, da med fokus på flerbrukshaller.
- Vil det være nødvendig å benytte ulike strategier for måling og sensorplassering ved forskjellige strømningsbilder og ventilasjonsprinsipp?
- Hvilke måleparametre kan benyttes opp mot behovsstyrt ventilasjon, og hvilke av disse vil gjengi endringer i personbelastning og aktivitet best?

Oppgaven er en videreføring av forfatterens prosjektoppgave.

1.1.1 Omfang og avgrensninger

I denne oppgaven vil det sees nærmere på idrettsbygg av typen flerbrukshall, og hvilke styringsparametre som vil gi et godt styringssignal for bruk opp mot behovsstyrt ventila-

sjon. Det vil ikke bli sett på svømmehaller og ishaller, da disse vil ha andre betingelser for hvordan et optimalt innneklima skal være. Begrunnelsen for utvelgelse av hvilke flerbruks-haller det er sett nærmere på, er at alle er relativt nye og moderne med et styringssystem der behovsstyring blir benyttet. I samråd med SIAT er derfor Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen plukket ut. Felles for disse er at de også ligger nært innenfor et lite geografisk område sør i Trondheim.

Det vil ikke rettes fokus mot selve sensoren og elektronikken bak. Dette vil kreve en god del kompetanse på området, noe som forfatteren ikke innehar og har valgt å ikke inkludere i oppgaven. Her vil heller registrerte verdier fra følere og sensorer være det viktige. Gjennom teori og forsøk skal det kartlegges hvilke sensorer som best gjenspeiler belastningsendringer i flerbrukshallene. I og med at masteroppgaven er en fortsettelse på en tidligere prosjektoppgave ved samme forfatter, vil noe av arbeidet derfra inngå i masteroppgaven. Oppgaven er i hovedsak basert på en litteraturstudie, innhentet informasjon fra driftansvarlige ved de utvalgte flerbrukshallene og utført forsøk. Omstendighetene under alle forsøkene var ved normal drift uten påvirkning fra pågående forsøk.

1.1.2 Formål og disposisjon

Formålet med masteroppgaven er å forsøke å finne svar på de spørsmål som er utarbeidet i oppgaveteksten og problemstillingen. Dette gjøres først gjennom en litteraturstudie representert ved kapittel 2. Her blir ulike krav og ventilasjonsprinsipp med dets tilhørende luftstrømningsbilde lagt fram. I tillegg fremlegges det teori om de relevante styringsparametre og deres fordeler og ulemper. Videre følger kapittel 3 som presenterer Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen. Her blir hallenes utforming, ventilasjonssystem, og styring beskrevet. Så følger kapittel 4 som tar for seg de metoder som er brukt i denne masteroppgaven. Her nevnes søkemotorene benyttet i litteraturstudiet og selve utførelsen av forsøkene. Videre følger de resultater som fremkommer fra gjennomførte forsøk i kapittel 5, før det til slutt i oppgaven legges fram en diskusjon av opparbeidet teori og resultater i kapittel 6.

2

Teori

Kommende kapittel er utarbeidet som et teoretisk grunnlag for det som gjøres senere i oppgaven. Det vil bære preg av et gjennomgående fokus knyttet opp mot flerbrukshaller. Underkapitlene vil omhandle krav til termisk og atmosfærisk innemiljø, ventilasjonsprinsipp og strømningsmønstre i store rom. Kapitlet avsluttes med de ulike parametrene som vil kunne benyttes opp mot behovsstyrt ventilasjon. En del av opparbeidet teori er videreført fra prosjektoppgaven.

2.1 Krav i standarder og forskrifter

2.1.1 Luftmengde

Formålet med å ventilere et rom er å fortynne eller trekke av forurenset luft. Denne forurensningen kan være varme, gasser, vanddamp eller partikler, og vil være avhengig av utforming og bruksområdet til rommet. Den nødvendige mengden tilført friskluft dimensjoneres normalt etter fastsatte krav. I TEK17 skilles det mellom summen av personbelastning og materialbelastning (a+b), og forurensinger fra aktiviteter og prosesser (c). Frisklufttilførselen fastsettes etter det leddet som gir den største verdien. For offentlige bygg er minimum frisklufttilførsel $26 \text{ m}^3/\text{h}$ per person og $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ per kvadratmeter gulvareal ved bruk. Frisklufttilførselen per person er gitt ved lett aktivitet. Det presiseres videre i TEK 17 at tilført luftmengde må tilpasses ved andre aktivitetsnivåer slik at luftkvaliteten blir tilfredsstillende.[2]

Det kan derfor måtte tas høyde for en større nødvendig luftmengde for aktive personer i en flerbrukshaller. Luftmengden kan beregnes etter ulike metoder, der en av måtene er å beregne personenes CO_2 produksjon ut i fra deres aktivitetsnivå. Aktivitetsnivået omtales ofte som metabolsk rate, og er et mål på energiomsetningen i kroppen per kvadratmeter

kroppsoverflate (W/m^2). 1 met er definert til å være $58 \text{ W}/\text{m}^2$ og tilsvarer en person som sitter i ro og er avslappet. Ved toppidrett kan man nå en metabolsk rate opp mot 15 met[5]. For et voksent menneske kan produksjonen av CO_2 bestemmes ut fra formel 2.1. Produksjonen vil anslagsmessig være 20% lavere for barn.[6]

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = 0,25 \cdot M \quad [\text{l}/\text{min}] \quad (2.1)$$

Her er da \dot{V}_{CO_2} produksjonen av CO_2 fra en person i liter per minutt og M er metabolismen. Videre kan det regnes ut nødvendig tilført friskluftsmengde, basert på CO_2 -konsentrasjoner, temperaturer og ventilasjonseffektivitet for aktuelt rom. Se formel 2.2.

$$\dot{V}_s = \dot{V}_{\text{CO}_2} \cdot \frac{T_s}{T_i} \cdot \frac{10^6}{(C_i - C_s) \cdot 60} \cdot \frac{1}{\varepsilon} \cdot 3,6 \quad [\text{m}^3/\text{h}] \quad (2.2)$$

Her er T_s og T_i henholdsvis temperaturen i tilluften og rommet, mens C_s og C_i er CO_2 -konsentrasjonen i ppm gitt for tilluften og rommet. Ventilasjonseffektiviteten er gitt ved ε . Det kommer fram av formell 2.2 at luftmengden øker lineært med aktivitetsnivået, gitt konstante forhold. For verdier av luftmengder i kommende tabell 2.1, er det forutsatt at C_s er 400 ppm og C_i er 1000 ppm. Temperaturene T_s og T_i er satt til samme verdi. Det er gått ut fra fullstendig omrøringsventilasjon, med en ventilasjonseffektivitet lik 1.

Aktivitetsnivå	Stoffskifte		Luftmengde
	Met	W/m^2	m^3/h
Stillesittende, avslappet	1	58	25
Moderat aktivitet	2	116	50
Middels høy aktivitet, maskinarbeid	3	170	75
Løpe (9km/t)	7,5	435	178,5
Håndball	10	580	250
Topp-idrett	15	870	375

Tabell 2.1: Metabolisme og luftmengder per person ved ulike aktivitetsnivåer.

Tabell 2.1 viser at verdiene for nødvendig luftmengde er relativt mye større for personer med høyt aktivitetsnivå, sammenlignet med minstekravene gitt i TEK17. Kirke og kulturdepartementet har utarbeidet en veileder som retter seg direkte mot flerbrukshaller. I den omtales alt fra planlegging og bygging til drift og vedlikehold. Der opereres det med en minimum frisklufttilførsel på $60 \text{ m}^3/\text{h}$ per aktive person, og for tilskuere er det anbefalt $20 \text{ m}^3/\text{h}$ per person [7]. I tillegg finnes Veiledning 444 utgitt av Arbeidstilsynet, som oppgir omtrent de samme krav for minimumsventilasjon som i TEK17. Forskjellen

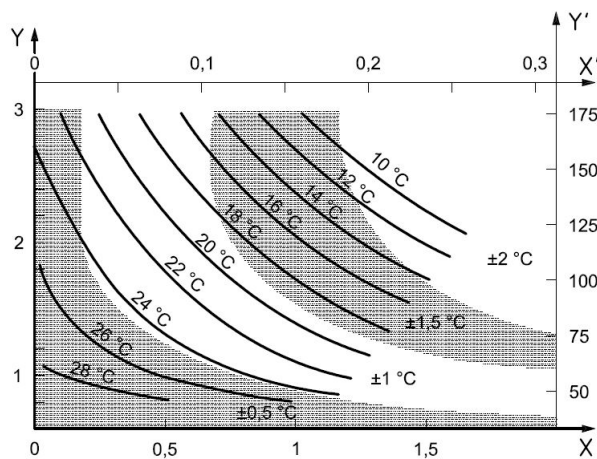
er ved udokumenterte bygningsmaterialer. Her legges det til grunn for en dimensjonert luftmengde mellom 5,0 - 7,2 m³/h per kvadratmeter [8]. Noen typer sportsgulv kan også avgi større mengder emisjonsgasser som fører til at grunnventilasjon må økes[1].

2.1.2 Temperatur og luftfuktighet

I standarder og forskrifter oppgis ønsket temperaturnivå etter operativ temperatur. Den kan bestemmes i et hvert punkt i rommet og er avhengig av lufttemperatur (t_a), gjennomsnittlig strålingstemperatur fra omgivelser (\bar{t}_r), og varmeoverføringskoeffisientene for konveksjon (h_c) og stråling (h_r). Operativ temperatur kan beregnes ved formel 2.3. [9]

$$t_{operativ} = \frac{h_c \cdot t_a + \bar{h}_r \cdot \bar{t}_r}{h_c + h_r} \quad (2.3)$$

Operativ temperatur i en flerbrukshall vil normalt ligge lavere enn for offentlige kontorbygg. I Veilederen utgitt av Kirke- og kulturdepartementet blir normal driftstemperatur anbefalt til å ligge mellom 16-18 °C, men at det ved dimensjonerende forhold skal kunne holdes en innetemperatur opp mot 22°C. Dette er med hensyn til universell utforming, og at flerbrukshallen skal kunne benyttes av alle.[7]



Figur 2.1: Optimal operativ temperatur som en funksjon av aktivitetsnivå (Y) og bekledning (X). Figuren viser kategori A, der PPD < 6 %. Hentet fra NS-EN-ISO-7730 [10]

Utfordringen tilknyttet optimalt temperaturnivå i en flerbrukshall er at brukerne gjerne har ulike aktivitetsnivåer. De som trener på hallflaten vil ha en annen optimal operativ temperatur enn tilskuerene. Det må derfor tilstrebes å tilrettelegge for de ulike brukernes

ønsker. Figur 2.1 viser sammenhengen mellom aktivitetsnivå og bekledding hentet fra NS 7730 [10]. For en utøver med 3 i met og 0,5 clo vil optimal temperatur ligge rundt ca 18 °C. Sees det derimot på en tilskuer med 1,1 i met og 1,25 clo, vil optimal operativ temperatur være 22 °C. Denne forskjellen gjør så det må reguleres på bekostning av gruppenes ønsker og premisser.

Luftfuktighet er en parameter det ikke stilles distinkte krav til [8]. Ved sittende aktiviteter i normalt inneklime vil fuktighet ha en mindre betydning for opplevd varme og luftkvalitet [11]. Likevel er dette en klimaparameter som burde holdes innenfor sine anbefalte verdier. Dette gjelder særlig de øvre grensene på vinterstid. For høy luftfuktighet vil kunne gi kondens og fuktskader ved utettheter og kalde flater på bygningskroppen. Veiledning 444 oppgir verdier på 35-40 % relativ fuktighet som øvre grense vinterstid [8]. Befukting eller avfukting i ventilasjonsaggregat er prosesser som normalt ikke installeres i bygg med standard inneklime.

2.1.3 PMV og PPD

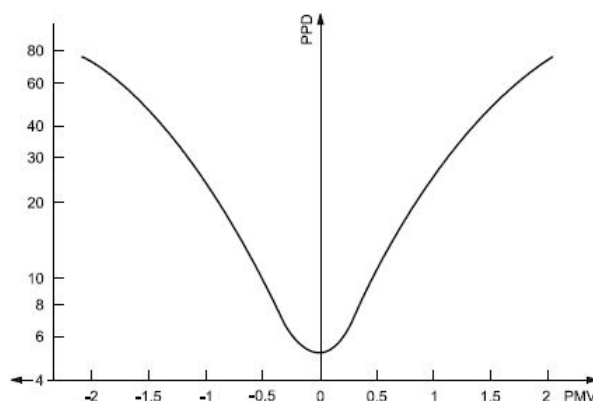
Det er mulig å forutsi hvordan det termiske miljøet vil oppfattes. Dette kan gjøres gjennom en PMV-PPD-indeks. PMV (predicted mean vote) er en sju-trinns skala fra +3 til -3 som benyttes for å uttrykke følt varmebalanse til et menneske. Null er nøytral, og pluss og minus viser henholdsvis til for varmt og for kaldt. For å fastlegge riktig PMV-verdi, regnes gjennomsnittet fra en større gruppe mennesker påvirket av de samme omgivelsene. Alle seks parametrene for termisk komfort er representert i uttrykket for PMV. Disse er aktivitet, bekledding, lufttemperatur, gjennomsnittlig strålingstemperatur, lufthastighet og fuktighet.[10]

PPD (predicted percentage dissatisfied) er mål på hvor stor prosentandel som vil være misfornøyde ved et gitt termiske innemiljø. PPD henger sammen med beregnet PMV-verdi og kan bestemmes ved formel 2.4.

$$PPD = 100 - 95 \cdot \exp(-0,03353 \cdot PMV^4 - 0,2179 \cdot PMV^2) \quad (2.4)$$

For optimal dimensjonering av termisk innemiljø, vil det også være nødvendig å ta hensyn til trekk, vertikal temperaturgradient og gulvvarme. Dette er faktorer som kan skape ubehag, uten at disse er tatt direkte høyde for i PMV-PPD-indeksen. Kommende figur

2.2 viser sammenhengen mellom PMV og PPD.



Figur 2.2: Sammenheng mellom PMV og PPD. PPD er i %. Hentet fra NS-EN ISO 7730 [10]

2.2 Ventilasjonsstrategier

Store rom kan ventileres med forskjellige ventilasjonsprinsipp. Hvilken strategi som benyttes vil være avhengig av ulike forhold som rommets høyde, form, lufttemperatur, plassering av varme- og kjølelementer samt skapte luftstrømmer i rommet som skyldes andre interne og eksterne kilder. Siste punkt kan omfatte plassering av tilluft- og avtrekksventiler eller veggens u-verdier. Hovedprinsippene som oftest benyttes er omrøringsventilasjon eller fortreningsventilasjon. De har sine fordeler og ulemper, men begge blir brukt i sammenheng med ventilerings av store rom. I tillegg har man stempelventilasjon, men dette prinsippet krever spesielle forhold og store luftmengder for å fungere optimalt. Dette benyttes gjerne i renrom og operasjonsrom [12]. Sensorplassering og styring må tilpasses etter den ventilasjonstrategien som velges.[13]

2.2.1 Omrøringsventilasjon

Omrøringsventilasjon, også kjent som fortynningsventilasjon, har som hensikt å blande frisk luft med luft som allerede er i rommet. Dette gjøres ved at friskluften tilføres med en høy hastighet gjennom tilluftsventiler og skaper nødvendig omrøring. Ved økt tilførsel av friskluft vil konsentrasjonen av forurensninger i rommet reduseres, gitt at forurensningskildene er konstant. Nødvendig luftmengde vil kunne styres av konsentrasjonen i rommet. For å unngå trekk i oppholdssonen er korrekt kastelengden på tilluft viktig. Kasteleng-

den er definert som største avstand fra sentrum av tilluftsventil til isovelen. Isovelen er det punktet der hvor lufthastigheten er redusert til en gitt grenseverdi. Produsenter av diffusorer benytter ofte 0,2m/s ($L_{0,2}$) som verdi for sine produkter.

Fordelene med omrøringsventilasjon er at det kan benyttes til både oppvarming og kjøling. Ulempen er at effekten for kjølebehovet vil være noe større sammenlignet med fortrenningsventilasjon. Ved fullstendig omrøring vil det teoretisk være samme luftkvalitet og temperatur i hele rommet, men ventilasjonseffektiviteten ligger typisk mellom 0,7 og 1 for omrøringsventilasjon. Ved kortslutning vil det inntreffe en betydelig reduksjon i ventilasjonseffektivitet. Kortslutning innebærer at tilluften går direkte til avtrekket uten å blande seg tilstrekkelig med romluften. Dette resulterer i at nødvendig luftmengde må økes for å kunne opprettholde ønsket luftkvalitet i oppholdssonen. Ventilasjonseffektiviteten kan beregnes ved formel 2.5.[13]

$$\varepsilon = \frac{C_a - C_t}{\bar{C}_i - C_t} \quad [-] \quad (2.5)$$

Her er C_a , C_t og C_i forurensningskonsentrasjonen i avtrekksluften, tilluften og gjennomsnittet av luften i oppholdssonen. For å finne disse verdiene kan det utføres målinger under stasjonære forhold. Resultatet vil gi en klar indikasjon på hvor godt ventilasjonssystemet fungerer.[13]

2.2.2 Fortrenningsventilasjon

Ved fortrenningsventilasjon tilføres luften ofte ved gulv og trekkes av ved tak. Tilførselen er med en lavere temperatur enn romtemperaturen. Hensikten med dette er at friskluften skal fordele seg jevnt langs gulvet i hele oppholdssonen. Drivkraften bak denne ventilasjonsmetoden er at varme forurensningskilder vil skape oppdrift som følge av temperatur- og tetthetsforskjeller. Forurensningene og overskuddsvarmen vil derfor stige opp i konveksjonsstrømmer. Dette resulterer i sjiktdannelse i rommet. Langs gulv og i oppholdssonen vil luftkvaliteten være god, mens langs tak og ved avtrekk vil konsentrasjonen av forurensninger være høyere. Som et resultat av denne sjiktdannelsen, kan man oppnå en ventilasjonseffektivitet på over 1. Dette kan sees fra formel 2.5. Fortrenningsventilasjon er egnet i rom med stor takhøyde der forurensningskildene lager sterke nok konveksjonsstrømmer. Effekten av å tilføre kald luft vil gi rommet en vertikal temperaturgradient. Det er anbefalt at denne holdes under 3 °C/m for å unngå ubehag [14].[15]

Fortrengningsventilasjon vil være avhengig av at det trengs kjøling i rommet. De siste årene har de byggtekniske kravene blitt strengere. Dette har ført til en kortere periode med oppvarmingsbehov i nye bygg, og derav økt kjølebehov. En utfordring tilknyttet lufttilførselen vil være å ikke skape trekkfølelse for personer i rommet. Kombinasjonen med lav temperatur og for høy lufthastighet vil kunne gi følelsen av trekk. En studie utført av Peter V. Nielsen så på faktorer som var av betydning for hastigheten av tilført luft gjennom veggmonterte tilluftsventiler. Han fremhever i sin konklusjon at temperaturdifferansen mellom romluft og tilført luft har en betydelig påvirkning på lufthastigheten idet luften kommer inn i rommet.[14]

2.3 Strømning i store rom

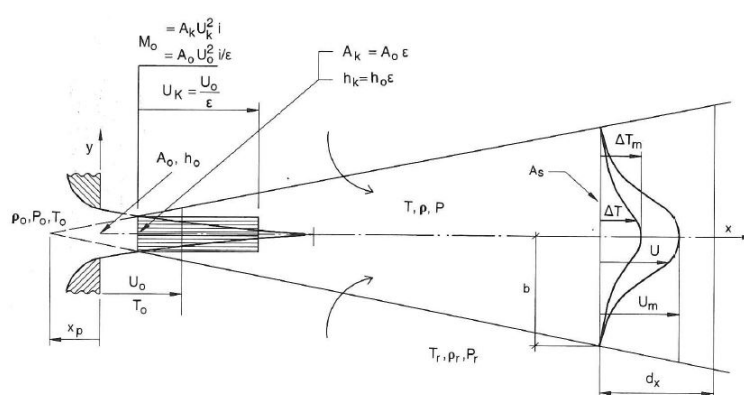
Strømningsmønsteret i store rom vil som nevnt tidligere være avhengig av flere faktorer. Dette gjør det totale strømningsbildet komplekst, og derav vanskelig å forutse uten hjelp av forsøk eller avanserte CFD-analyser. Konveksjonsstrømmer og termisk lagdeling regnes som dominerende påvirkninger for strømningsbildet i selve rommet [16]. Påvirkningene som skaper luftstrømmer er trykkforskjeller forårsaket av ventilasjonen eller tetthetsforskjeller grunnet ulike temperaturnivåer. I tillegg har vi rommets utforming, objekter og personer som også vil ha betydning for strømningsbildet.[15]

En studie utført av W.K. Chow m. flere viser til at antall luftutskiftninger i store rom ikke nødvendigvis gir et godt forholdstall for å si noe om luftkvaliteten i oppholdssonen. Påvirkningene på strømningsbildet vil kunne skape ufullstendig omrøring eller områder hvor luften ikke byttes ut. Det at ventilasjonsmengden øker, behøver ikke nødvendigvis bety at luftkvaliteten i oppholdssonen endrer seg. W.K Chow skriver videre at en gjennomsnittlig lufthastighet i oppholdssonen vil kunne være en god pekepinn som lokal ventilasjonsparameter. Skapes det bevegelse i luften i oppholdssonen kan dette også tyde på utskiftning av luften. Derfor vil luftfordelingen påvirke luftkvaliteten og de termiske forholdene i ulike deler av rommet.[17]

2.3.1 Tillufts- og avtrekksventiler

Plassering av tillufts- og avtrekksventiler vil ofte ha stor påvirkning på luftfordelingen, samt hvilke typer ventiler som benyttes. Dette vil være avhengig av tiltenkt ventilasjons-

prinsipp. Luft tilført med høy hastighet kommer normalt ned fra tak eller opp langs vegg for å unngå trekk. Dyseformede tilluftsventiler er mye brukt i bygg med stort romvolum der hastigheten ønskes høy. Det er det dynamiske trykket fra luftstrømmen som skaper bevegelsen i lufta. Ventilertiltenkt lavere hastigheter kan plasseres nærmere oppholds-sonen, og disse har ikke som mål å skape omrøring. Denne typen tilluftsventiler sender luften ut gjennom store areal slik at hastigheten holdes nede selv for store luftmengder. Den geometriske formen til lufttilførselen vil altså påvirke strømningsbildet. For en fri horisontal sirkulær jetstrøm ved isoterme forhold vil figur 2.3 nedenfor vise strømningsbildet til luftstrømmen [18]. Hastigheten vil avta ved økt avstand fra ventil.[19]



Figur 2.3: Strømning fra fri sirkulær innblåsning ved isoterme forhold. Hentet fra Skaaret.[18]

Avtrekkventilene derimot skaper kun små hastighetsprofiler i rommet. Ved en gitt avstand ut i rommet vil disse hastighetene kunne neglisjeres. Dette grunnet at avtrekksluften kommer fra et stort areal inn i et mye lite areal. Hastigheten skapt fra et sirkulært avtrekk kan vises i formel 2.6. Her er v_x lufthastigheten i en avstand x foran luftinntaket. Videre er q_{VE} avtrekk luftmengde og A_E arealet for det sirkulære avtrekket. Av formel kommer det fram at når x blir stor, vil hastigheten gå mot null.[19]

$$v_x = \frac{q_{VE}}{A_E + 4 \cdot \pi \cdot x^2} \quad (2.6)$$

Likvel vil plasseringen av avtrekkventilene påvirke det totale strømningsbilde. Avtrekkpunktet vil skape et statisk undertrykk som vil trekke luften i rommet mot avtrekkets plassering. For bygg med balansert ventilasjon benyttes dette som en del av luftfordelingsstrategien. Trykkforskjellene som skapes vil påvirke luftgjennomstrømningen i rommet, og ved feil plassering kan det oppstå kortslutning og derav lav ventilasjonseffektivitet.[15]

2.3.2 Ikke-isoterme luftstrømmer

Temperaturforskjeller mellom tilført luft og romluften vil påvirke strømmingen. Dette skyldes oppdriftkrefter som kommer av tetthetsforskjellen på de to luftmassene. Påvirkningen vil være avhengig av forholdet mellom treghetskreftene og oppdriften. Dette kan uttrykkes gjennom Arkimedes tall, og er uttrykt ved formel 2.7 [18].

$$A_r = \frac{g \cdot l \cdot \beta \cdot |\Delta T|}{U_0^2} \quad (2.7)$$

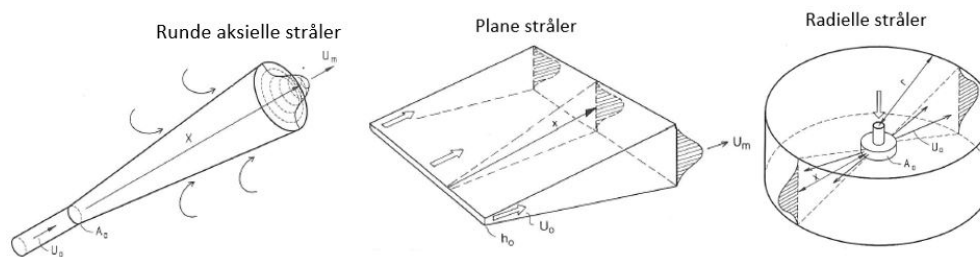
g er tyngdens akselerasjon og l er karakteristisk lengde for strømmingen, som settes til $\sqrt{A_0}$ for sirkulære åpninger og h_0 for spalter. U^2 er hastigheten på luften og ΔT er differansen mellom temperaturen på luftstrømmen og rommet. Verdien på Arkimedes tall sier hvor stor innvirkning oppdriftkreftene har på luftstrømmen. Ser man på luftstråler som blir påvirket av oppdriftkrefter, kan formel 2.8 benyttes [18].

$$Ar_x = Ar_0 \cdot \frac{C_b(x + x_p)}{l_0} \cdot \sqrt{\frac{\rho_r \epsilon^3 I_4^3}{\rho_0 i^3 I_3^2}} \cdot \sqrt{\frac{A_s}{A_0}} \quad (2.8)$$

Her er C_b strålens utbredelsesfaktor, l_0 er karakteristisk vidde ved tilførselsåpning, I er dimensjonsløse profilintegraler som er konstante verdier utregnet for den gitte typen strømming. Til slutt har vi ϵ som er kontraksjonsfaktoren til strålen, A_s som er strålens tverrsnitt og Ar_0 som er Arkimedestallet for luften ved tilluftsåpningen. Når luftstrålen beveger seg ut i rommet, vil hastigheten avta og temperaturen i strålen endre seg mot romtemperaturen. For frie stråler vil Arkimedestallet likevel øke mer enn lineært med avstanden. Dette resulterer i at oppdriftkreftene øker og treghetskreftene reduseres utover i strålen. Selv ved små endringer fra isoterme forhold vil oppdriftkreftene ha stor påvirkning på luftstrømmingen utover i rommet. Derfor holder det ikke bare å se på hastigheter på tilført luft, men må også ta hensyn til de oppdriftkrefter som vil påvirke luftstrømmene. [18]

Formelen for Arkimedestallet regnes noe ulikt fra forskjellige typer frie luftstråler. De mest vanlige luftstrålene å betrakte er aksielle, plane todimensjonale og radielle stråler. Disse gjenspeiler luftstrømmen som tilføres gjennom de mest anvendte ventilasjonsventilene. Figur 2.4 viser strømningsbilde for de vanligste luftstrålene [18].

Enklere forklart kan det sies at dyser som tilfører luften horisontalt og med undertem-



Figur 2.4: De tre vanligste typene luftstråler. Figurer hentet fra Skaaret.[18]

peratur få kortere kastelengde enn luft med overtemperatur. Undertemperert luft vil få luftstrømmen til å bryte av og gå ned i oppholdssonen. Kastelengde reduseres ca 1,5% per grad celsius undertemperatur. Eksakte verdier kan finnes i dokumentasjon fra den enkelte leverandør.[13]

2.3.3 Bevegelser i rommet

Bevegelser i rommet vil skape turbulens i luften og kan forårsake omrøring av luften. Disse påvirkningene vil variere med hastigheten og flaten til legemet som er i bevegelse. I en flerbrukshall vil disse luftstrømmene hovedsakelig komme fra personer som er i aktivitet. Luftmotstanden skapt av en person i bevegelse kan uttrykkes ved formel 2.9.[15]

$$F_D = C_D \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho u^2 A \quad [N] \quad (2.9)$$

Her er F_D luftmotstanden generert av en person, A er arealet av personen, u er hastigheten, mens C_D er en luftmotstandskoeffisient. C_D kan settes lik 2,0 for en voksen person, som tilsvarer en flat plate. I en studie utført av Mattson og Sandberg ble det gjort tester på hva det hadde å si for luftkvaliteten i oppholdssonen at en dukke beveget seg i et rom ved ulike hastigheter. Ventilasjonssystemet som ble benyttet var naturligvis fortrenningsventilasjon. Generert varme og tilført luftmengde ble holdt konstant under hele forsøket. Resultatet viste at konsentrasjonen i oppholdssonen økte i takt med hastigheten på dukken. Konsentrasjonen ble i deres studie definert som forholdet mellom konsentrasjonen i oppholdssonen og friskluften. Resultatet tilsa at forurenset luft som egentlig lå over oppholdssonen, ble virvlet inn i friskluften ved økt hastighet. Dette resulterte i omrøring og derav dårligere ventilasjonseffektivitet ved fortrenningsventilasjon.[15]

Det samme resultatet ble oppdaget i en annen studie utført av S. Mazumdar m.flere. De gjennomførte en CFD-analyse der en gjenstand tilsvarende en person beveget seg

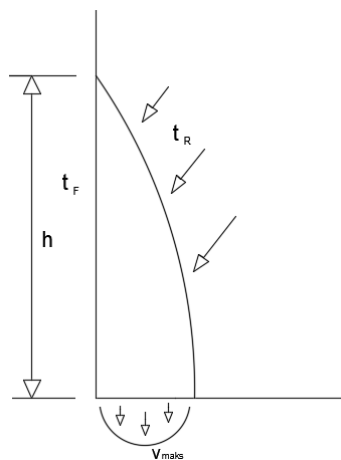
gjennom et rom, her også ved fortrengningsventilasjon. Denne modellen ble brukt til å se strømningsbildet som oppstod ved bevegelse. Forsøket ble ikke utført ved ulike hastigheter, men analysene viste at bevegelsen skapte omrøring av luften. S. Mazumdar konkluderte med at objekter i bevegelse kan ta med seg forurensninger i lutstrømmingene som virvles opp bak objektet.[20]

2.3.4 Interne kilder

I bygg hvor det er stor takhøyde kan vertikale flater med ulik temperatur fra romluften skape oppadgående eller nedadgående luftstrømmer. Med hensyn på trekkproblematikk vil dette hovedsakelig gjelde ved kalde flater. Eksempler på dette er kaldras ved store vindusflater eller glassfasader der u-verdien typisk er lavere enn resterende bygg. Vertikal lufthastighet ved kaldras kan forenklet beregnes ut fra formel 2.10.

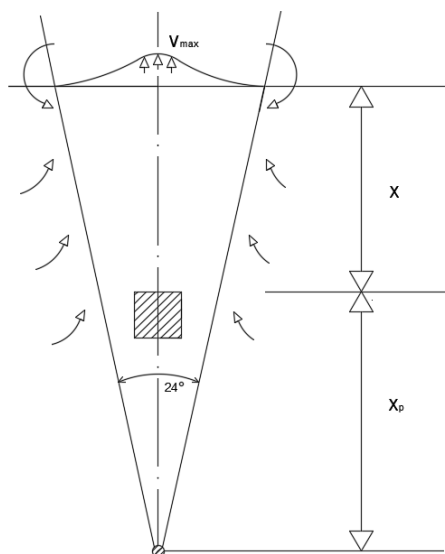
$$v_{maks} = 1,7 \cdot \left(\frac{\Delta T}{T_R} \cdot h \right)^{0,5} \quad [m/s] \quad (2.10)$$

Her er h vertikal høyde i meter, og ΔT er temperaturforskjell mellom overflate vegg T_F og romluften T_R . Figur 2.5 viser strømmingen og hastighetsprofilen til et kaldras. Ved eldre flerbrukshaller med dårlig isolering vil disse luftstrømmene kunne oppstå, i tillegg til at luft med dårligere kvalitet vil kunne trekkes ned i oppholdssonen. Et mulig tiltak for å redusere denne problematikken er å installere en varmekilde nede ved vegg eller tilføre varm luft opp langs flaten.



Figur 2.5: Kaldras grunnet temperaturforskjeller mellom overflate vegg og romluft. Figur tegnet i autocad.

En annen intern kilde som vil påvirke luftstrømningene er konveksjonsstrømmer fra varmekilder. I en flerbrukshall vil dette typisk komme fra mennesker eller lysarmatur som produserer mye varme. I situasjoner med mange tilskuere vil total avgitt effekt kunne være stor, og derav også konveksjonsstrømmene som skapes. Ved noe forenkling kan varmekilden ses på som et punkt, der startpunktet er teoretisk plassert under selve varmekilden. Det må også være gitt at varmekilden står i et rom uten temperaturgradient. Figur 2.6 viser luftstrømmen som skapes rundt en varmekilde.



Figur 2.6: Konveksjonsstrøm fra en varmekilde representert ved et punkt. Tegnet i autocad.

Luftmengde av konveksjonsstrømmen gis da ved formel 2.11. Her er q_x luftmengde, P_k er varmeeffekt i watt, x og x_p er høyde over varmekilde og høyde mellom varmekilde og kildens pol. [13]

$$q_x = 0,0055 \cdot P_k^{\frac{1}{3}} \cdot (x + x_p)^{\frac{5}{3}} \cdot 3600 \quad [m^3/h] \quad (2.11)$$

Andre interne kilder som ikke har blitt nevnt kan være forstyrrelser fra gjenstander som ødelegger tiltenkt luftstrømning. I flerbrukshaller vil dette særlig gjelde om hallen har regulerbare skillevegger som kan dele hallflatene inn i flere deler. Dette vil gi andre forutsetninger for luftfordelingen, og bør tas hensyn til ved prosjektering. Det anbefales i Veileder fra Kulturdepartementet at hver del må kunne styres individuelt, både for tilluft og avtrekk.[21]

2.4 Styringsparametre for ventilasjon

For styring og regulering av nødvendig luftmengde vil det for rom med store luftmengder være energisparende å benytte brukerstyrt eller behovstyrt ventilasjon. Brukerstyrt kan være programmerte tidsinnstillinger for når aggregatet skal gå, eller bevegelsessensorer som registrerer tilstedeværelse. Det som er felles for disse er at de ikke kan reguleres etter personbelastningen. Behovsstyring derimot tar hensyn til de faktiske forhold som hele tiden opptrer i rommet. De vanligste måleparametrene som benyttes er temperatur, fuktighet og CO₂. I tillegg kan man måle antall partikler i luften eller benytte VOC (volatile organic compounds) som er en samlebetegnelse for ulike gasser i luften. For rom med store variasjoner i personbelastning vil det være fordelaktig å benytte sensorer som er tilrettelagt for behovsstyring.[22]

2.4.1 Temperatur

Temperatur er en paratmeter som ofte benyttes ved behovsstyring. Denne parameteren gir et godt bilde på de termiske forholdene. Et dokument publisert av SINTEF som omhandler behovsstyrt ventilasjon, viser til at de anbefaler temperatursensorer i rom med store endringer i personbelastning [3]. Temperatur henger tett sammen med oppfattet luftkvalitet, selv om parameteren ikke gir et direkte mål på dette. Temperatursensorer er ofte enkle og billige å produsere i forhold til andre typer, og er derfor ønskelig å bruke sett med et økonomisk perspektiv.[22]

Ved temperaturstyring for kontorbygg vil det være normalt å kjøre maksimal luftmengde når føleren registrerer en tempertur over 24 °C [22]. Denne verdien vil som nevnt tidligere ligge lavere for en flerbrukshall, da operativ temperatur bør holdes rundt 18-22 grader [7]. Reguleringen vil likevel variere fra bygg til bygg. Temperaturnivået i hallen vil ha påvirkning fra både interne og eksterne varmetilskudd. Ved stor personbelastning vil dette varmetilskuddet kunne være det dominerende. Ønsket reguleringsområde er oppgitt til å ligge mellom 15-21 °C i Veileder fra Kulturdepartementet [21].

2.4.2 CO₂

CO₂-konsentrasjonen kan brukes som en indikator på nødvendig frisklufttilførsel. CO₂-nivået i seg selv bidrar ikke til et dårlig inneklima, men økningen er korrelerende med

tilskuddet av vanndamp, flyktige organiske forbindelser og ulike forurensningsstoffer produsert av mennesker. Denne parameteren er særlig godt egnet i rom hvor det er varierende personbelastning, slik som i klasserom og idrettshaller. Systemet kan styres etter konstante CO₂-nivåer innendørs, eller etter målt differanse mellom konsentrasjonene inne og ute. Konstante CO₂-nivåer vil gi varierende luftmengder ved sommer- og vinterforhold, da utekonsentrasjonen er høyere vinterstid. Typisk mellom 25-30 ppm i økning [23].[3]

I NS 15251 påpekes det at svingninger i CO₂-konsentrasjonen ute, ikke vil påvirke innemiljøet. Derfor anbefales det differansestyring som løsning, med en ekstra CO₂-sensor plassert ved luftinntaket. De ulike kategoriene oppgis derfor i økt CO₂-konsentrasjon i forhold til konsentrasjonen utendørs. Tabell 2.2 viser anbefalte verdier hentet fra NS 15251.[11]

Kategori	Konsentrasjonsdifferanse
	[PPM]
I	350
II	500
III	800
IV	<800

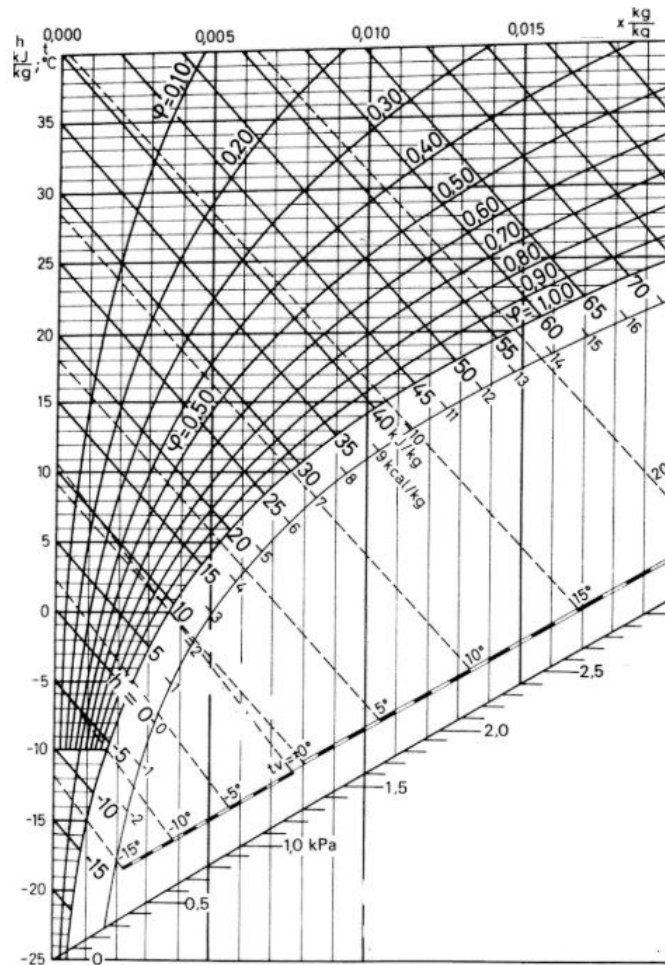
Tabell 2.2: Anbefalte CO₂-konsentrasjoner mellom inne- og uteluft.[11]

Grunnventilasjonen skal alltid være oppfylt, selv med laveste nivå av målt CO₂. Ved gradvis økning i konsentrasjonen vil luftmengden øke tilsvarende etter programert reguleringskurve. Når øvre CO₂ grense nås, skal systemet levere maksimal dimensjonerende luftmengde.

2.4.3 Relativ luftfuktighet

Relativ luftfuktighet er annen parameter som kan benyttes ved behovsstyrt regulering. Dette er et mål på mengden vanndamp som er i luften, i forhold til maksimal mengde vanndamp luften kan holde på ved samme temperatur. Relativ fuktighet ligger derfor mellom 0-1 og oppgis normalt i prosent. En bacheloroppgave som studerte inneklimaparametrene i et spinningrom, fant at relativ luftfuktighet og temperatur sammen var en bedre indikator enn CO₂ til å bestemme nødvendig luftmengde [24]. Også i andre særegne rom som for eksempel museer og produksjonshaller blir det ansett som hensiktsmessig å benytte sensorer som registrerer fuktigheten. Dette grunnet at luftfuktigheten bør være innenfor spesifikke verdier [13]. Konsekvensen ved tørr luft er at det kan irritere øyne og

øvre luftveier, samt gi tørr hud. Ved høy fuktighet derimot kan det oppstå kondensasjon, fuktskader og økt bakteriell vekst [25]. Innenfor de normale verdier behøver det ikke å være noen sammenheng mellom luftfuktighet og luftkvalitet. Typiske verdier for uteluft vil ligge mellom 20-60% i relativ fuktighet og avhenge av årstid [8]. På kalde dager gjerne enda høyere. Kommende figur 2.7 viser Mollierdiagrammet og koplingen mellom relativ fuktighet, temperatur og absolutt fukt. [26].



Figur 2.7: Mollierdiagram

I flerbrukshaller er det hovedsakelig personbelastningen som genererer et fukttilskudd. Dette fukttilskuddet vil variere med temperatur og aktivitetsnivå. Et mennesket kan produsere opp mot en liter svette hver time under høy aktivitet [19]. Ved økning i relativ fuktighet vil også mengden fordampning i rommet avta. Dette skyldes at luften har vanskeligere med å ta opp fuktighet når den nærmer seg mettet tilstand. Dette vil igjen føre til at følt kjøleeffekt for personene i hallen blir redusert. For å senke fuktigheten i luften kan det derfor ventileres tilstrekkelig. Som et resultat av at flerbrukshaller har store volum,

vil det være treghet i systemet ved endring av fukttilskudd. Fuktig luft er lettere enn tørr luft, og derfor vil det ofte være en større fuktmengde ved taket.

2.4.4 Partikler

Partikler, også omtalt som svestøv, stammer fra kilder som både kan befinne seg inne i bygget og utendørs. Innendørs partikkelproduksjon vil komme fra matlaging, levende lys og peis. I en flerbrukshall er dette kilder som ikke eksisterer ved normal drift. Det opplyses i en rapport fra Folkehelseinstituttet at utendørs svevestøv vil være den dominerende faktoren for mengden svevestøv som måles innendørs [27]. Det samme ble funnet i en studie utført av Harrison m.flere. De skriver i tillegg at generell aktivitet har liten betydning for partikkelkonsentrasjonen generert innendørs [28].

Behovsstyring i rom hvor det ikke er store produksjonskilder av partikler vil derfor være lite hensiktsmessig. Normalt deles partikkelstørrelsene opp i grupper etter aerodynamisk diameter. Mennesket kan inhalere partikler som er mindre enn $10 \mu\text{m}$. Derfor er innendørs målinger vektlagt partikler som er gruppert etter PM_{10} $\text{PM}_{2.5}$ og $\text{PM}_{0.1}$.

Det vises til forskjellige verdier for maksimale partikkelkonsentrasjoner avhengig av publikasjonskilde. Men de fleste anbefalingene bygger på konsentrasjoner som finnes i uteluft. I kommende tabell 2.3 er øvre verdier for partikkelkonsentrasjonen ved døgnmiddel og årsmiddel listet opp [27][29][2].

	$\text{PM}_{2.5}$	PM_{10}
Folkehelseinstituttet (døgnmiddel)	15	30
Folkehelseinstituttet (årsmiddel)	8	20
WHO (døgnmiddel)	25	50
WHO (årsmiddel)	10	20
TEK 17	-	< 50, (7 døgn per år)

Tabell 2.3: Maksimale verdier for partikkelkonsentrasjon, oppgitt i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.4.5 VOC

VOC (Volatile organic compounds) kategoriseres som en gruppe med organiske forbindelser som alle har lavt kokepunkt. Som et resultat av dette går stoffene lett over i gassform og vil kunne finnes i luften [30]. Ved måling av VOC-gasser vil de faktiske forhold for luftkvaliteten kunne gjengis. Studier utført av Michael Philips m.flere viser til at alle

mennesker puster ut flere hundre av de samme typene VOC-gasser[31]. Dette gjør valget mellom hvilke VOC-gasser man skal måle etter blir stort.

I dag er VOC-sensorer dyre og mindre utprøvd i sammenligning med CO₂-sensorer. Det er også mangel på standarder som oppgir grenseverdier for de ulike stoffer. Fordelen med VOC-sensorer er at de ikke er avhengig av CO₂ produserende kilder for å kunne si noe om luftkvaliteten. Dette gjør at de kan benyttes for å fange opp lukter og gasser som produseres fra andre type kilder. Potensialet for behovsstyrt ventilasjon med VOC-sensorer er tilstede. Levert luftmengde kunne i perioder kanskje vært redusert til under dagens minimumskrav og fremdeles opprettholdt god luftkvalitet. Men slik det er i dag så følger dimensjoneringen de luftmengder som er bestemt i standardene. Dermed forsvinner noe av potensialet for ytteligere reduksjon av luftmengder i systemer med behovsstyrt ventilasjon etter VOC-sensorer.[32]

En masteroppgave som så på dimensjonering av ventilasjonssystemer i idrettshaller, viser til at verdier av totalt VOC-nivå fra emisjoner fra gulvet målt i luften, vil være lavere i flerbrukshaller enn i kontorbygg. Dette skyldes forholdet mellom gulvareal og rommets volum. De konkluderte med at emisjoner tilknyttet materialbelastningen i en flerbrukshall vil tilsvare mengden det i dag dimensjoneres etter i standard og forskrifter [33]. Normalt blir verdier for målt VOC omregnet til sannsynlige CO₂ konsentrasjonsnivåer. En ulempe er at det er vanskelig å kontrollere og kalibrere slike typer følere [22].

2.4.6 Sammenligning av sensortyper

Måleparameter	Sensor	Fordeler	Ulemper
Tidsinnstilt (Brukerstyring)	Ingen, men styring ved SD-anlegg	•Lav kostnad	•Ikke regulerbart etter de faktiske forhold i rommet
Tilstedeværelse (Brukerstyring)	Bevegelses-sensor	•Rimelig •Lang levetid	•Begrenset regulerbart mot faktiske forhold i rommet
CO ₂ (Behovsstyring)	CO ₂ -sensor	•Regulering etter personbelastning	•Kalibrering kan påfalle •Store kvalitetsforskjeller, og derav også prisforskjeller
Temperatur (Behovsstyring)	Temperatur-sensor	•Lav kostnad •Lang levetid	•Kun behovsregulering etter termiske forhold i rommet
VOC (Behovsstyring)	VOC-sensor	•Måler flere gasser •VOC blir omregnet til sannsynlig CO ₂ -nivå	•Lite brukt i Norge •Uklare krav til VOC, med hensyn til ventilasjonsstyring •Lite dokumentasjon på nøyaktighet ved omregning til CO ₂ -nivå

Figur 2.8: Måleparametre brukt for styring av ventilasjon. [3]

For å velge riktig parameter å regulere etter, er det nødvendig å vite hvilken som representerer personbelastningen best. Ventilasjonssystemet har mulighet til å regulere etter flere parametre, men om dette ikke er nødvendig vil det kunne generere en merkostnad. Velges det en mindre egnet styringsparameter vil ventilasjonssystemet kunne regulere feil. Dette kan resultere i dårlig luftkvalitet eller unødvendig energibruk i form av overventilering. Nedenfor i figur 2.8, er noen av de ulike parametrene sammenlignet. Det er her også inkludert parametre for brukerstyring. [22]

2.4.7 Plassering av sensorer

Uavhengig av sensortype er målet at disse representerer de faktiske forhold i rommet. Fokuset bør rettes mot selve oppholdssonen der hvor personer oppholder seg. Et viktig punkt er at plasseringen skal være slik at det unngås forstyrrelser på sensorene. Sollys, varmekilder, frisklufttilførsel og plassering nært mennesker vil kunne ødelegge for styringssignalet. For CO₂ og VOC-sensorer vil plassering nært søppelbøtter med matavfall være uheldig. Ved optimal luftfordeling med omrøringsventilasjon, skal forholdene teoretisk være de samme i hele rommet. Da kan sensorene plasseres ved eller i avtrekket, og fortsatt gi riktig styringssignal. Dette behøver likvel ikke være tilfellet. Benyttes fortrengningsventilasjon anbefales det for kontorbygg å plassere sensorene i oppholdssonen, tilsvarende 1-1,7 meter over gulvnivået [22]. For flerbrukshaller må det tas høyde for at det også kan være horisontal temperaturgradient i rommet.

Utfordringen med sensorplassering i flerbrukshaller er at oppholdssonen gjerne ligger et godt stykke unna nærmeste vegg. I tillegg så vil rommets form endres ettersom om skilleveggene er oppe eller nede. Dette gjør det vanskeligere å ha kontroll på de faktiske forholdene rundt om i hallen.

3

Flerbrukshaller

I dette kapitlet presenteres Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen som er de tre flerbrukshallene oppgaven har sett nærmere på. Det har blitt gjennomført befaringer, kartlegging og forsøk. Hallenes ventilasjonssystem med deres oppbygning, bruk og driftsstrategier vil bli lagt fram. Kapitlet vil også omfatte dagens styring og regulering av tilførte luftmengder i hallene.

3.1 Heimdalshallen

Heimdalshallen ligger sør i Trondheim og sto ferdig i 2014. Den inneholder blant annet en flerbrukshall som er på størrelse med en håndballbane og en mindre basishall som ligger vegg i vegg. Det er kun blitt rettet fokus på flerbrukshallen. Hallflaten er ca på 1125 m² i tillegg til et lite areal langs den ene langsiden som består av tribuneplass. Se figur 3.1. Hallen har mulighet til å deles inn i tre like store spilleflater ved å senke ned skillevegger. Selve flerbrukshallen er dimensjonert for ca 200 tilskuere under kamp. Det er Heimdal idrettsforening som eier og til daglig drifter hallen.



Figur 3.1: Oversiktsbilde av Heimdalshallen. Foto: M. Aasvestad.

Under normale driftturer er det hovedsakelig skolebarn som bruker hallen på dagtid, mens organisert trening av idrettslagene overtar på ettermiddag og kveld. I helgene foregår det oftest kamper eller cuper, men også andre arrangementer som dans og dyreutstillinger avholdes. Oppvarming av hallen skjer gjennom ventilasjonssystemet og strålingspanel montert i taket.

3.1.1 Ventilasjonssystemet

Det er et eget ventilasjonsaggregat av fabrikat Novema som leverer og trekker av luft i flerbrukshallen. Dette systemet er uavhengig av de andre sonene i bygget. Automatikken er integrert i aggregatet og luftmengden endres av viftene med turtallsregulering. Aggregatet er dimensjonert for å kunne levere en maksimal luftmengde på 15 000 m³/h. Varmegjenvinneren er av typen roterende, og hastigheten kan reguleres etter ønsket gjenvinningsgrad. Aggregatet har ikke mulighet for å kjøre på omluft.

Luftfordelingsprinsippet som er prosjektert i Heimdalshallen er omrøringsventilasjon, der luften tilføres gjennom 24 ventiler plassert i taket. Motorspjeld plassert ute i kanalnettet sørger for at luften blir distribuert likt i hallen. Det har fra tidligere røykforsøk utført av SIAT og studenter ved NTNU, blitt funnet at kastelengden ikke var tilstrekkelig. Testen viste at tilført luft ikke nådde ned til oppholdssonen og at friskluften dermed ble ved taket. [34] Avtrekket i hallen er plassert ved taket langs den ene kortsiden og består av et større avtrekkspunkt. Dette kan sees på oversiktsbildet av hallen på figur 3.1.

3.1.2 Regulering og sensorplassering

Reguleringen av luftmengden styres i dag hovedsakelig av tidsinnstilte planer som driftsansvarlig i Heimdalshallen styrer etter planlagt behov inne på SD-anlegget. Aggregatet leverer da på 50% eller maksimal dimensjonert luftmengde. I tillegg henger det en kombinert CO₂- og temperatursensor i 1,5 meters høyde på den ene kortsiden i flerbrukshallen. Denne overstyrer om behovet for tilført luft skulle være større enn hva den tidsinnstilte planen gir. Verste signal fra enten temperatur eller CO₂ blir da den styrende parameteren. Dette vil avhenge av hva som er satt som øvre nivåer for parametrene og kan endres på SD-anlegget.

3.2 Kolstad Arena

Kolstad Arena er en moderne flerbrukshall som ble ferdigstilt til skolestart 2018. Selve hallen er bygget under bakkenivå, så taket er en del av uteområdet utenfor. Den består av tre håndballbaner på samme plan, i tillegg til en mindre løpebane på en mesanin rundt spilleflaten. Til sammen utgjør dette et grunnflateareal på 3940 m². Selve hallflaten kan deles opp i ni mindre baner ved hjelp av justerbare skillevegger som kan rulles ned. Når det spilles toppkamper vil alle veggene heises opp og kampen spilles på tvers av hallen. Det kjøres også ut tribuner fra alle fire sidene, som til sammen har kapasitet på 2000 tilskuere. Ved normal drift på dagtid står tribunen sammenslått slik vist i figur 3.2. I tillegg er hallen normalt delt i tre håndballbaner.[35]



Figur 3.2: Kolstad Arena. Foto: Tore Sæther, NHF Region Nord.

Hallen er også tiltenkt brukt under ulike kulturelle begivenheter som konserter og messer. Totalt har Kolstad Arena en kapasitet på 4000 tilskuere ved konsertarrangementer. Dette er den maksimale personbelastningen hallen er dimensjonert for å tåle. I tillegg har hallen mulighet for å være eksamenslokaler. Oppvarming av hallen skjer via ventilasjonssystemet eller gjennom det vannbårne gulvvarmesystemet.

3.2.1 Ventilasjonssystemet

Også ventilasjonssystemet i Kolstad Arena styres som et eget system uten tilknytning til andre rom i bygget. Luftbehandlingen skjer gjennom seks identiske aggregater av typen IV Envistar, der alle har intern automatikk og undersentraler av typen Siemens Climatix

POL. Hvert enkelt ventilasjonsaggregat er dimensjonert for å kunne levere 19000 m³/h ved maksimalt pådrag, som til sammen tilsvarer en total luftmengde på 114 000 m³/h for hallen. Ved lavere luftmengder kjøres aggregatene to og to med alternerende drift. Minste luftmengde som kan bli levert er på 8000 m³/h. For å utjevne luftutskiftet i hallen startes aggregatene alltid opp i par på hver sin side av hallen.

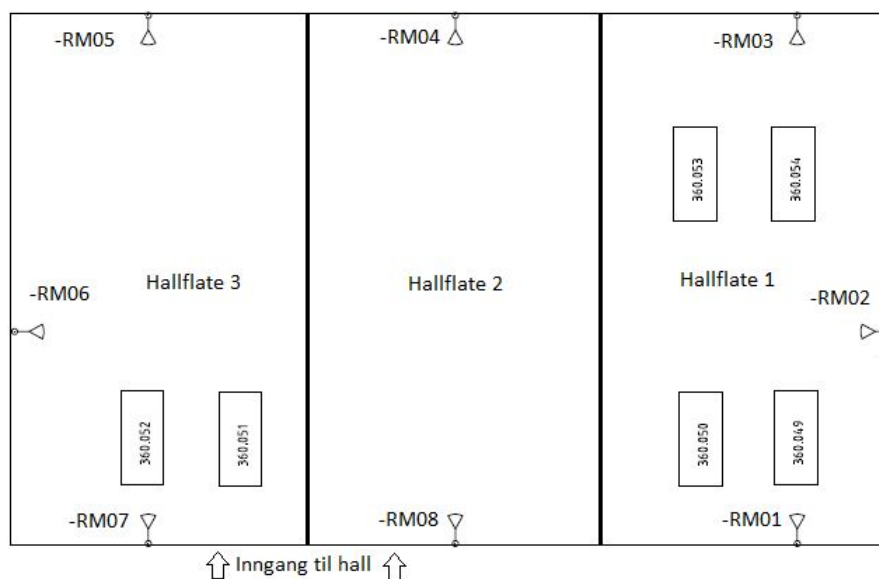
Aggregatene er plassert på en åpen bro/tak-konstruksjon over selve spilleflaten i hallen. Tiltent strømningsbilde vil kunne variere og er avhengig av bruk. Under daglig drift og ved toppkamper tilføres luften nede ved hallflaten gjennom ventiler plassert bak tribune og langs veggene under mesanin. Under dette tilfellet vil strømningsbilde minne om fortrenningsventilasjon. For konserter og renhold derimot, vil det i tillegg tilføres luft fra dyseventiler plassert i taket. Dette gjøres ved at et VAV-spjeld som normalt står stengt ute i kanalsystemet åpnes opp. Strømningsbildet vil da være mer likt omrøringsventilasjon.

Grunnet ventilasjonsaggregatenes plassering i hallen er avtrekkspunktene montert direkte på aggregatene. Dermed er det ingen kanalføringer for avtrekket. Dette bidrar til et lavere totalt trykkfall for systemet og er gunstig med hensyn på redusert SFP-faktor. Alle aggregatene har roterende varmegjenvinner med tørr temperaturvirkningsgrad på 79,9%. Det er også montert kombibatteri for varme og kjøling.

3.2.2 Regulering og sensorplassering

Ved normal drift styres ventilasjonsaggregatene etter reguleringsfunksjoner tilpasset for behovstyring. Det er totalt 16 følerinnnganger fordelt på åtte kombinerte CO₂- og temperaturfølere som er med på å regulere luftmengden. Disse er plassert 1,5 meter over gulvet, langs veggene i hallen. Det er en sensor på hver av kortsidene, og tre på hver av langsiden. Se figur 3.3 for ytterligere forklaring.

Pådraget fra ventilasjonsaggregatene er bestemt etter høyeste signal fra 0-10V, for enten temperatur eller CO₂. Her vil den sensoren med det størst avviket være den styrende parameteren for ventilasjonsanlegget. Ved små avvik vil levert luftmengde i hallen være på minimum. Det er programert inn forsinkelse på signalene fra sensorene, slik at aggregatene ikke skal gjøre utslag ved raske endringer i temperatur eller CO₂. Dette er for å forhindre unødvendig slitasje på systemet ved forstyrrelser på sensorene i hallen.



Figur 3.3: Oversiktsbilde av sensorplassering langs vegg og aggregater i/ved tak i Kolstad Arena.

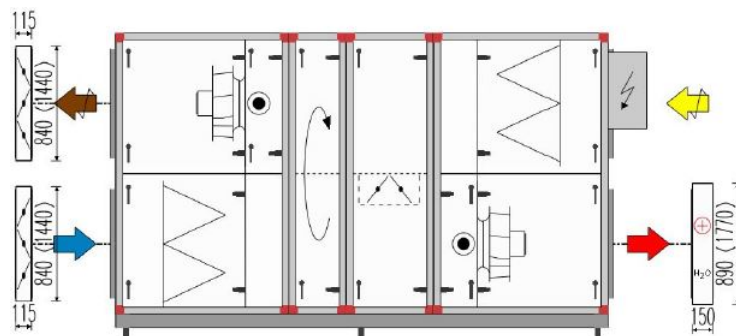
3.3 Flatåshallen

Flatåshallen ligger også lokalisert sør i Trondheim og er et større idrettsanlegg som inneholder en flerbrukshall, treningscenter og Trondheims første innendørs fotballbane [36]. Hallen åpnet høsten 2018 og anlegget benyttes både på dagtid og kveldstid. Flerbrukshallens spilleflate har standardmålene 20x40 meter i tillegg til en sikkerhetssone rundt banen. Hallen ligger omtrent i samme størrelsesorden som Heimdalshallen. En mindre tribune ligger over spillerflaten langs den ene langsiden. Tilskuerkapasiteten er på rundt 200 personer, noe som tilsier til at hallen fungerer mer som en treningsarena for aldersbestemte lag fremfor å være en arena for elitekamper.

3.3.1 Ventilasjonssystemet

Likt som i de to andre hallene, ventileres flerbrukshallen på Flatåsen av et eget ventilasjonsaggregat. Dimensjonert luftmengde for hallen er $15\,000\text{ m}^3/h$ og luftfordelingsprinsippet er omrøringsventilasjon. Her tilføres tilluften gjennom to perforerte tøykanaler som henger parallelt i taket. Luften trekkes av via et sentralt avtrekk som er plassert høyt oppe ved den ene kortsiden. Ved små luftmengder aktiviseres et stengespjeld på den ene tilluftskanalen, slik at ønsket kastelengde på tilluften opprettholdes. Av figur 3.4 fremkommer det at aggregatet har roterende varmegjenvinner og varmebatteri. Det er også montert spjeld inne i aggregatet, slik at anlegget kan kjøres med omluft og derav redusere

energibruken til oppvarming av luften.



Figur 3.4: Skisse av aggregat plassert i Flatåshallen. Hentet fra FDV-dokumentasjon.

3.3.2 Regulering og sensorplassering

Ventilasjonssystemet styres av en urbryter som er programmert etter et tidsinnstilt driftsprogram. Disse tidspunktene kan endres inne på SD-anlegget. I tillegg er det montert to sensorer nedenfor tribunen på den ene langsiden som registrerer både temperatur og CO₂-nivået. Pådragets størrelse er styrt av reguleringskurvene satt for disse to parametrene. Når CO₂-nivået er lavt og derav behovet for friskluft er lite, reduseres turtallet på avtrekkvifta og spjeld inne i aggregatet åpner seg. Da vil mengden omluft øke og mengden friskluft minke tilsvarende. Anlegget har automatiske brannspjeld som stenger ved brannsignal.

4

Metode

Kommende kapittel tar for seg de metoder som er benyttet i denne masteroppgaven, både når det kommer til teori, innsamling av data og målmetodikk. I tillegg vil selve gjennomføringen av forsøkene i de tre forskjellige flerbrukshallene bli beskrevet.

4.1 Litteraturstudie

Litteraturstudiet som ligger til grunn er gjennomført for å gi en dypere forståelse i de temaer som vil ha relevans for oppgavens problemstilling. Noe av litteraturstudiet bygger på opparbeidet arbeid fra prosjektoppgaven. Det er innhentet informasjon fra bøker og vitenskapelige publikasjoner, både fra biblioteket ved NTNU og ved hjelp av søkemotorene Oria, Google Scholar og ScienceDirekt. Det har også blitt gjort søk på norske standarder og forskrifter som omhandler krav til ventilasjon og inneklima gjennom Standard Norge.

Et lite utvalg av søkeordene som har blitt brukt er ”Venilation in sport halls”, ”Ventilation in large enclosures” og Demand controll ventilation”. I tillegg ble det søkt på ulike sensortyper knyttet opp mot behovsstyrt ventilasjon. For å spisse søket ble det benyttet frasesøk og AND, OR, NOT. Noe av utfordringen med litteratursøket var at det fantes lite relaterte treff som direkte omhandlet flerbrukshaller. De fleste publikasjonene på behovsstyring var relatert til kontorlokaler og rom med lavere takhøyde.

4.2 Forsøk

Dette delkapittelet vil omhandle forsøkene som ble utført i Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen. Her vil benyttet måleutstyr, oppsett og utførelse, samt forhold og omstendigheter i flerbrukshallene bli beskrevet. Hensikten med forsøkene var å få ut resultater

som skulle analyseres i ettertid og bidra til å besvare oppgaven.

4.2.1 Måleutstyr og nøyaktighet

Det ble benyttet flere typer måleutstyr under forsøkene, slik at alle parametre ble dekket. Alt av utstyr ble på forhånd testet innenfor de samme omgivelser over en lengre periode. Dette for eventuelt å oppdage om noen av sensorene viste dårlig batterikapasitet eller registrerte et større avvik enn det som var oppgitt som feilmargin fra produsent. Kommen- de tabell 4.1 lister opp anvendt måleutstyr og hvilke inneklimateparametre de registrerer. Bilder av måleutstyret følger i vedlegg C.

Måleutstyr	Leverandør	Måleparametre	Enhet
CA 1510 luftkvalitetsmonitor	Elma	Temperatur, RF, CO ₂	°C, %, ppm
MI70 Measurement Indicator	Vaisala	CO ₂	ppm
OPC-N2 Partikkel Monitor	Alphasense	PM ₁ , PM _{2.5} , PM ₁₀	µg/m ³
Easylog El-USB-2	Lascar	Temperatur, RF	°C, %

Tabell 4.1: Måleutstyr benyttet ved forsøk i flerbrukshallene.

CA 1510 er en luftkvalitetsmonitor der produsent viser til en målnøyaktighet for tempe- ratur på $\pm 0,5$ °C, og en oppløsning på $0,1$ °C. For relativ fuktighet er nøyaktigheten $\pm 2\%$, med et intervall mellom hver verdi på $0,1\%$. CO₂ har en nøyaktighet på ± 50 ppm $\pm 3\%$ av målt verdi. Disse sensorene ble kjøpt inn til masteroppgaven, så kalibrering var nylig blitt utført av leverandør.

Vaisala MI70 er et håndholdt måleinstrument som er spesielt tiltenkt feltmålinger. En- heten registrerte CO₂-konsentrasjonen under forsøkene i hallene. Disse målerne hadde akkurat vært inne hos produsent for sjekk og kalibrering. Intervall mellom hver registrerte verdi ved logging er på 10 ppm.

OPC-N2 registrerer partikkelkonsentrasjonen i lufta ved hjelp av en laserstråle som måler partikkelstørrelsene på forsert luft gjennom måleapparatet. Videre kalkuleres målingene slik at partiklene kategoriseres i PM₁, PM_{2.5} og PM₁₀. OPC-N2 har en maksimal telle- kapasitet på 10 000 partikler per sekund. Det må presiseres at sensoren kan påvirkes av luftfuktighet og dermed gi økt usikkerhet på målingene [37]. Dato for siste kalibrering av autorisert personell var her ukjent.

Easylog er små loggere med integrert USB-stikk for enkel overføring av data. Produsent oppgir et måleområde fra -35 °C til 80 °C for temperatur, med en feilkilde på $\pm 0,55$

°C. Temperaturintervallene mellom hvert steg er 0,5 °C. I tillegg registrerer den relativ fuktighet fra 0-100% RF. Feilmarginen er på $\pm 2,25\%$, og intervallet mellom hvert steg er 0,5%.

4.2.2 Overordnet forsøksplan og gjennomføring

Forsøksplanen som ble laget tok utgangspunkt i at alle hallene skulle måles over en tidsperiode på en uke. Grunnet behov for mange sensorer under forsøkene slik at de kunne dekke nødvendige områder og alle inneklimateparametrene, ble målingene i hallene gjennomført i forskjellige uker. Hensikten var å registrere endringene som oppsto under varierende personbelastning. For å få mest mulig de samme påvirkningene i hallene fra uteklimaet, ble forsøkene kjørt i tre påfølgende uker. Rekkefølge og tidsperiode framkommer i tabell 4.2. Verdier for gjennomsnittlig døgn temperatur og relativ fuktighet utendørs ble hentet fra nettsiden e-klima ved Saupstad målestasjon.

Uke	Dato (2019)	Flerbrukshall
10	04.03-10.03	Heimdalshallen
11	11.03-17.03	Kolstad Arena
12	18.03-24.03	Flatåshallen

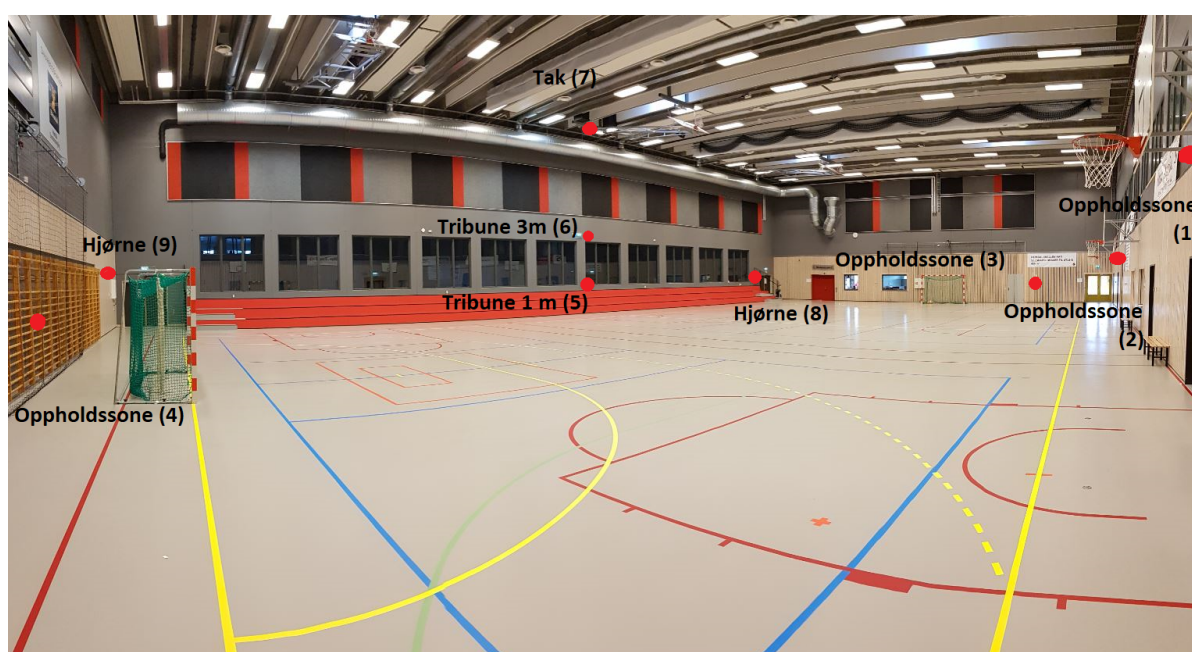
Tabell 4.2: Forsøksperioder i flerbrukshallene.

I all tre forsøkene ble sensorene plassert ut i hallen på en mandag, og innhentet mandagen uken etter. På grunn av noe tid på flytting av måleinstrument til ny hall, fremkommer det derfor i resultatene at forsøkene først startet mandag ettermiddag kl 18:00, og ble avsluttet neste mandag kl 06:00. Plassering av måleinstrument skulle ikke være til hindring for normal drift og aktivitet i hallen. I tillegg måtte det tas hensyn til ballspill som kunne gjøre skade på måleutstyret. De utplasserte sensorene var festet ved samme sted gjennom hele uken forsøket pågikk. Unntaket var for partikkeltellerne som kun logget over en mindre periode en av dagene ved hvert av forsøkene. Dette skyldtes høy målefrekvens som ikke kunne endres, og er nærmere forklart i kapittel 4.3.

Noen av sensorene ble hengt i ulike høyder i flerbrukshallene. Bakgrunnen for dette var for å kunne registrere de eventuelle vertikale forskjellene. Resterende måleutstyr ble plassert i oppholdsonen rundt spilleflaten eller i ventilasjonsaggregatet for å registrere verdier på tilluft og avtrekk. For å øke mengden måledata fra forsøkene ble også registrerte verdier fra SD-anleggene benyttet der dette lot seg gjøre. Dette gjaldt særlig luftmengder og verdier fra monterte sensorer som var plassert på vegg i hallene.

4.2.3 Heimdalshallen - Sensorplassering og omstendigheter

For å kunne registrere eventuelle forskjeller på inneklimateparametrene, var det viktig å få plassert sensorene på strategiske plasser i hallen. Stor takhøyde og plane vegger gjorde det utfordrende å få festet sensorene. Kommende figur 4.1 viser hvor plasseringen av måleutstyret var i Heimdalshall. Grunnet mangel på 3D-modell av hallen, er det forsøkt å fremstille aktuell sensorplassering ved hjelp av foto. Det ble også plassert sensorer på tilluft og avtrekk i aggregat, men dette synes ikke på figur da aggregat står plassert på teknisk rom utenfor hallen.



Figur 4.1: Forklaring til plassering av måleutstyr i Heimdalshallen under forsøket. Punkter er markert med rød sirkel med tilhørende svart tekst med både plassering og nummerering.

Nummerering	Målepunkt i hall	Måleparametre
1	Oppholdssone	Temperatur, RF
2	Oppholdssone	Temperatur, RF
3	Oppholdssone	Temperatur, RF, CO ₂
4	Oppholdssone	Temperatur, RF
5	Tribune 1m.	Temperatur, RF, CO ₂
6	Tribune 3m.	Temperatur, RF, CO ₂
7	Tak	Temperatur, RF, CO ₂
8	Hjørne	Partikler
9	Hjørne	Partikler

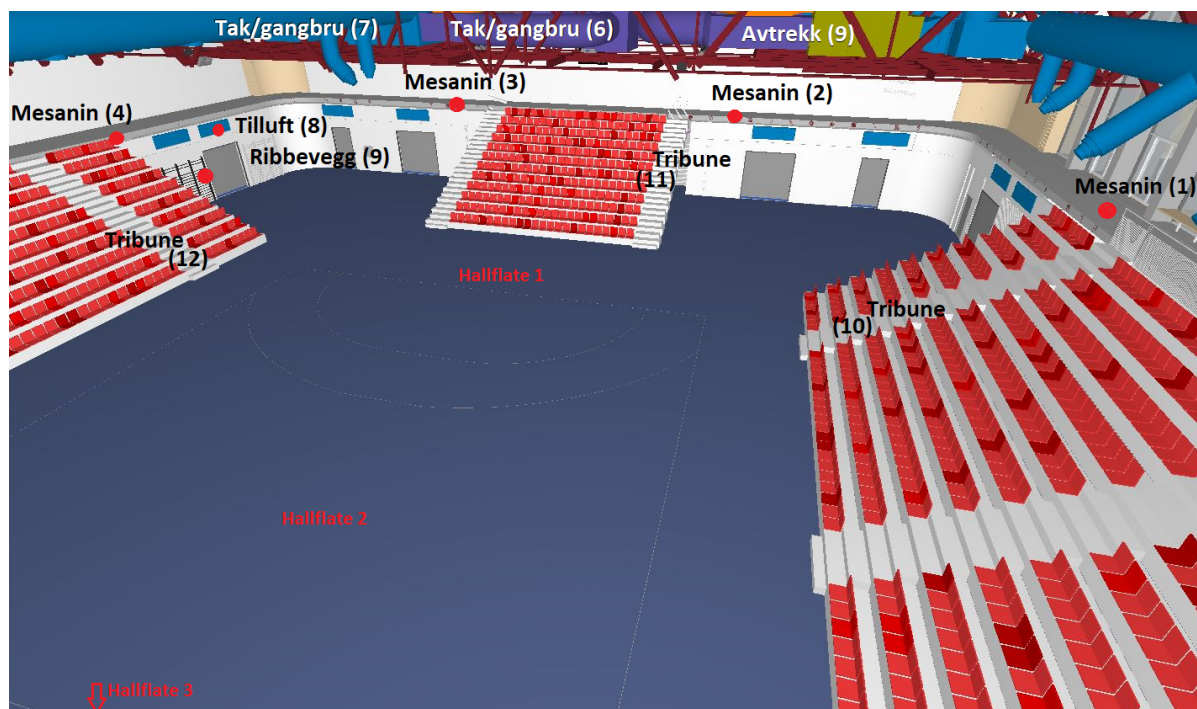
Tabell 4.3: Målepunkter ved Heimdalshallen under forsøket. Punkter er knyttet opp mot figur 4.1

Tabell 4.3 viser hvilke inneklimateparametre som ble logget ved de ulike målepunkt i hallen. Nummerering og beskrivelse følger samme system som ved figur 4.1.

Gjennom forsøksuken sto Heimdalshallen stort sett tom på dagtid, med noen få unntak der elver fra en barneskole hadde gymtimer. Fra 16:00 til ca 23:00 på hverdagene foregikk det organisert trening. I løpet av helgen var det noe aktivitet på dagtid i form av kamper på både lørdag og søndag. Banedagbok for uke 10 i Heimdalshallen følger i vedlegg A figur A.4. Utetemperatur gjennom uken varierte mellom $-8,3$ og $-1,3$ °C, og var den kaldeste perioden mellom uke 10 og 12. Levert luftmengde var stabilt på litt over 6000 m³/h når aggregatet var i drift. Det var kun på lørdag at loggingen fra SD-anlegger viser til en kortere periode der levert luftmengde var på 7300 m³/h. Graf over tilført luftmengde blir presentert i figur A.2 i vedlegg A.

4.2.4 Kolstad Arena - Sensorplassering og omstendigheter

Plassering av sensorer i Kolstad Arena er vist i kommende figur 4.2. Det er forsøk å få fram hallinndelingen ved å markere de ulike spilleflatene i hallen. Selv om tribunen er kjørt ut og skilleveggene rullet opp på figur, var dette ikke tilfellet under mesterparten av forsøket.



Figur 4.2: Oversikt over sensorplassering av måleutstyr i Kolstad Arena under forsøk. Plassering er markert med navn og nummerering. Utlevert 3D-modell er kjørt i Solibri.

På grunn av at Kolstad Arena består av tre håndballbaner og er vesentlig større enn Heimdalshallen og Flatåshallen, ble måleinstrumentene plassert rundt en tredjedel av hallflaten. Dette var for å få dekket like mange målepunkt rundt et tilsvarende areal som i de to andre hallene. Hallflate 1 lengst fra hovedinngangsdøra ble valgt på grunn av enklest tilgang fra taket.

Tabell 4.4 viser hvilke parametre som ble logget ved de ulike plassene i hallen. Nummerering og målepunkt samsvarer med figur 4.2. Ikke alle målinger fra de ulike punktene i hallen vil bli presentert i kapittel 5 resultater og deldiskusjon grunnet mindre relevans. Ved de fleste punkter ble både temperatur, relativ fuktighet og CO₂ registrert.

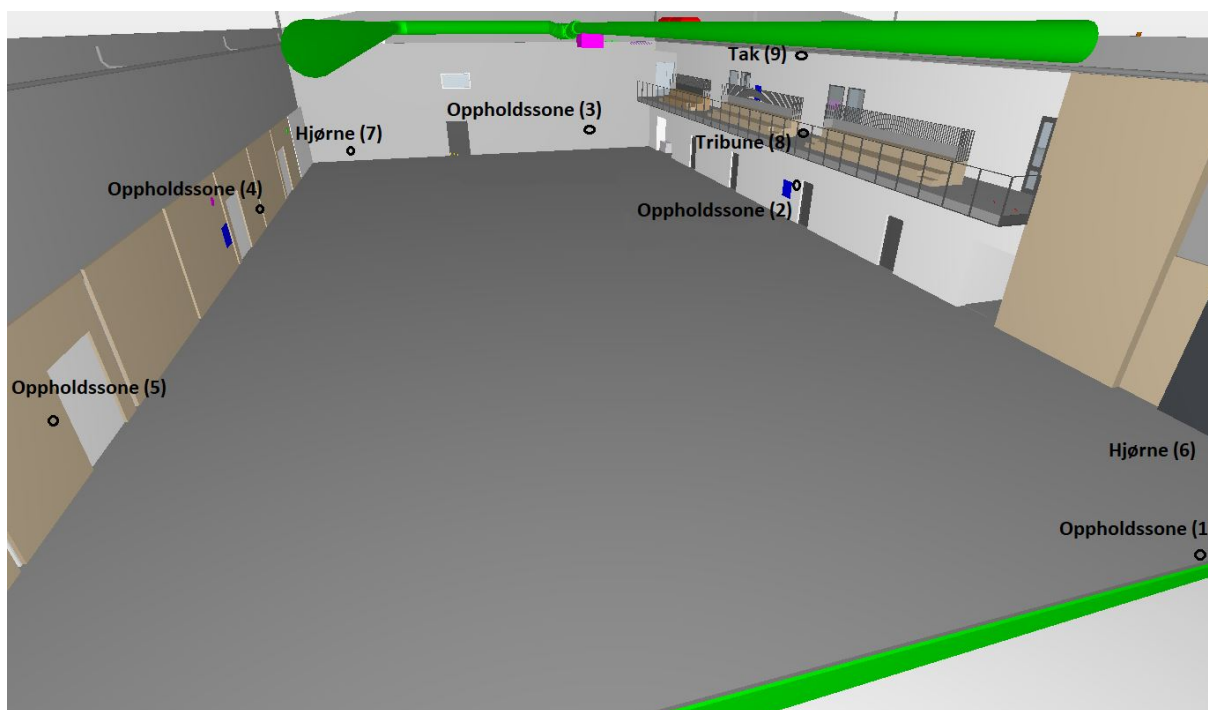
Nummerering	Målepunkt i hall	Måleparametre
1	Mesanin	Temperatur, RF
2	Mesanin	Temperatur, RF, CO ₂
3	Mesanin	Temperatur, RF, CO ₂
4	Mesanin	Temperatur, RF
5	Ribbevegg	Temperatur, RF, CO ₂
6	Tak/gangbru	Temperatur, RF, CO ₂
7	Tak/gangbru	Temperatur, RF, CO ₂
8	Tilluft	Temperatur, RF, CO ₂
9	Avtrekk	Temperatur, RF, CO ₂
10	Tribune	Partikler
11	Tribune	Partikler
12	Tribune	Partikler

Tabell 4.4: Målepunkter ved Kolstad Arena under forsøket. Punkter er knyttet opp mot 3D-modell vist i figur 4.2

Personbelastningen under forsøket i Kolstad Arena tilsvarte en normal treningsuke. Dette innebar noe aktivitet på dagtid i form av gymtimer, før organisert trening eller kamper tok over fra 16:00-22:00 alle hverdager. Fra fredag kveld ble hallen klargjort til elitekamp. Det ble da lagt eget gulv på langs i hallen, alle skilleveggene ble heiset opp og tribunen kjørt ut. Slik sto hallen til søndag kveld. Se vedlegg A.5 for komplett banedagbok. Det var ikke mulig å hente ut graf for loggede luftmengder da dette ikke var lagt inn som funksjon på SD-anlegget. Likevel vises det til at luftmengden gjennom uken for det meste lå på 8000 m³/h, da systemet ikke leverte en større luftmengde før CO₂-konsentrasjonen passerte 600 ppm. Utetemperaturen under forsøket hadde variert mellom -3,8 og -0,4 °C, med et gjennomsnitt for uken på -1,9 °C.

4.2.5 Flatåshallen - Sensorplassering og omstendigheter

Det siste forsøket i uke 12 ble gjennomført i Flatåshallen. Kommende figur 4.3 viser hvor måleutstyret ble plassert i hallen. I tillegg ble det plassert ut to sensorer i henholdsvis tilluft og avtrekk inne i aggregatet. Disse registrerte temperatur, relativ fuktighet og CO₂, men deres plassering fremkommer ikke av kommende figur, da aggregatet er plassert på eget teknisk rom.



Figur 4.3: Plassering av måleutstyr i Flatåshallen. Aktuelle steder er markert med svart sirkel og tekst for plassering og nummerering. Utlevert 3D-modell kjørt i Solibri.

Nummerering	Målepunkt i hall	Måleparametre
1	Oppholdssone	Temperatur, RF, CO ₂
2	Oppholdssone	Temperatur, RF, CO ₂
3	Oppholdssone	Temperatur, RF
4	Oppholdssone	Temperatur, RF
5	Oppholdssone	Temperatur, RF
6	Hjørne	Partikler
7	Hjørne	Partikler
8	Tribune	Temperatur, RF, CO ₂
9	Tak	Temperatur, RF, CO ₂

Tabell 4.5: Målepunkter ved Flatåshallen under forsøket. Punkter er knyttet opp mot 3D-modell vist i figur 4.3

Forklaring på hvilke inneklimateparametre som ble logget ved de forskjellige punktene i Flatåshallen er gitt i tabell 4.5.

Også i Flatåshallen fulgte aktivitetsnivået en typisk normaluke i vinterhalvåret. Hallen var lite i bruk på dagtid, mens det på ettermiddagene var høy aktivitet mellom 16:00 og 22:30. På lørdag og søndag forgikk det kamper. Særlig på søndag var det mye folk i hallen, da det ble arrangert minicup-kamper på tre småbaner samtidig. Anslagsmessig var det rundt 150 personer tilstede i hallen til enhver tid, over en periode på 3-4 timer.

Levert luftmengde gjennom uken lå stort sett mellom 7000-8000 m³/h, der mengden friskluft varierte mye etter behov. Dette kan sees i vedlegg A i figur A.3. Utetemperaturen var ganske stabil og varierte mellom 0 og 5 °C gjennom uken. Gjennomsnittstemperaturen havnet på 2,5 °C, og viste til de varmeste forholdene utedørs. Relativ luftfuktig varierte mye og var fra under 60% til over 90%.

4.3 Databehandling og programvare

Under forsøket ble sensorene av typen Elma CA1510 og Easylog programmert til å logge hvert 10 minutt. Vaisala MI70 hadde ikke dette tidsintervallet, så ble derfor satt til å logge hvert kvarter. Som nevnt i 4.2.2 kunne ikke målefrekvensen på OPC-N2 partikkel monitor endres, og tidsintervallet var ukjent. Derfor måtte tiden mellom hvert loggetidspunkt kalkuleres i ettertid, ut fra total tidsperiode over antall logginger gjort i tidsperioden. Partikkelsensorene viste seg å logge hvert 1,4 sekund, og på grunn av dette var det ikke hensiktsmessig å la dem logge over en hel uke. Det ble derfor valgt ut en dag i hver av hallene, hvor partikkelkonsentrasjonen ble målt.

Etter endt forsøk ble de loggede dataene lagt over på PC og eksportert over til programvaren Microsoft Excel. Her ble måledataene bearbeidet, analysert og framstilt i grafer. Som et resultat av at partikkelsensorene hadde veldig kort tid mellom hver logging, ble det derfor laget trendlinjer med glidende gjennomsnitt. Som nevnt startet målingene i hallene ved litt forskjellige tider. Det ble derfor satt en felles startid for alle forsøkene, med unntak for partikkelsensorene. Verdier registrerte på SD-anlegget ved de ulike hallene ble hentet ut i ettertid og utlevert som ferdige grafer. Registrerte tallverdier slik at egne grafer kunne lages var ikke mulig å anskaffe.

Andre programvarer som ble benyttet var Solibri Model Checker v9.9 og Solibri Mo-

del Viewer v9.8. Disse ble brukt for å få se 3D-modellen av hallene og skaffe oversikt over ventilasjonssystemets kanalføringer. I tillegg ble det hentet ut stillbilder for å vise måleutstyrets plassering i hallene. 3D-modellene ble utlevert av driftsansvarlige ved Kolstad og Flatåshallen. Det ble også brukt Autocad versjon-2017 for å tegne enkelte av figurene som tidligere er presentert i teorikapittelet. I tillegg ble E-klima sine nettsider benyttet for å hente ut data på været under forsøkene.

5

Resultat og deldiskusjon

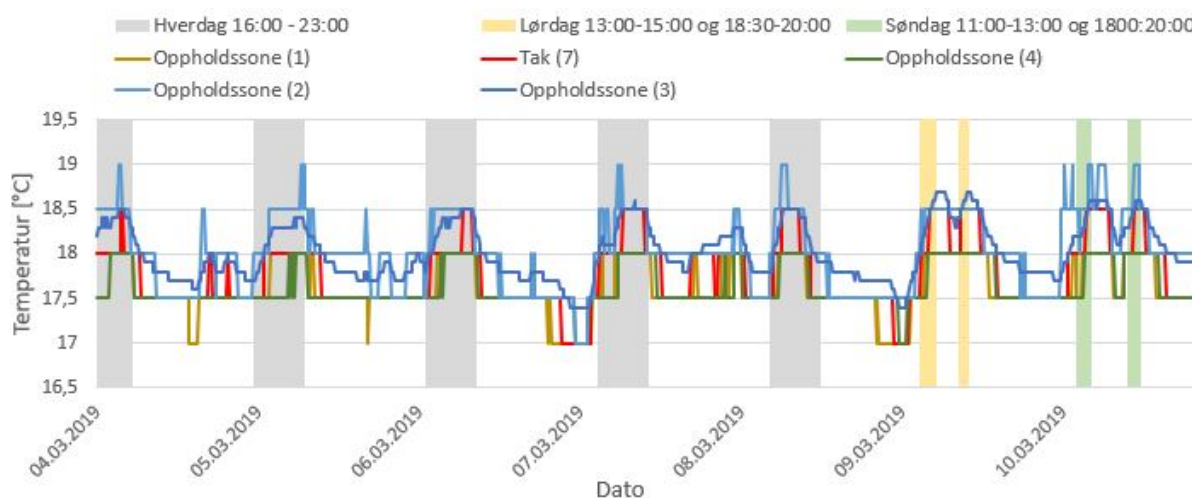
Dette kapitlet omhandler de resultater som fremkommer av forsøkene i flerbrukshallene. Oppbygningen er slik at hver enkelt hall med sine tilhørende resultater vil bli presentert etter tur, før de til slutt blir sammenlignet opp mot hverandre. Kapitlet vil inneholde noe diskusjon der dette er naturlig, men dette vil være rettet spesifikt mot gjeldende figur. Resultater som ikke blir inkludert her, men som likevel kan være av relevans, følger i vedlegg.

5.1 Resultater - Heimdalshallen

Nedenfor fremlegges resultatene av de ulike inneklimateparametrene som ble logget i Heimdalshallen gjennom uke 10. Forklaring til sensorplassering er tidligere beskrevet i kapittel 4.2.3.

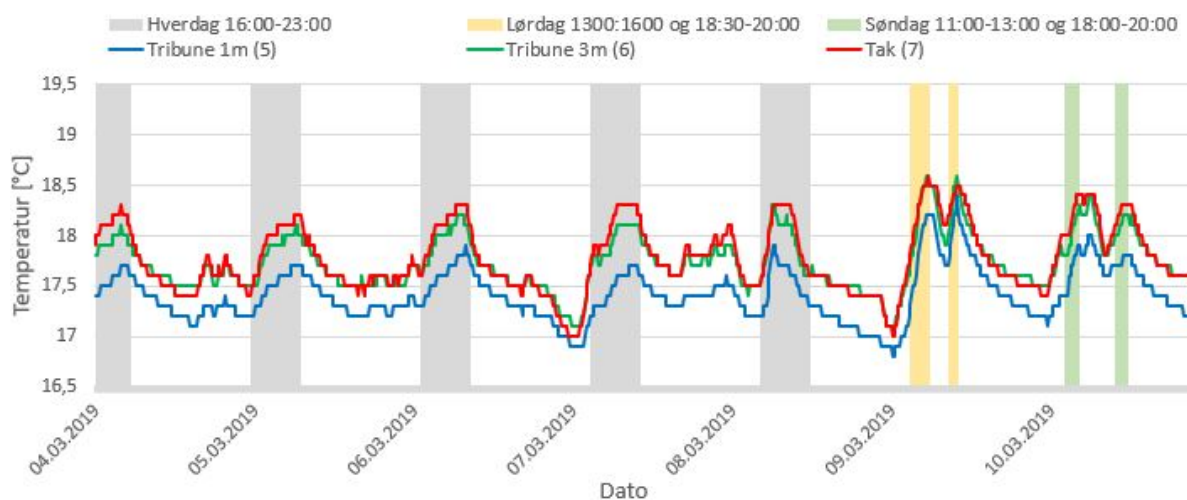
5.1.1 Temperatur

Kommende figur 5.1 viser temperaturendringene i oppholdssonen gjennom forsøket. Det fremkommer små variasjoner gjennom uken, og den laveste og høyeste registrerte temperaturen var henholdsvis 17 °C og 19 °C. Graf for oppholdssone 3 ble logget med måleutstyret Elma, og skiller seg derfor litt ut fra de andre grafene der Easylog ble benyttet. Grafene går noe over hverandre og fremkommer som noe uoversiktlig, men hovedsaken er å få fram trendene i oppholdssonen gjennom uken. Det er i diagrammet markert inn søyler som gjenspeiler tidsrommet med aktivitet i hallen, og som stemmer overens med banedagboken for gjeldende uke forsøket pågikk. Fra periodene med økt aktivitet kan det sees at temperaturen også stiger. Dette mønsteret går igjen for hele uken. Likevel må det presiseres at økningene er relativt små, og at temperaturen holdes innenfor anbefalte verdier.



Figur 5.1: Temperaturforløp i Heimdalshallen, uke 10. De ulike grafer gjelder sensorer plassert i oppholdssone. Søylor i diagram gjengir perioder med organisert aktivitet.

Registerert temperatur i de ulike høydene i Heimdalshallen presenteres i figur 5.2. Disse målingene viser enda tydeligere de trender som var gjennom uken. Det er antydninger til at sensoren plassert ved «tribune 1m» over guly, registrerte en litt lavere temperatur enn ved taket. Dette må sies er forventet, da varm luft vil stige opp. Likevel er ikke forskjellen større enn $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, som igjen gir en lav vertikal temperaturgradient i hallen. En av grunnene til dette kan skyldes at omrøringsventilasjonen blander luften tilstrekkelig og dermed skaper like forhold. Den høyeste temperaturen ble målt på lørdag 09.03, da personbelastningen var på sitt høyeste i form av kampaktivitet med tilskuere.

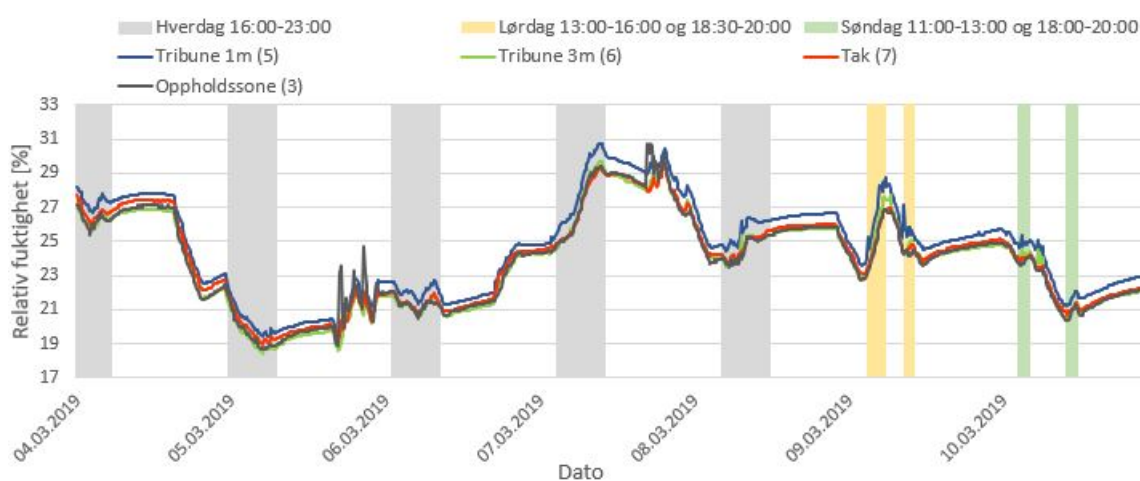


Figur 5.2: Temperaturforløpet i ulike høyder i Heimdalshallen, uke 10. Søylor i diagram gjengir perioder med organisert aktivitet.

5.1.2 Relativ fuktighet

Loggede verdier for relativ fuktighet i de ulike høyder i Heimdalshallen kan sees av figur 5.3. Verdiene ligger mellom 18-31% i RF gjennom uken, og ingen av grafene skiller seg ut fra resten. Dette bygger opp under observasjonen om like forhold i de forskjellige sjiktene i hallen. Felles for alle grafene er at de viser til lave verdier for relativ fuktighet. Dette kommer trolig av kald uteluft og derav også lav absolutt fukt på friskluften. Når uteluften så varmes opp i aggregatet vil den relative fuktigheten reduseres.

Et interessant punkt er at grafene ikke viser noen klar sammenheng mellom økt personbelastning og endring i relativ fuktighet. Den 05.03 i tidsrommet 1600-23:00 synker den relative fuktigheten selv om aktiviteten øker. Noe av forklaringen kan være at fukttilskuddet i hallen ikke er stort nok og at andre faktorer som forholdene utendørs har større innvirkning. Likevel er det tilfeller der den relative fuktigheten øker, også ved økt personbelastning. Dette kan tydeligst sees fra lørdag 09.03 da den relative fuktigheten stiger fra 25 til nesten 29%. Mye tyder på at den relative fuktigheten ikke stiger før personbelastningen og fukttilskuddet i hallen utgjør en betydelig mengde.

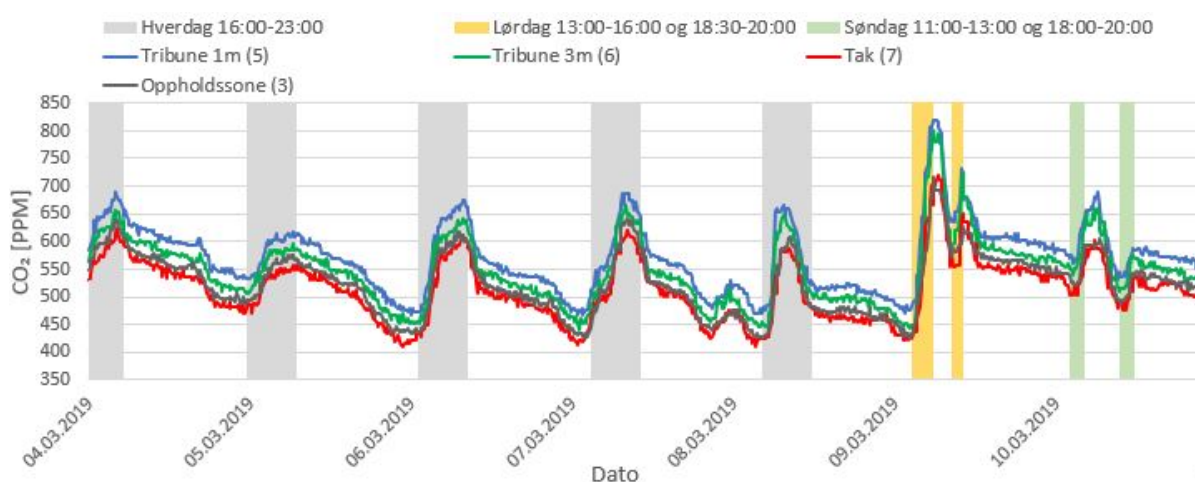


Figur 5.3: Relativ fuktighet ved ulike målepunkt i Heimdalshallen, uke 10. Søyler i diagram gjengir perioder med organisert aktivitet.

5.1.3 CO₂

CO₂-nivået i Heimdalshallene presenteres i figur 5.4. Grafene viser konsentrasjonen i de ulike høydene i hallen og for målepunktet “oppholdssone 3”. Det kommer fram at CO₂-nivået var på sitt høyeste lørdag 09.03. Dette var som allerede nevnt tidligere, den dagen

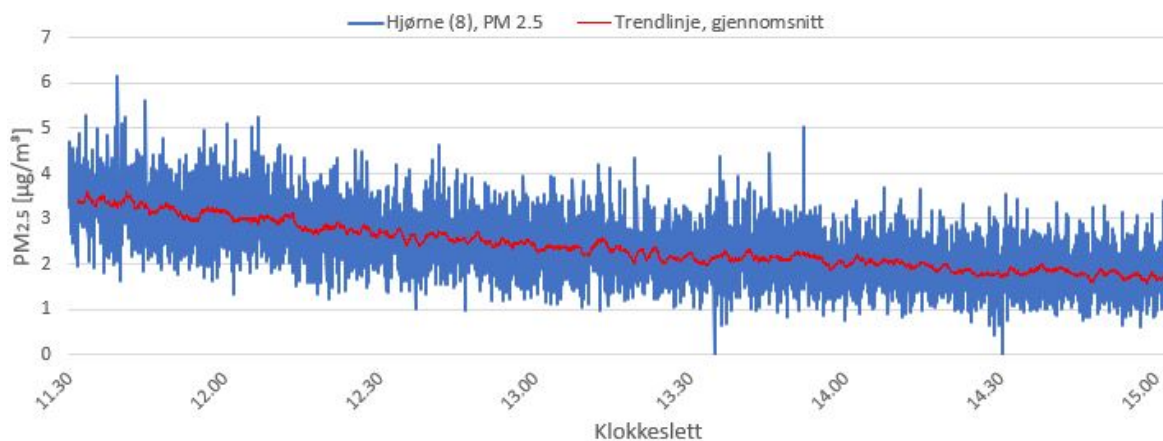
det var størst personbelastning i Heimdalshallen. Endringene i CO₂-konsentrasjonen angir tydelig når på døgnet hallen er i bruk. Det fremkommer kun små forskjeller mellom konsentrasjonene ved de ulike målepunkt. Disse forskjellene kan komme av varierende måleavvik og unøyaktigheter tilknyttet sensorene. Likevel kan det sees antydninger til at konsentrasjonen er noe høyere ved «tribune 1m» og «tribune 3m». Dette kan komme av at sensorene sto i nær tilknytning til tribunen og derfor fanget opp CO₂-gassen før den rakk å blande seg helt med romluften. På lørdag er forskjellen også størst, samtidig som også var flest tilskuere på tribunen. Tilført friskluft hadde et CO₂-nivå som i gjennomsnitt lå på 425ppm gjennom uken. Dette fremkommer av figur B.1 i vedlegg B.



Figur 5.4: CO₂-konsentrasjon i ulike punkter i Heimdalshallen, uke 10. Søyler i diagram gjengir perioder med organisert aktivitet i hallen.

5.1.4 Partikler

Resultatene fra partikkelmålingene for PM_{2.5} er vist i figur 5.5. Målingen skjedde over en kortere tidsperiode på formiddagen tirsdag 05.03. Plassering av sensor er i «hjørne 8», og er tidligere forklart i figur 4.1. Den blå grafen gjengir de faktiske målte verdiene, og fremkommer slik den gjør grunnet veldig kort tid mellom hver sampling. Det er derfor satt inn en trendlinje som viser et glidende gjennomsnitt av målingene. PM_{2.5}-konsentrasjonen ligger stort sett mellom 2-4 µg/m³. Resultatet viser heller ingen klare tegn til endringer gjennom måleperioden. Tidsperioden for partikkelmålingen burde kanskje vært gjennomført den dagen det var størst personbelastning. Dette ble forsøkt tilrettelagt under forsøkene i Kolstad Arena og Flatåshallen.



Figur 5.5: $PM_{2.5}$ -konsentrasjonen i Heimdalshallen tirsdag 05.03. Blå graf gjengir faktisk målte verdier, mens rød graf representerer gjennomsnittlig trendlinje med perioder pr. 50. måling.

Grafene for PM_{10} følger i vedlegg B og vises i figur B.2. Det er lite fra disse resultatene som kan vise til noen sammenheng mellom aktivitet og målt verdi. Den høyeste registrerte enkeltverdien var på over $80\mu\text{g}/\text{m}^3$, men trendlinjen viste at det gjennomsnittlig lå mellom $2\text{--}8\mu\text{g}/\text{m}^3$. Disse få og høye enkeltverdiene skyldes trolig målefeil eller forstyrrelser på måleinstrumentene. Derfor vil de gjennomsnittlige trendlinjer bedre kunne gjenspeile partikkelkonsentrasjonen. Både $PM_{2.5}$ og PM_{10} ligger godt under de verdier som er oppgitt som øvre grense av Folkehelseinstituttet på henholdsvis 8 og $20\mu\text{g}/\text{m}^3$ som årsmiddel.

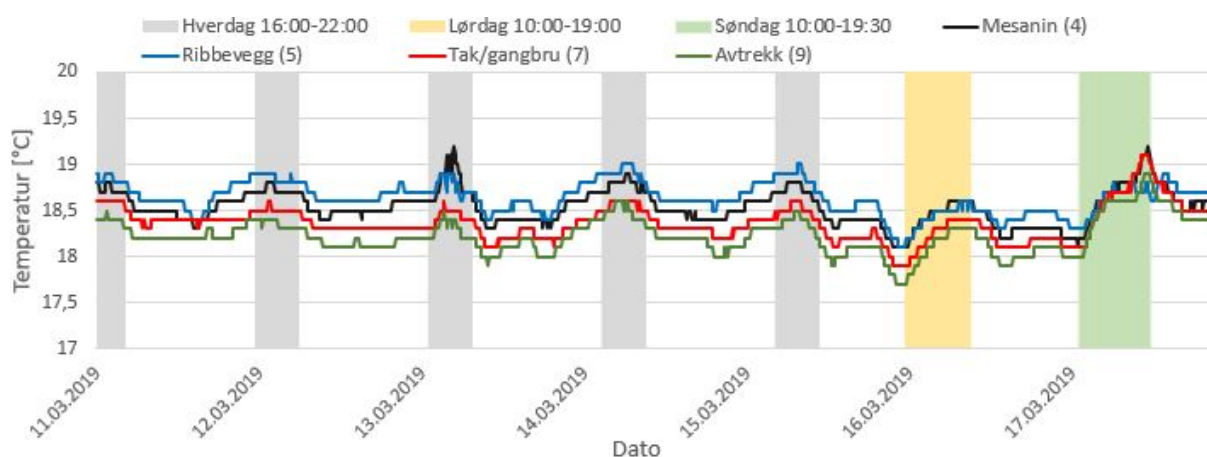
5.2 Resultater - Kolstad Arena

Videre i resultater presenteres de data som ble logget under forsøket i Kolstad Arena i uke 11. Sensorplassering er tidligere forklart i kapittel 4.2.4.

5.2.1 Temperatur

Temperaturforløpet i Kolstad Arena viser til stabile forhold gjennom forsøksperioden, og kan sees av kommende figur 5.6. Temperaturen i hallen har variert mellom $18\text{--}19\text{ }^\circ\text{C}$ med noen få unntak. En av årsakene til denne stabile temperaturen kan skyldes treghet i systemet grunnet hallens store volum. Varmetilskuddet fra de interne varmekildene er for lite til å øke temperaturen raskt. Det er heller ingen tydelige forskjeller i de ulike vertikale sjiktene. Ved målepunktene «tak/gangbru (7)» og «avtrekk (9)» er det målt lavest temperatur. Dette er motstridende med at varm luft stiger opp og legger seg ved

taket. I hvertfall når tilluften tilføres ved oppholdssonen. Det må også her påpekes at forskjellene er så små at målenøyaktigheten og avviket mellom sensorene vil kunne være av betydning. Grafer for målt temperatur ved oppholdssonen er presentert i vedlegg B figur B.4. Også disse resultatene viser like temperaturer i de ulike målepunkt. Størst sprang i temperatur ble registrert søndag 17.03 under elitekampen til Kolstad håndball. Det var da totalt 1250 tilskuere i hallen, i tillegg til begge lags spillere og støtteapparat. Grafene viser til omtrent 1 °C i økning fra morgen til ferdigspilt elitekamp på kvelden. Det som kan være interessant å nevne, er at temperaturen ved de ulike sensorene viser til omtrent de samme verdiene for søndag 17.03. Resultatet kan tyde på et mer homogent temperaturbildet i hallen, når det tilføres en større luftmengde. Dette kan skyldes en større omrøring i luften, slik at strømningsbildet endrer seg og medfører jevnere temperatur.

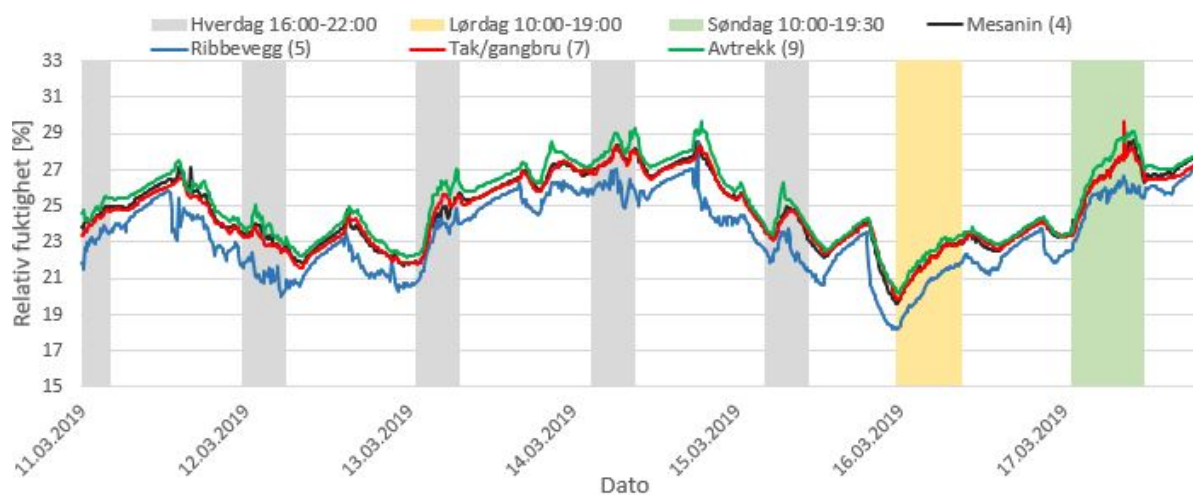


Figur 5.6: Temperaturforløp i de ulike høyder i Kolstad Arena i uke 11. Søyler i diagram gjengir perioder hvor det var organisert aktivitet i hallen.

5.2.2 Relativ fuktighet

Relativ fuktighet i Kolstad Arena gjennom uke 11 fremstilles i figur 5.7. Her har verdiene varierte mellom 18-30% i RF. Resultatene viser de samme antydningene her som for Heimdalshallen. Den relative fuktigheten kan synke selv ved økt personbelastning. Dette forekommer på flere av hverdagene gjennom uka. I helgen derimot er det noe tydeligere at relativ fuktighet stiger når hallen benyttes. Men økningen utgjør fremdeles bare noen få prosenter i relativ fuktighet, selv under elitekampen med 1250 tilskuere. Ventilasjonssystemet kan være en faktor som bidrar til å holde nivået nede, ved at det ventileres med en tilstrekkelig mengde friskluft som har et lavere RF-nivå enn i hallen. Sensoren som stod i oppholdssonen ved målepunktet «ribbevegg (5)», viser til en generelt lavere relativ

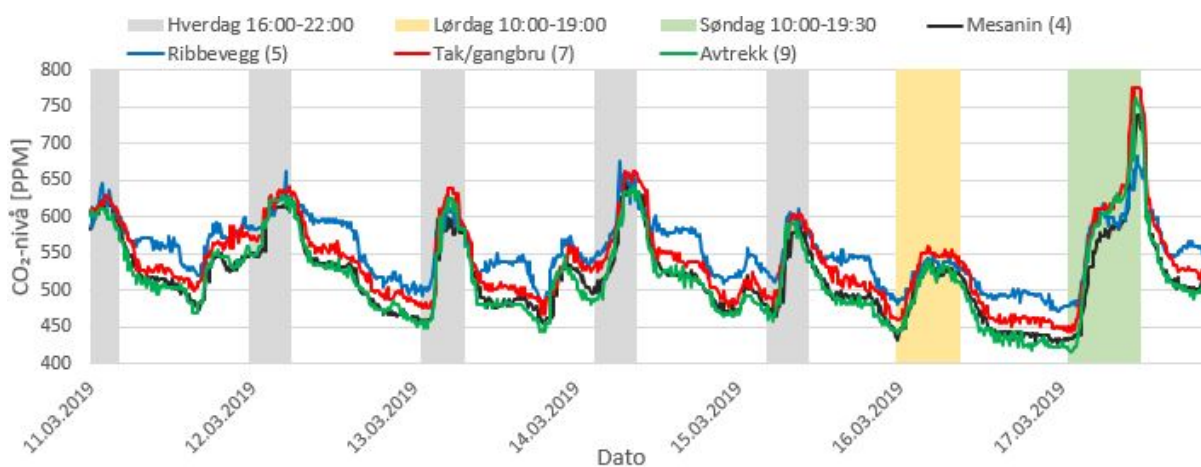
fuktighet. Dette kan skyldes at fuktig luft er lettere enn tørr luft, og dermed vil det registreres et høyere nivå ved taket. I tillegg registrerte nevnte sensor en høyere temperatur enn resten og da vil det ikke være usannsynlig at dette har gjort utslag på målt relativ fuktighet.



Figur 5.7: Relativ fuktighet i ulike punkt i Kolstad Arena, uke 11. Søyler i diagram gjengir perioder hvor det var aktivitet i hallen.

5.2.3 CO₂

CO₂-konsentrasjonen i Kolstad Arena er presentert i figur 5.8. Resultatet viser en klar korrelasjon mellom økt aktivitet i hallen og målt CO₂-konsentrasjon. Hver ettermiddag rundt kl 16:00 øker CO₂-nivået idet de organiserte treningene starter.

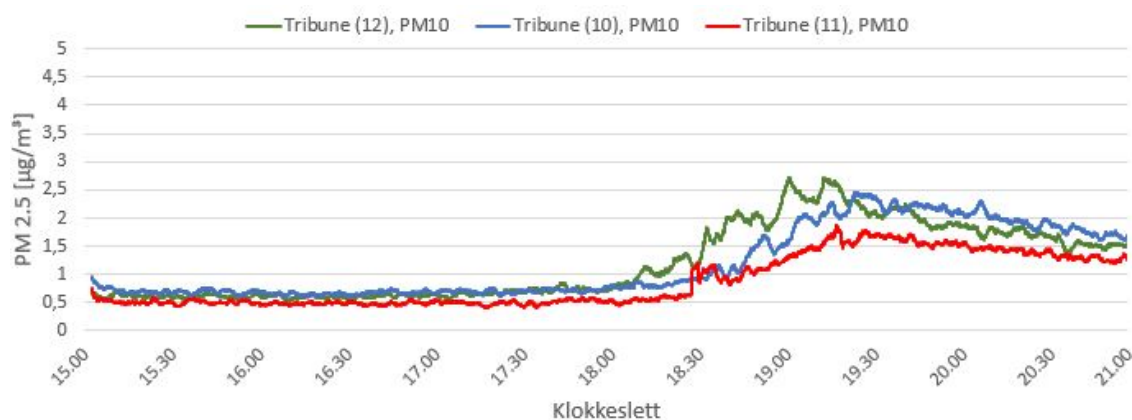


Figur 5.8: CO₂-konsentrasjon i ulike punkter i Kolstad Arena, uke 11. Søyler i diagram gjengir perioder hvor det var aktivitet i hallen.

Søndag 17.03 er den dagen som skiller seg ut med det høyeste CO₂-nivå på rett under 800ppm. Denne toppen varer bare i et par timer og er i forbindelse med Kolstad sin elitekamp. Idet personbelastningen avtar, faller CO₂-konsentrasjonen raskt tilbake til normale verdier. Levert luftmengde i perioden kampen pågikk er ukjent, men ventilasjonsanlegget har mulighet for å levere en luftmengde opp mot 78000 m³/h. Aggregatene var programmert til å øke luftmengden om CO₂-nivået kom over 600 ppm, dermed har luftmengden vært større enn under normal drift. Tilluften i hallen hadde et CO₂-nivå som lå omtrent på 425 ppm.

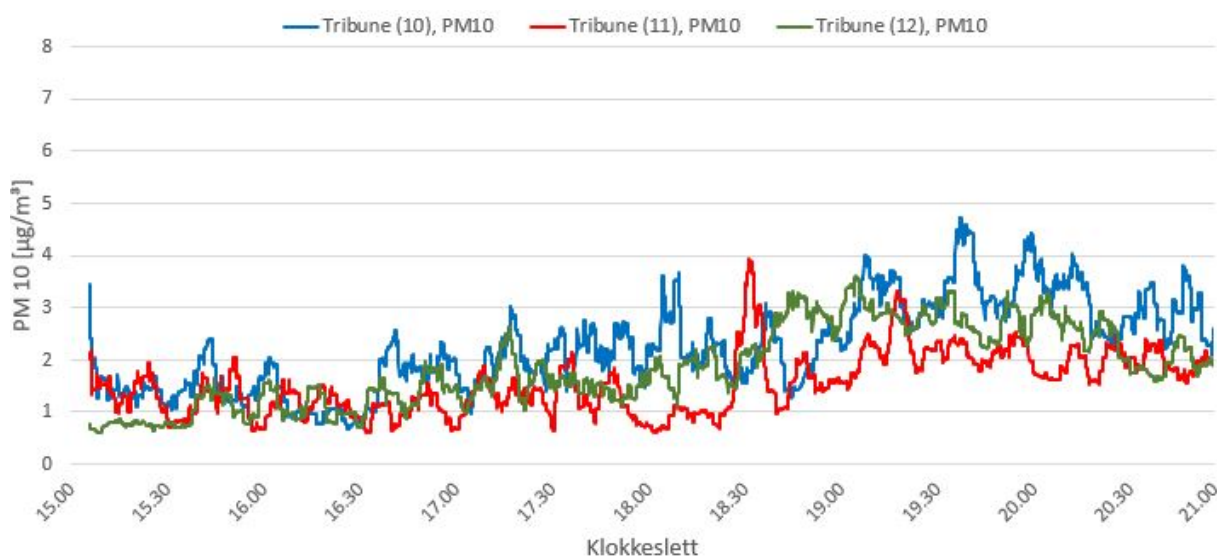
5.2.4 Partikler

Figur 5.9 gjengir PM_{2.5}-konsentrasjonen i Kolstad Arena torsdag 14.05. Målingene startet tidlig på ettermiddag og logget utover kvelden. Målepunktene var lokalisert ved hver av tribunene. For nærmere forklaring se kapittel 4.2.4. Grafene viser en økning i konsentrasjon rundt 18:30. Denne økningen kan sees i sammenheng med endringen i personbelastning, men organisert trening startet allerede 16:00 og varte til 22:00. Det at grafene først øker når klokken blir 18:30 og synker igjen allerede 19:30 er noe vanskelig å forklare. Håndballaktivitet med klisterbruk, riving i drakter og høyere intensitet kan ha gitt utslag på måleinstrumentene. Likevel er dette motstridende med innhentet teori for målt PM_{2.5}. Som nevnt tidligere viser Folkehelseinstituttet i sin artikkel til at den viktigste kilden til PM_{2.5} er veitrafikk. Økningen kan derfor også skyldes endringer i utendørs konsentrasjon fra biltrafikk eller vedfyring i området. En annen observasjon fra resultatene er at de ulike målepunktene følger den samme trenden. Dette kan tyde på at forholdene rundt hallflaten i oppholdssonen er like, slik som de andre parametrene også antyder.



Figur 5.9: PM_{2.5}-konsentrasjonen i Kolstad Arena torsdag 14.03. De ulike grafene er gjennomsnittlige trendlinjer med perioder pr. hundrede måling.

PM₁₀-konsentrasjonen er fremstilt i figur 5.10, og viser til raske, små endringer uten noen klare tegn til tydelige trender. Det er vanskelig å kunne dra noen klar sammenheng mellom personbelastning og målte verdier. Støv fra slitasje på stoff og klær består stort sett av større svevestøv og partikler. Dette skulle kanskje bety at PM₁₀-nivået skulle vist til en klarere økning enn det PM_{2,5} gjorde, gitt at det virkelig var aktiviteten i hallen som hadde betydning for økningen i registrert partikkelkonsentrasjon. Resultatene for PM₁₀ viser altså ikke til dette og gjenspeiler innhentet teori om at partikler stammer oftest fra kilder utendørs.



Figur 5.10: PM₁₀-konsentrasjonen i Kolstad Arena torsdag 14.03. De ulike grafene er gjennomsnittlige trendlinjer med perioder pr. 200.-måling.

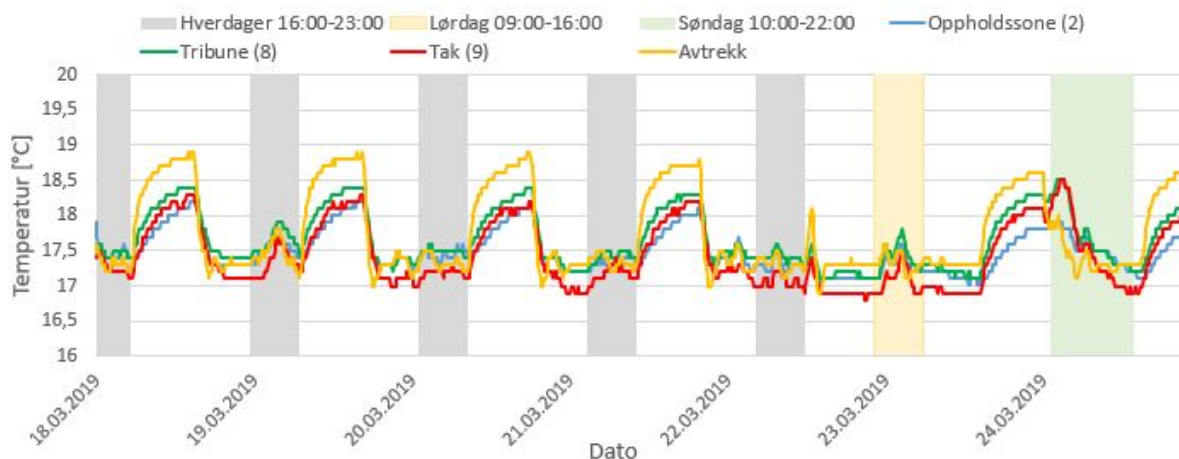
5.3 Resultater - Flatåshallen

Kommende delkapittel viser resultatene fra forsøket i Flatåshallen gjennom uke 12. Plasing av måleinstrument i hallen er tidligere forklart i kapittel 4.2.5

5.3.1 Temperatur

Fra figur 5.11 gjengis temperaturforløpet i Flatåshallen. De målte verdiene representerer resultatene ved de ulike høydene i flerbrukshallen. I tillegg er resultatet fra avtrekket tatt med. Det fremkommer at temperaturen på hverdage i aktivitetsperiodene ligger like over 17 °C. Dette er noe lavere sammenlignet med Heimdalshallen og Kolstad Arena. På søndag 24.03 er temperaturen litt høyere enn for resten av uken. Det kommer av at det

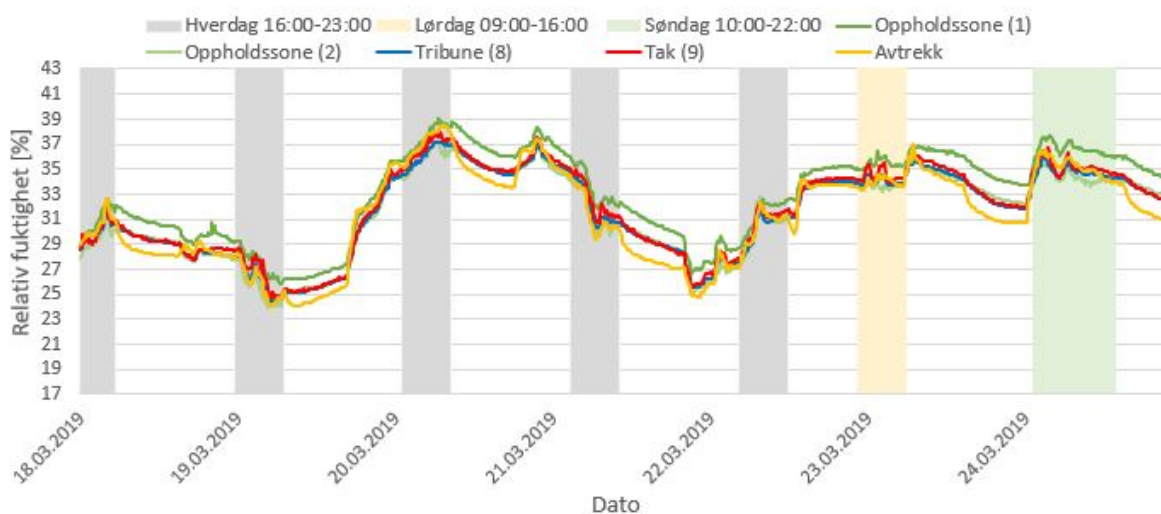
ble arrangert minicup fra morgenen av. På banen foregikk det kamper, mens tribunen var full av tilskuere. Økningene i temperatur som skjer nattetid skyldes at aggregatet går over til kun å kjøre med omluft. Det vil da ikke være mulig med kjøling i hallen med ventilasjonsaggregatet, i og med at dette gjøres gjennom den kalde uteluften. Vedlegg A figur A.3 viser leverte luftmengder gjennom uka og mengden friskluft som ble tilført.



Figur 5.11: Temperaturforskjeller ved ulike målepunkt i Flatåshallen, uke 12. Søyler i diagram gjengir perioder hvor det var aktivitet i hallen.

5.3.2 Relativ fuktighet

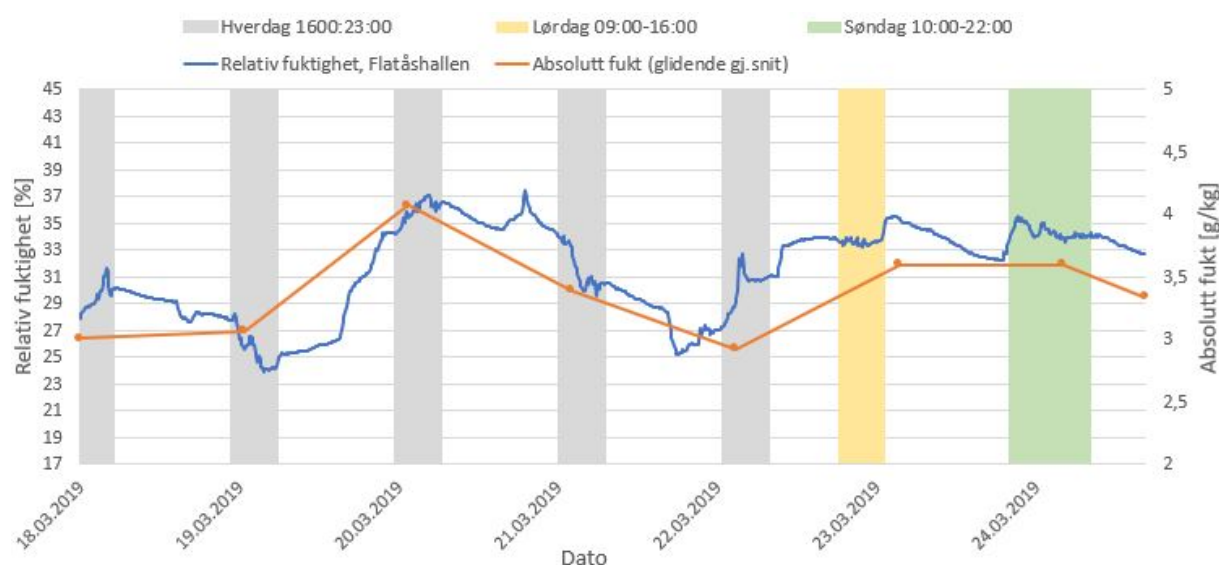
Forskjellene fra de andre hallene er at variasjonene i relativ fuktighet er større gjennom forsøket i Flatåshallen. Dette kan sees av kommende figur 5.12.



Figur 5.12: Målte verdier for relativ fuktighet ved ulike lokasjoner i Flatåshallen, uke 12. Søyler i diagram gjengir perioder hvor det var aktivitet i hallen.

Her varierer nivået mellom 24-39% i RF. I tillegg har den relative fuktigheten i gjennomsnitt ligget høyere. Dette henger trolig sammen med en jevnt over varmere utetemperatur for uke 12, og en større mengde absolutt fukt i uteluften. Det kan også sees fra figuren at relativ fuktighet både synker og øker selv ved økt personbelastning. Dette var det samme som ble oppdaget fra resultatene i Heimdalshallen og Kolstad Arena.

Det ble derfor hentet ut gjennomsnittlige døgnverdier for utetemperatur og relativ fuktighet fra klima ved Saupstad målestasjon. Disse verdiene ble så omgjort til verdier for absolutt fukt i uteluften. Kommende figur 5.13 viser grafer for absolutt fukt i uteluften gjennom uken og målt relativ fuktighet for “oppholdssone 2” i Flatåshallen.



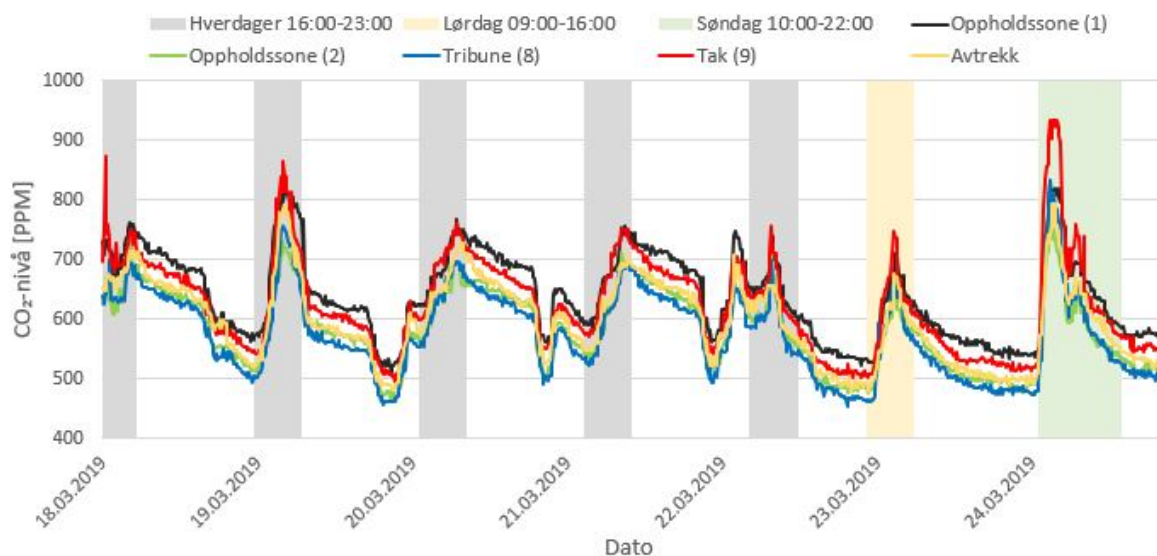
Figur 5.13: Målte verdier for relativ fuktighet i Flatåshallen, og absolutt fuktighet utendørs ved Saupstad målestasjon.

Figuren viser at kurven for relativ fuktighet innendørs og kurven for absolutt fuktighet utendørs følger de samme trendene. Dette gir støtte oppunder forklaringen om at uteforholdene er av stor betydning for endringen av relativ fuktighet innendørs.

5.3.3 CO₂

CO₂-konsentrasjonen i Flatåshallen er gjengitt i figur 5.14. Den høyeste registrerte verdien ble målt til 934 ppm. Dette var på søndag den 24.03, da det som nevnt tidligere foregikk minicup i hallen. Grafene viser en klar sammenheng mellom målt CO₂-nivå og aktivitet. Det fremkommer ikke store forskjeller mellom CO₂-konsentrasjonene ved de ulike

målepunktene. Variasjonen mellom den høyeste og laveste verdien ligger litt over 50 ppm gjennom uken. Dette er så lite at målenøyaktigheten vil ha innvirkning på målte differanser. Omrøringsventilasjonen ser ut til å skape nokså like forhold rundt om i Flatåshallen gjennom forsøket.



Figur 5.14: CO_2 -konsentrasjon ved ulike målepunkt i Flatåshallen, uke 12. Søylar i diagram gjengir perioder hvor det var aktivitet i hallen.

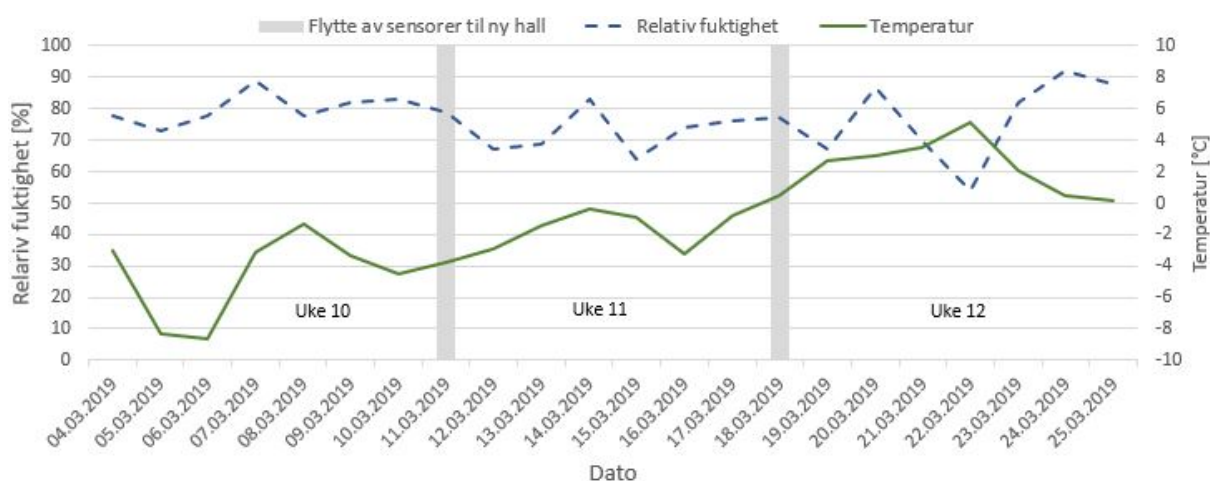
5.3.4 Partikler

Resultatene fra partikkelkonsentrasjonene i Flatåshallen er lagt ved i vedlegg B og kan ses i figur B.6 og B.7. Hverken for $PM_{2.5}$ eller PM_{10} ble det oppdaget noen sammenheng mellom målte verdier og endring i personbelastning. Dette selv om partikkelsensorene logget i den perioden da det var flest personer i hallen. Registrerte verdier for $PM_{2.5}$ viste verdier mellom 0,3 og 1,4 $\mu g/m^3$. Dette er langt under de krav som er satt som øvre grense. For PM_{10} varierte konsentrasjonen litt mer og viste 10 $\mu g/h^3$ på det meste. Det er likevel vanskelig å se en sammenheng mellom endringer i målt nivå og personbelastning.

5.4 Sammenligning av flerbrukshallene

For å få frem forskjeller og likheter mellom flerbrukshallene er noen av resultatene sammenlignet opp mot hverandre. I kommende figur 5.15 gjengis utetemperatur og relativ fuktighet registrert ved Saupstad målestasjon. Denne målestasjonen ligger i nær tilknytning til

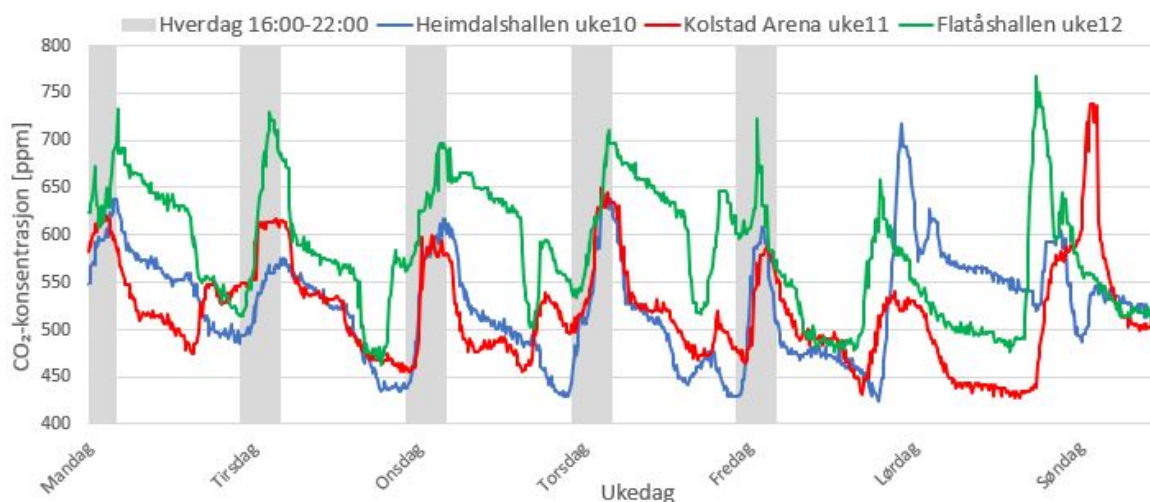
flerbrukshallene og vil dermed gjengi uteforholdene forholdsvis nøyaktig. Se oversiktskart i vedlegg A figur A.1 for ytterligere forklaring. Grafene baserer seg på døgnmiddelverdier, da det ikke var mulig å hente ut timesverdier fra e-klima. Dermed fremkommer svingningene i tempertur og relativ fuktighet slik de gjør. Det kan sees at utetemperaturen har ligget lavest under forsøket i Heimdalshallen, og viser til verdier nede i $-8\text{ }^{\circ}\text{C}$. Relativ fuktighet derimot har vært mer stabil gjennom ukene, foruten i midten av uke 12 da det varierte fra 54% til 92% i løpet av noen dager.



Figur 5.15: Utetemperatur og relativ fuktighet for uke 10 (Heimdalshallen), 11 (Kolstad Arena) og 12 (Flatåshallen) ved Saupstad målestasjon. Grå søyler viser tidsrom ved bytte av flerbrukshall.

Videre sammenlignes CO_2 -konsentrasjonene i oppholdssonen ved Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen. Dette er presentert i figur 5.16. Grunnet samme forsøkslengde er starttidspunktet på uka det samme for alle flerbrukshallene. Det kommer frem at Flatåshallen har hatt de høyeste verdiene på hverdage. Dette skyldes trolig at aggregatet kjører helt eller delvis med omluft, og dermed får tilluften en høyere CO_2 -konsentrasjon. Utskiftningen av gammel luft vil skje saktere. Dette kan også sees på kveldstid da CO_2 -nivået synker tregere, sammenlignet med Heimdalshallen og Kolstad Arena. Nivået i Flatåshallen er likevel innenfor de akseptable verdier oppgitt i Veilder 444 på 1000ppm.

Felles for alle hallene er at den høyeste CO_2 -konsentrasjonen forekommer i helgene. Dette skyldes kampaktivitet og flere tilskuere på tribunen. Disse periodene fremstår som korte og spisse toppe i diagrammet. Flerbrukshallene går fra å stå tomme til at det er fullt med tilskuere på under en halvtime. For å kompensere for disse brå endringene som fremkommer, må ventilasjonssystemet raskt kunne fange opp og tilpasse seg endringene for å tilfredsstille kravene til luftkvalitet og termisk komfort.



Figur 5.16: CO_2 -nivået i oppholdssone ved Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen. De grå søylene angir aktivitetperiode på hverdage. Disse tidspunktene var omtrent like for alle tre hallene. Helg er ikke markert, da tidspunkt for aktivitet var ulik.

For å gi en oversikt over minimum, maksimum og gjennomsnittlige verdier gjennom forsøkene i flerbrukshallene, er tabell 5.1 utarbeidet. Den viser at høyeste registrerte verdien for temperatur var på $19,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ i Kolstad Arena. Dette viser at ventilasjonsaggregatene klarer å holde temperaturen nede innenfor ønsket temperaturnivå, selv ved kampaktivitet og høy personbelastning. Den relative fuktigheten var nede i $18,7\%$ på det laveste i Heimdalshallen og skyldes lav utetemperatur.

	Heimdalshallen (uke 10)			Kolstad Arena (uke 11)			Flatåshallen (uke 12)		
	Min	Max	Snitt	Min	Max	Snitt	Min	Max	Snitt
Temperatur [$^{\circ}\text{C}$]	17,4	18,7	18,0	18,1	19,2	18,5	17,0	18,2	17,5
Relativ fuktighet [%]	18,7	30,7	23,8	19,6	28,6	24,8	23,9	37,5	31,5
CO_2 [ppm]	425	718	525	427	738	518	463	767	583
Partikler $PM_{2.5}$ [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	-	2,35	-	-	1,08	-	-	0,77
Partikler PM_{10} [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]	-	-	3,49	-	-	1,90	-	-	4,60
Utetemperatur [$^{\circ}\text{C}$] (døgnverdier)	-8,6	-1,3	-4,6	-3,8	-0,4	-1,9	0,1	5,1	2,5
Relativ fuktighet [%] (utendørs, døgnverdier)	73	89	80,1	64	83	73,1	54	92	75,6
Absolutt fuktighet g/kg (utendørs, døgnverdier)	1,36	2,64	2,11	1,98	3,03	2,33	2,92	4,07	3,37

Tabell 5.1: Oversikt over registrerte verdier fra forsøkene gjennomført i de ulike flerbrukshallene. Tallene gjelder for oppholdssonen og innhentede målinger fra Saupstad målestasjon tilknyttet uteforhold.

6

Diskusjon

Diskusjonskapittelet vil drøfte de resultater som tidligere er lagt fram, samt knytte dette opp mot opparbeidet teori fra litteraturstudiet. Hensikten er å besvare de spørsmål som omfatter oppgavens problemstilling. De ulike inneklimateparametrene vil først bli diskutert og deretter hver enkelt hall. Til slutt drøftes aktuell sensorplassering.

6.1 Temperatur

Fra forsøkene gjort i Heimdalshallen, Kolstad Arena og Flatåshallen viser det seg at temperaturen har variert gjennom ukene i alle tre hallene. De ulike toppene kan sees i en klar sammenheng med økt personbelastning. Det må likevel nevnes at disse økningene nesten aldri har vært større enn 1 °C. Overordnet for Heimdalshallen og Flatåshallen har temperaturnivået stort sett ligget innenfor de anbefalte verdiene på 16-18 °C som Veilederen fra Kirke- og kulturdepartementet anbefaler. Kolstad Arena har ligget noe høyere i temperatur enn de to andre hallene. Likevel var det ingen av målingene som viste tegn til perioder med unormalt høye temperaturer. Hovedgrunnen til dette kommer trolig av at ventilasjonsanleggene klarer å styre og regulere forholdene innenfor ønsket område. En annen medvirkende årsak kan skyldes lav utetemperatur og muligheten aggregatet har til å tilføre tilstrekkelig mengde kald friskluft. Når det er vinter ute, vil også bidraget fra transmisjon- og infiltrasjonstap gi større kjøleeffekt i hallen. Hadde målingene vært gjennomført på dager med utetemperatur opp mot 15-20 °C og sol, kunne resultatet sett annerledes ut. Temperaturtoppene ville trolig blitt større på grunn av økt eksternt varmetilskudd og at muligheten for kjøling med friskluft ville vært redusert. Dette gitt at det ikke er installert kjølebatteri slik som ved Kolstad Arena.

Et annet interessant resultat var at det ikke ble registrert store temperaturforskjeller mellom sensorene plassert i de ulike høydene. Størst forskjell synliggjøres i figur 5.2 fra

Heimdalshallen, der temperaturen var en halv grad lavere ved «tribune 1m» enn ved taket. Disse forskjellene fremkom som noe overraskende, men skyldes trolig tilstrekkelig omrøring i flerbrukshallen slik at forholdene jevnes ut. Sees det så på Kolstad Arena og Flatåshallen, viser det seg at temperaturen ved tak og avtrekk faktisk har vært lavere enn i oppholdssonen. Dette er noe vanskelig å forklare og er motstridende med teori om sjiktdannelser. En mulig forklaring kan være at måleavviket på sensorene har gjort utslag på resultatene, og derfor fremkommer de slik de gjør. Det påpekes likevel at resultatene fra alle flerbrukshallene viser kun til små variasjoner mellom de ulike målepunktene. Dette tyder på at temperaturfordelingen rundt om i hallene var like.

Fra litteraturstudiet ble det funnet at temperatur er en inneklimateparameter som gjengir de termiske forholdene svært godt. I tillegg kan temperaturen ha betydning for oppfattet luftkvalitet, der kjølig luft vil kunne føles friskere. For best å ha kontroll på de termiske forholdene i en flerbrukshall vil behovsstyrt regulering etter målt temperatur være den mest nærliggende parameter å benytte. I veilederen om «Behovsstyrt ventilasjon, DCV» utgitt av SINTEF, påpeker de at dagens temperatursensorer har lav investeringskostnad og lang levetid. Dette er gunstig med tanke på utplassering av flere sensorer for å ha kontroll over punkter i hallen. Temperatur er også en parameter som gjengir de faktiske forhold med høy nøyaktighet og uten store måleavvik, sammenlignet med de andre parametrene.

6.2 Relativ fuktighet

Relativ fuktighet i flerbrukshallene har vist antydninger til å endre seg uavhengig av hvordan bruken og personbelastningen varierer. Fra resultatene i figurer 5.3, 5.7 og 5.12 fremkommer det kun noen få tegn til endringer i relativ fuktighet ved økt personbelastning. Ellers varierer nivået helt uavhengig av aktivitet i hallen. Dette vil være lite gunstig om relativ fuktighet skal kunne benyttes som en styringsparameter for behovsstyrt ventilasjon. Det er spesielt ukedagene som skiller seg ut ved at den relative fuktigheten kan reduseres selv under økt personbelastning i hallen. Målte verdier var aldri over 40% i RF og lå dermed innenfor øvre anbefalte verdier for relativ fuktighet på vinterstid, slik det er oppgitt i Veiledning 444. Forskjellen i målt relativ fuktighet i de ulike målepunktene var små. Dette underbygger mistanken om veldig jevne forhold i flerbrukshallene.

Resultatene som fremkommer er forskjellig fra det bacheloroppgaven om behovsstyrt ventilasjon i spinningrom fant ut. I den oppgaven ble det konkludert med at relativ fuktighet,

temperatur og derav entalpi var de beste parametrene for luftmengderegulering. En av forklaringene til denne forskjellen kan skyldes de ulike romtypenes areal, volum og persontetthet. Det vil for en flerbrukshall ofte kunne være et færre antall aktive personer sammenlignet med et spinningrom. Men hallen kan ha et volum som er langt over ti ganger så stort. Ved høy belastning i en spinningssal vil alle personene være aktive og produsere fukt. Sammenlignes dette med en flerbrukshall under høy belastning vil det fremdeles være omtrent det samme antallet aktive personer. Resterende vil være tilskuere som holder en mye lavere metabolsk rate og fuktproduksjon. Gjennomsnittlig intensitet og generert fukt vil derfor ligge mye lavere per person i en flerbrukshall. Disse punktene gjør at flerbrukshallen utgjør et langt tregere system for endringer i relativ fuktighet.

Et interessant funn er at relativ fuktighet fremkommer som en parameter som henger tett sammen med fuktmengden i uteluften. I hvertfall sett opp mot forsøkene gjennomført i uke 10, 11 og 12. Sees det så på resultatene presentert i figur 5.13 og i vedlegg B figur B.8 og B.9, fremkommer det at endringene i relativ fuktighet innendørs følger de samme trendene som for absolutt fuktighet utendørs. Dette betyr at målt nivå innendørs er mye påvirket av endringer utendørs. Så selv om personbelastningen øker er det tilfeller hvor målt relativ fuktighet innendørs synker. Dette vanskeliggjør muligheten for å bruke relativ fuktighet som styringsparameter for behovsstyrt ventilasjon. Det må i såfall være et styresystem som kompenserer for endringene utendørs. Likevel skjer endringene så tregt at systemet vil bruke lang tid på å registrere økt belastning i hallen. Det må nevnes at målingene bare foregikk over en uke i hver av hallene, men tendensen er den samme i alle forsøkene.

6.3 CO₂

CO₂ har vist seg å være den parameteren som endrer seg mest i takt med endring i personbelastning. Dette skyldes at mengden produsert CO₂ i en flerbrukshall kommer direkte fra personene. Sammenlignet med temperatur og relativ fuktighet utendørs, er konsentrasjonen av CO₂ i friluft en stabil parameter. Dette gjør så ventilasjonssystemet ikke nødvendigvis trenger å ta hensyn til og kompensere for store variasjoner i uteluften. I rapporten fra Klima- og forurensingsdirektoratet ble det oppgitt at normal forskjell mellom sommer- og vinterhalvåret ligger mellom 25-30 ppm. Dette utgjør kun noen få prosent av de normale verdiene som registreres innendørs. I NS 15251 påpekes det likevel at differansestyring kan benyttes slik at luftmengden reguleres direkte etter forskjellen i CO₂-konsentrasjon inne- og utendørs.

Som nevnt i resutlater fremkommer det at de høyeste CO₂-konsentrasjonene ble målt i helgene og at dette henger tett sammen med kampaktivitet og en større mengde tilskuere. På ukedagene derimot var CO₂-nivået en god del lavere og fulgte de samme trendene de ukedagene det var likt aktivitetsnivå. Det ble aldri målt verdier som oversteg den anbefalte normen oppgitt i Veiledning 444, som er på 1000 ppm. Et resultat som gikk igjen for alle hallene var at forskjellene i CO₂-konsentrasjon i de ulike målepunktene var svært små. Dette korresponderer bra med det som ble funnet for temperatur og relativ fuktighet.

Fra forsøkene i flerbrukshallene var det CO₂ som økte mest i forhold til de ulike parametrenes normale verdier. Det var derfor trolig denne parameteren som var styrende og ga signal om økt luftmengde når dette trengtes. Selv om CO₂-konsentrasjonen i seg selv ikke ikke bidrar til et dårlig inn klima, er det som forklart i publikasjonen fra SINTEF om behovsstyrt ventilasjon, en god parameter å benytte for å få en indikasjon på luftkvaliteten. Som tidligere nevnt er en av fordelene med CO₂-senserer at disse kan inneha funksjoner for selvkalibrering. SINTEF anbefaler videre i samme publikasjon å benytte vedlikeholdsfrie eller selvkalibrerende CO₂-senserer for å unngå store vedlikeholdskostnader.

6.4 Partikler

Når det kommer til måling av partikkelkonsentrasjon i flerbrukshallene, underbygger resultatene fra forsøkene mye av det som ble funnet i litteraturstudiet. Det er vanskelig å se en sammenheng mellom målt partikkelkonsentrasjonen og økt personbelastning. Ved alle hallene lå konsentrasjonen langt under øvre grense som er oppgitt av Folkehelseinstituttet og WHO for PM_{2.5} og PM₁₀. Selv i Flatåshallen under høy personbelastning ble det ikke registrert noen form for økt konsentrasjon under målingene. Disse observasjonene stemmer overens med studiet utført av Harrison m.fl., som viste til at mengden genererte partikler innendørs er av liten betydning under generell aktivitet.

Folkehelseinstituttet skriver i sin rapport om «Anbefalte faglige normer for inn klima» fra 2015, at svevestøv utendørs ofte er en betydelig kilde til målt konsentrasjon innendørs. Dette gjelder særlig i områder som er nært plassert trafikkerte veier og fyringsanlegg. Det vil være mulig å redusere partikkelkonsentrasjonen ved hjelp av et finfilter plassert i ventilasjonsaggregatene. Likevel er dette skjelden nødvendig å benytte. Grunnet få måleinstrument ble det ikke foretatt partikkelmålinger utendørs. Det kunne vært interessant å sammenligne trendene mellom inne- og utekonsentrasjonen, og sett om disse

målte samme verdier. Mye tilsier at dette ville vært tilfelle.

Målt partikkelkonsentrasjon vil også kunne være påvirket av rengjøringsrutiner. Det at støv og partikler fra aktiviteter i hallen ikke samles opp, men blir tilstrekkelig fjernet vil bidra å holde konsentrasjonen nede. Eksakte rutiner for renhold ble ikke ettespurt, men det ble observert vasking av gulvflate samtidig som forsøkene pågikk.

Et lite punkt som må nevnes er at det stilles spørsmål ved kvaliteten og nøyaktigheten på måleinstrumentet benyttet for logging av partikler. Artikkelen som evaluerte «Alphasense OPC-N2», påpeker at sensorene er av den billige typen og kan påvirkes av den relative fuktigheten i luften. Dette særlig hvis luften innehar høy fuktighet. Det var som kjent ikke tilfelle under målingene i flerbrukshallene. Til slutt i artikkelen konkluderes det med at sensorene gir sannferdige verdier, gitt at de er kalibrert og kun skal benyttes til kartlegging. Som tidligere nevnt i kapittel 4.2.1 var tidspunkt for siste utførte kalibrering ukjent, så derfor er dette en mulig feilkilde. [37]

6.5 Sensorplassering og styring

Etter gjennomførte forsøk tyder resultatene på at forholdene i flerbrukshallene er ganske homogene. Dette gjelder både for hallene med lufttilførsel ved tak og for Kolstad Arena som i tillegg har tilluftsventiler plassert nede ved hallflaten. Det kan gi uttrykk for at sensorplasseringen ved ulike strømningsbilder vil kunne være av mindre betydning og at det er muligheter for å benytte samme plasseringsstrategi. Tydelige sjiktdannelser i hallene ble heller ikke registrert ut fra gjennomførte målinger. Her var kun små ulikheter som fremkom. Likevel kan det sees antydninger til at endringene i hallene oppdages noe senere for sensorene plassert i taket. Dette skyldes trolig tiden det tar før forurensningen fra personene stiger opp. Det påpekes samtidig at forsøkene ble gjennomført kun over én uke i hver av hallene, så logging under andre forhold kunne gitt andre resultater.

Som nevnt i innledningen i oppgaven er behovsstyrt ventilasjon hovedsakelig til for å sikre god luftkvalitet og termiske forhold for de som oppholder seg i hallen. For å kunne holde styringsparametrene innenfor sine anbefalte verdier, vil det derfor være hensiktsmessig å plassere sensorene i oppholdssonen, da det er i denne høyden folk puster og oppholder seg. Noe det må tas hensyn til ved plassering i oppholdssonen er forstyrrelser som kan ødelegge for målingene. Dette gjelder særlig området i nær tilknytning til varmekilder, frisklufttilførsel, personer og andre kilder som kan føre til feilregistreringer av inneklimate.

Dette ble erfart under gjennomførte forsøk da noen av sensorene i oppholdssonen viste tegn til unaturlige endringer. Disse endringen skyldes trolig påvirkninger fra personer som kom tett på måleutstyret. Det bør derfor være et system som hindrer aggregatet fra å regulere på feilsignaler. Dette vil også spare komponentene for slitasje. Løsningen kan være å legge inn forsinkelser på signal fra sensor slik det er løst i Kolstad Arena, eller at to av sensorene i hallen må fange opp den samme økningen før luftmengden økes.

Det er viktig å presisere at det ikke bare er sensorens plassering som er av betydning for pådraget til levert luftmengde. Programmerte reguleringskurver vil også bestemme ved hvilke målte nivåer og hvor mye luft ventilasjonsaggregatet skal øke med. Disse reguleringsfunksjonene kan være tilpasset for aktuell sensorplassering. Nivåene for økt luftmengde kan variere mellom de ulike flerbrukshallene. I Kolstad Arena ble ikke luftmengden økt før CO₂-konsentrasjonen nådde 600ppm. For andre flerbrukshaller kan dette nivået være satt til andre verdier. Disse nivåene vil det være mulig å endre på slik at anlegget kan kjøres inn og dermed reguleres innenfor de ønskede verdier.

6.6 Løsninger i flerbrukshallene

Heimdalshallen

I Heimdalshallen ble luftmengden hovedsakelig styrt etter en tidsinnstilt plan. Denne var satt etter planlagt aktivitet i hallen. I tillegg registrerte en sensor plassert på den ene kortsiden hvilke temperatur- og CO₂-nivåer det var i hallen. Dagens styring viste at ventilasjonsaggregatet leverte tilstrekkelig mengde luft i hallen. Ingen av de utplasserte måleinstrumentene klarte å fange opp tegn til områder hvor luftkvaliteten eller de termiske forholdene var for dårlige. Resultatene viste også til jevne forhold rundt om i hallen. Dette kan være en indikasjon på at strømningsbildet i hallen skaper nok omrøring av luften.

Et scenario som kanskje ville gitt større forskjeller, er om skilleveggene hadde stått nede over lengre tid med høy personbelastning. Dette ble ikke gjort under forsøket da aktiviteten i hallen skulle foregå som normalt. Optimalt for Heimdalshallen ville kanskje vært å ha enda en sensor plassert på den andre kortsiden, slik at ventilasjonssystemet får kontroll på begge sidene av hallen. Anlegget ville da også kunne sammenlignet målte verdier opp mot hverandre for å validere at sensorene måler omtrent det samme.

Kolstad Arena

Dagens forhold med antallet sensorer og plassering i Kolstad Arena fremkommer som en veldig god løsning for behovsstyrt ventilasjon i flerbrukshaller av denne størrelsesorden. Som vist i figur 3.3 er det plassert tre sensorer på hver av langsiden og en på hver av kortsidene i oppholdssonen rundt hallflaten. Dette gjør at inneklimate i hallen er under oppsyn rundt hele banen, selv når hallflaten er inndelt i tre spilleflater med skillevegger. Det at sensorene registrerer temperatur og CO₂ er optimalt med hensyn på resultatene og hvilke styringsparametre som har vist seg å være ønskelige å regulere etter.

En observasjon under forsøket i Kolstad Arena var at levert luftmengde ofte var på 8000m³/h på hverdagene. Dette tilsvarte den laveste mengden systemet kunne levere. Som nevnt, økte ikke luftmengden før CO₂-nivået passerte 600 ppm eller temperaturen endret seg utenfor sine angitte verdier. Hallen er oppgitt til å ha et grunnflateareal på 3940 m³ og minimum luftmengde for “byggverk for publikum og arbeidsbygninger” fra TEK17 er satt til 2,5 m³/h ved bruk. Dette utgjør en luftmengde på 9850m³/h for materialbelastning. Når det i tillegg er normal personbelastning i hallen, vil total dimensjonert luftmengde etter TEK17 sine krav ligge en god del høyere enn 8000m³/h. Likevel viser resultatene fra de ulike parametrene at forholdene i Kolstad Arena har vært gode selv ved mindre luftmengder. Dette kan tyde på at levert luftmengde i store flerbrukshaller klarer å holde inneklimateparametrene nede selv om luftmengden bare i teorien dekker materialbelastningen. Grunnen til dette kan skyldes at antallet kvm/person er mye større for en flerbrukshall sammenlignet med et kontorbygg. Dermed vil grunnventilasjonen være så stor at luftkvaliteten styrt etter CO₂ vil være innenfor tilfredsstillende verdier, selv når summen av personbelastning og grunnventilasjon egentlig skulle tilsa at det trenges en større luftmengde.

Flatåshallen

Aggregatet i Flatåshallen leverer stort sett den samme luftmengden døgnet rundt, men varierer i mengden friskluft som blandes inn. Dette virker som en god løsning, da energibehovet for oppvarming av uteluft vil reduseres. Men til gjengjeld går tilluftsviften gjennom hele døgnet. Sensorene i Flatåshallen er som nevnt plassert på langsiden under tribune i hallen. Disse to registrerer temperatur og CO₂ slik som i de andre hallene. Sensorene er plassert noe ut på sidene slik at de unngår forstyrrelser fra personer ved innbytterbenken. Resultatene fra CO₂-målingene viste at Flatåshallen jevnt over hadde den høyeste kon-

sentrasjonen, men dette skyldes trolig reguleringsfunksjonene og ved hvilke målte verdier mengden friskluft skulle økes. Fra figur A.3 i vedlegg A, kan det sees at friskluftmengden har vært lav gjennom uka, og at potensialet for økt frisklufttilførsel absolutt er til stede.

Det er ikke plassert sensorer i tilknytning til tribunen over selve spilleflaten i Flatåshallen, noe som gjør så avstanden til nærmeste sensor blir et stykke unna. Under høy personbelastning vil tribunen trolig være det området hvor forurensningsmengden er størst. Dette kan underbygges fra resultatene som viste til noe høyere verdier ved taket enn nede ved hallflaten. En løsning kan være at ventilasjonssystemet i tillegg har en sensor plassert i avtrekket eller på avtrekksiden i aggregatet som måler temperatur og CO₂. Avtrekket står i taket like ved tribunen og vil oppdage om temperaturen eller CO₂-konsentrasjonen overstiger sine nivåer.

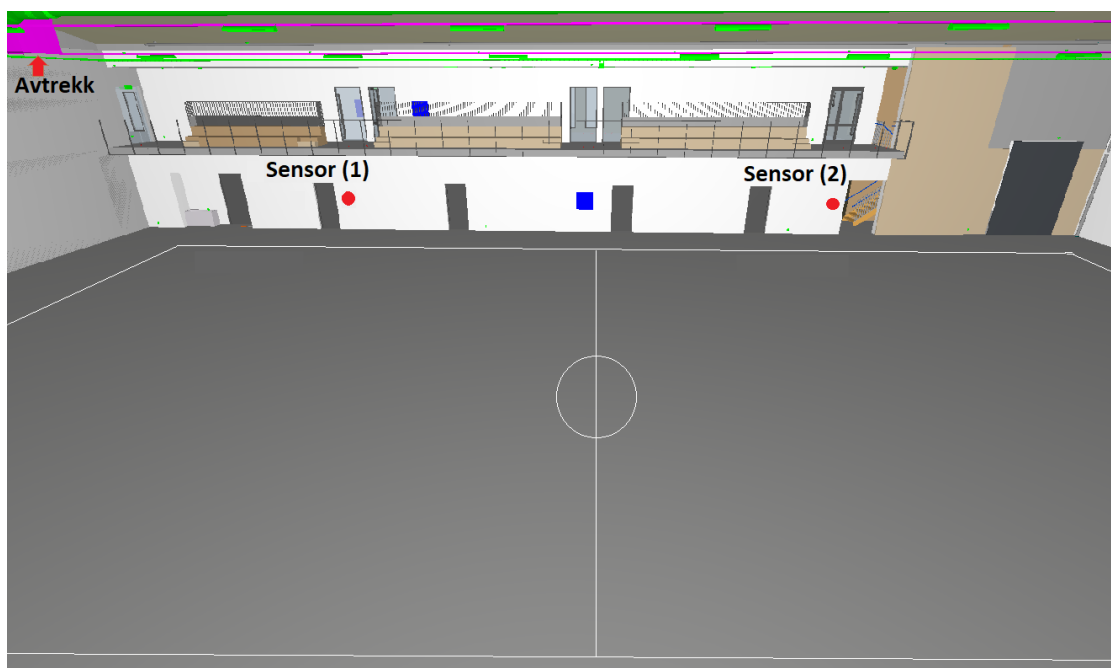
Generelt for flerbrukshaller

Generelt for en flerbrukshall vil det ut fra resultatene være naturlig å regulere luftmengden etter parametrene temperatur og CO₂. Disse viser tydeligst de endringer som fremkommer ved økt personbelastning, og utfyller hverandre godt ved at de sammen dekker de termiske forholdene og i tillegg gir et mål på luftkvaliteten. Det finnes også gode standarder og veiledere som NS-15251 og Veiledning 444 som anbefaler konkrete verdier som det er ønskelig å ligge innenfor.

For en flerbrukshall i størrelsesorden tilsvarende Heimdalshallen og Flatåshallen, vil det være fordelaktig plassere minimum to sensorer i selve hallen. Ut i fra resultatene tyder mye på at ventilasjonssystemet vil ha god kontroll på forholdene om det plasseres en sensor på vegg framfor hver av banehalvdelene langs den ene langsiden. Da vil sensorene også dekke hver sin del av hallen om skilleveggene står nede. I tillegg gir dette mulighet for å sammenligne verdiene og oppdage om den ene sensoren viser unormale verdier. Denne løsningen er veldig lik dagens sensorplassering som benyttes i Flatåshallen. Tenkt sensorplassering er fremvist i figur 6.1. I flerbrukshaller med tribunen høyere opp en spilleflaten foreslås det også å ha en sensor som registrerer forholdene ved avtrekket. Dette gitt at avtrekkspunktet er plassert ved tak. Hensikten er å avdekke om forholdene er dårligere i de øvre sonene, slik at tilskuerene ikke opplever dårligere luftkvalitet.

En av utfordringene som kan oppstå ved å ha sensorene plassert på langsiden er forstyrrelser fra aktivitet på sidelinjen. Dette spesielt for flerbrukshaller med én håndballflate. Innbyttere, trenere og sekretariat står ofte fra midten av banen og noe utover langsiden.

Derfor må sensorene være plassert i tilstrekkelig avstand unna innbytterbenken slik at sensorene unngår å måle for høye verdier.



Figur 6.1: Forlag til sensorplassering i flerbrukshaller med en håndballflate. Figur kommer fra 3D-modell av Flatåshallen.

For flerbrukshaller på størrelse med Kolstad Arena sees det på som fornuftig å ha noen flere sensorer. Det vil fortsatt være ønskelig å plassere dem i oppholdssonen rundt spilleflaten, men grunnet mye større areal og skillevegger mellom hallflatene vil ikke sensorene kunne stå på langsiden for alle tre banene. Tidligere figur 3.3 viser hvordan sensorene er plassert rundt langs veggene i Kolstad Arena. Denne løsningen tyder på at fungerer godt og vil gjengi forholdene rundt i hallen. Resultatene fra forsøket viste til homogene forhold både i oppholdssone og i høydene, noe som peker på at sensorene RM02 og RM06 på figur 3.3 kanskje er overflødige. Mye indikerer at en sensor på hver av kortsidene ved hver hallflate er nok. Dette vil også dekke begge sider av alle hallflatene selv om skilleveggene står nede.

Forskjellige utforminger av flerbrukshallene vil kunne variere fra bygg til bygg. Det vil derfor være tilfeller der hvor foreslått sensorpassering ikke vil være praktisk mulig å utføre. Derfor bør det alltid gjøres vurderinger for hver enkelt hall hvor sensorene skal plasseres.

Det som også alltid er viktig å tenke på er strømningsbildet i hallen. Som W.K. Chow m.fl. konkluderte med i sin artikkel, behøver ikke en større levert luftmengde nødvendigvis føre til en forbedring i luftkvalitet i alle soner. Det at luften blir fordelt slik den er tiltenkt

vil være sentralt. Er en sensor plassert i en sone hvor luften skiftes saktere ut kan føre til at ventilasjonsaggregatet levere en stor luftmengde, selv om luftkvaliteten egentlig er god nok andre steder i flerbrukshallen. Dette vil kunne resultere i overventilering og dermed økt energibruk. Disse punktene underbygger forslaget om at minimum to sensorer bør plasseres i flerbrukshallen, da slike forskjeller enklere vil kunne fanges opp ved at målte verdier i hallen kan sammenlignes.

7

Konklusjon

Fra gjennomførte forsøk i flerbrukshallene og av litteraturstudie fremkom det at temperatur og CO₂ er de styringsparametrene som tydeligst har en sammenheng med personbelastningen. Målte verdier viser at disse reagerer i samsvar med belastningsendringene. CO₂ er den parameteren som påvirkes raskest, samtidig som temperatur fremkommer som en langt tregere, men mer stabil styringsparameter. En fordel med å kombinere temperatur og CO₂ opp mot behovsstyrt ventilasjon er at systemet da har kontroll på både luftkvaliteten og de termiske forholdene. Denne sensorløsningen var valgt ved alle tre forsøkshallene.

Relativ fuktighet i flerbrukshallene har vist seg å være påvirket av endringer i absolutt luftfuktighet utendørs. Registrerte verdier behøver ikke etterfølge de endringer som er for personbelastningen i hallen. Dette fremkommer tydeligst under liten til normal belastning, samtidig som uteforholdene varierer.

Heller ikke partikler viser klare tegn til sammenheng med personbelastningen. Det meste av gjennomgått litteratur underbygger dette, og påpeker at målt partikkelkonsentrasjon hovedsakelig vil avhenge av utekonsentrasjonen. Resultatene viser at nivået for PM_{2.5} og PM₁₀ ligger langt innenfor anbefalte maksimalgrenser.

Litteraturstudie på strømminger i store rom avdekket mange faktorer som er av betydning for strømningsbildet. Både faste påvirkninger som tilluft- og avtrekks plassering, men også varierende endringer som tilført luftmengde og inndeling av hall med skillevegger vil ha innvirkning. Luftfordelingen bør derfor sees på og vurderes individuelt for hver enkelt flerbrukshall.

Med bakgrunn fra forsøkene og litteratur, tilsier mye at sensorene bør plasseres i oppholdssonen langs hallflaten. Dette vil gjengi de faktiske forholdene i flerbrukshallen. En kombinert temperatur- og CO₂-sensor plassert foran hver banehalvdel langs den ene langsiden i hallen vil være å anbefale. Disse vil oppdage eventuelle forskjeller i flerbrukshallen om belastningen og aktivitetsnivået er ulikt. For flerbrukshaller med tribune høyt over hallflaten, ansees det som aktuelt med en ekstra sensor plassert i avtrekket.

8

Videre arbeid

Anbefalinger til videre arbeid vil være å gjøre målinger i flerbrukshallene med sporgass. Dette vil kunne påvise om det er områder hvor luften faktisk skiftes ut tregere. Spesielt det å studere hva det har å si for luftfordelingen i flerbrukshallen når skilleveggene varierer mellom å være nede og heiset opp, ville vært interessant.

Noe annet det også kunne også blitt sett nærmere på var VOC-sensorer, og om disse kan benyttes mot behovsstyrt ventilasjon i flerbrukshaller. Målinger av VOC ble som kjent ikke testet under forsøkene i flerbrukshallene. Det kan være at VOC-sensorene vil gi et mer presist mål på luftkvaliteten, og at andre stoffer tilknyttet aktivitet i hallen vil fungere bedre enn CO₂ som styringsparameter for regulering av nødvendig luftmengde.

Gjennomførte forsøk i flerbrukshallene foregikk over en uke. Logging av forholdene over en enda lengre tidsperiode vil kunne være relevant for å se om det fremkommer sesongvariasjoner gjennom året. Da ville man også vært sikker på at de største belastningstoppene ble dekket, og om resultatene fremdeles antyder det samme. Oppgaven kan også videreføres over til svømmehaller eller ishaller der omstendighetene og kravet til inneklimate vil være ulikt fra flerbrukshaller.

Bibliografi

- [1] Senter for Idrettsanlegg og teknologi, “Passivhusstandard for idrettshall,” 2017. [Online]. Available: https://www.godeidrettsanlegg.no/system/files/sites/default/files/Annleggstype/Idrettshaller/Om_idrettshaller/Passivhusstandard-for-idrettshall.pdf
- [2] Direktoratet for byggkvalitet, “Byggteknisk forskrift (TEK17),” 2017. [Online]. Available: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/>
- [3] M. Mysen and P. G. Schild, *Behovsstyrt ventilasjon, DCV -krav og overlevering*. SINTEF akademisk forlag, 2013.
- [4] M. Arnesano, G. Revel, and F. Seri, “A tool for the optimal sensor placement to optimize temperature monitoring in large sports spaces,” *Elsevier B.V.*, vol. 68, pp. 223–234, 2016.
- [5] B. Ainsworth, W. L. Haskell, M. Whitt-Glover, M. L. Irwin, A. Swartz, S. Strath, W. L. O’Brien, D. Bassett, K. Schmitz, P. O. Emplaincourt, J. Jacobs D.R., and A. Leon, “Compendium of physical activities: an update of activity codes and met intensities,” *Medicine and science in sports and exercise*, vol. 32, pp. 498–504, 2000.
- [6] V. Novakovic, S. O. Hansen, J. V. Thue, I. Wangensteen, and F. O. Gjerstad, *Energy management in buildings*. Gyldendal Norsk, 2007, no. 3. utgave.
- [7] Kultur og Kirke departementet, “Veileder, flerbrukshaller,” 2017. [Online]. Available: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kkd/idrett/flerbruk_web.2005pdf.pdf
- [8] Arbeidstilsynet, “Veiledning om Klima og luftkvalitet på arbeidsplassen,” 2016.
- [9] Standard Norge, “NS-EN-ISO-7726, Ergonomi for termisk miljø, Instrumenter for måling av fysiske størrelser,” 2001.

- [10] Standard Norge, “NS-EN-ISO-7730, Ergonomi i termisk miljø, Analytisk bestemmelse og tolkning av termisk velbefinnende ved kalkulering av PMV- og PPD-indreks og lokal termisk komfort,” 2006.
- [11] Standard Norge, “NS-EN-15251, Inneklimaparametere for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk,” 2014.
- [12] H. B. Awbi, *Ventilation of buildings*. Tylor and Francis, London, 2003, no. 1.
- [13] S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk, del 1*. Skarland Press AS, 2016, no. 3. utgave.
- [14] P. V. Nielsen, “Velocity distribution in a room ventilated by displacement ventilation and wall-mounted air terminal devices,” *Energy and building*, vol. 31, pp. 179–187, 2000.
- [15] D. Etheridge and M. Sandberg, *Building ventilation, Theory and Measurement*. John Wiley & Sons, Inc, 1996, no. 1.
- [16] R. K. Calay, B. A. Børresen, and A. E. Holdø, “Selective ventilation in large enclosures,” *Energy and Buildings*, vol. 32, pp. 281–289, 2000.
- [17] W.K.Chow, L.T.Wong, and W.Y.Fung, “Field measurement of the air flow characteristics of big mechanically ventilated spaces,” *Building and Environment*, vol. 31, pp. 541–550, 1996.
- [18] E. Skåret, *Ventilasjonsteknisk håndbok*. Norges byggforskningsinstitutt, 2000, no. 1.
- [19] H. E. Hansen, P. Kjerulf-Jensen, and O. B. Stampe, *Varme og klimateknik, Grundbog*. Danvak ApS, 1997, no. 2. utgave.
- [20] S. Mazumdar, Y. Yin, A. Guity, P. Marmion, B. Gulick, and Q. Chen, *Impact of Moving Objects on Contaminant Concentration Distributions in an Inpatient Ward with Displacement Ventilation*. HVAC&R Research, 2010, vol. 16.
- [21] Kulturdepartementet, “Veileder, Idrettshaller - Planlegging og bygging,” 2016.
- [22] S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk, del 2*. Skarland Press AS, 2016, no. 1. utgave.
- [23] Klima- og forurensningsdirektoratet, *Monitoring of greenhouse gases and aerosols at Svalbard and Birkenes*. Norsk institutt for luftforskning, Annual report 2016.

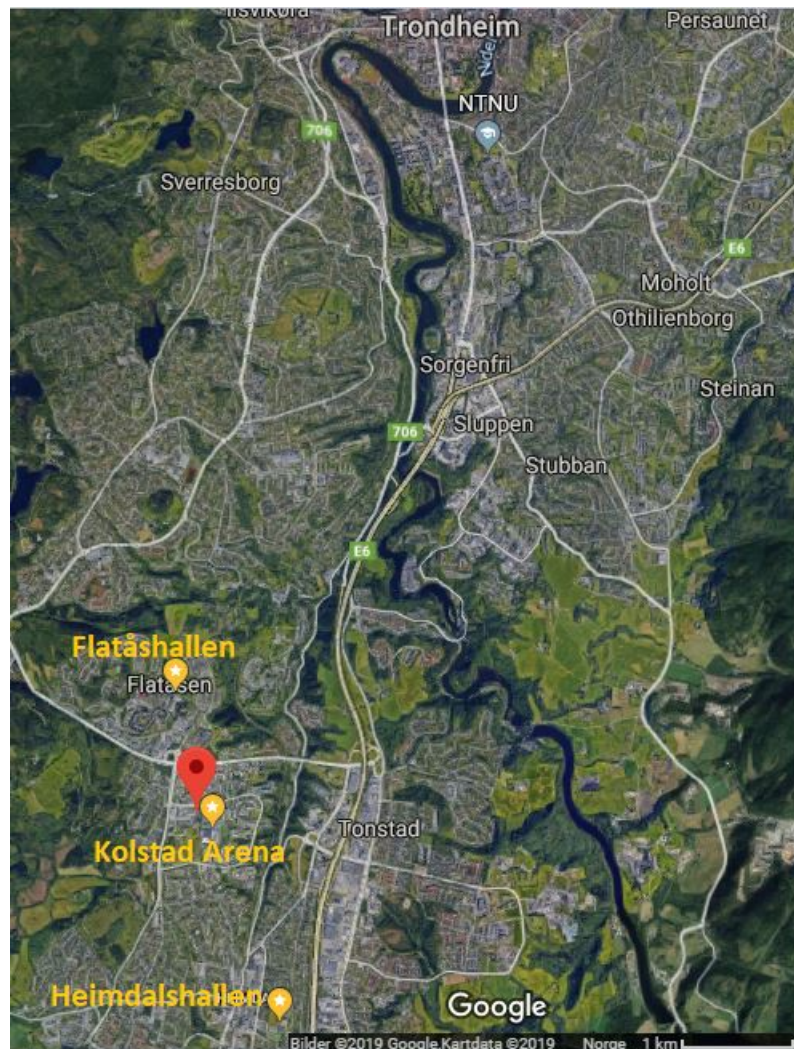
- [24] G. L. Tveit and J. V. Jevard, “Karbondioksid, temperatur og relativ fuktighet som dimensjonerende inneklimateparametere for luftutskiftning i spinningrom,” *Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet*, pp. 31–47, 2018.
- [25] M. Woloszyn, T. Kalamees, M. O. Abadie, M. Steeman, and A. S. Kalagasidis, “The effect of combining a relative-humidity-sensitive ventilation system with the moisture-buffering capacity of materials on indoor climate and energy efficiency of buildings,” *Building and Environment*, vol. 44, pp. 515–524, 2009.
- [26] Engineering ToolBox, “Mollier Diagram,” 2003. [Online]. Available: https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html
- [27] Folkeheleseinstituttet, *Anbefalte faglige normer for inneklimate*. Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2015.
- [28] N. C. Jones, C. A. Thornton, D. Mark, and R. M. Harrison, “Indoor/outdoor relationships of particulate matter in domestic homes with roadside, urban and rural locations,” *Atmospheric Environment*, vol. 34, pp. 2603–2612, 1999.
- [29] World Health Organization, *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. World Health Organization, 2005.
- [30] Miljødirektoratet, “Oljedamp (VOC),” 2018. [Online]. Available: <http://www.miljodirektoratet.no/no/Tema/Luft/VOC>
- [31] M. Phillip, J. Herrera, S. Krishnan, M. Zain, J. Greenberg, and R. N. Cataneo, “Variation in volatile organic compounds in the breath of normal humans,” *Journal of Chromatography B*, pp. 75–88, 1999.
- [32] S. Herberger, M. Herold, H. Ulmer, A. Burdack-Freitag, and F. Mayer, “Detection of human effluents by a mos gas sensor in correlation to voc quantification by gc/ms,” *Building and Environment*, vol. 45, pp. 2430–2439, 2010.
- [33] C. N. Hansen, V. Riiser, and M. A. Sødermann, “Dimensjonering av ventilasjonssystemer i idrettshaller,” *Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet*, pp. 76–93, 2016.
- [34] HIST (2. & 3. klasse VVS) og SIAT, *Befaring og analyse av Heimdalshallen*. [Upublisert], 2014.

-
- [35] Kolstad Arena, “Forside Kolstad Arena,” 2018. [Online]. Available: <https://www.kolstadarena.no/>
- [36] Bygg.no, “Norges første ferdigstilte prosjekt med BVP-metoden er åpnet,” 2018. [Online]. Available: <http://www.bygg.no/article/1371540>
- [37] L. R. Kelly, M. Shaw, R. Pound, L. J. Kramer, R. Price, S. Young, A. C. Lewis, and F. D. Pope, “Evaluation of a low-cost optical particle counter (alphasense opc-n2) for ambient air monitoring,” *Atmospheric measurement techniques*, pp. 709–720, 2018.
- [38] Lacar electronics, “Easylog EL-USB-2,” 2019. [Online]. Available: <https://www.lascarelectronics.com/easylog-data-logger-el-usb-2/>
- [39] Alphasense, *OPC-N2 Optical Particle Counter*. User Manual, 2019.
- [40] Elma-instruments, *CA 1510 luftkvalitetsmonitor*. User Manual, 2019.
- [41] Vaisala, “MI70 Measurement indicator,” 2019. [Online]. Available: <https://store.vaisala.com/eu/mi70-measurement-indicator-/MI70K10/dp>

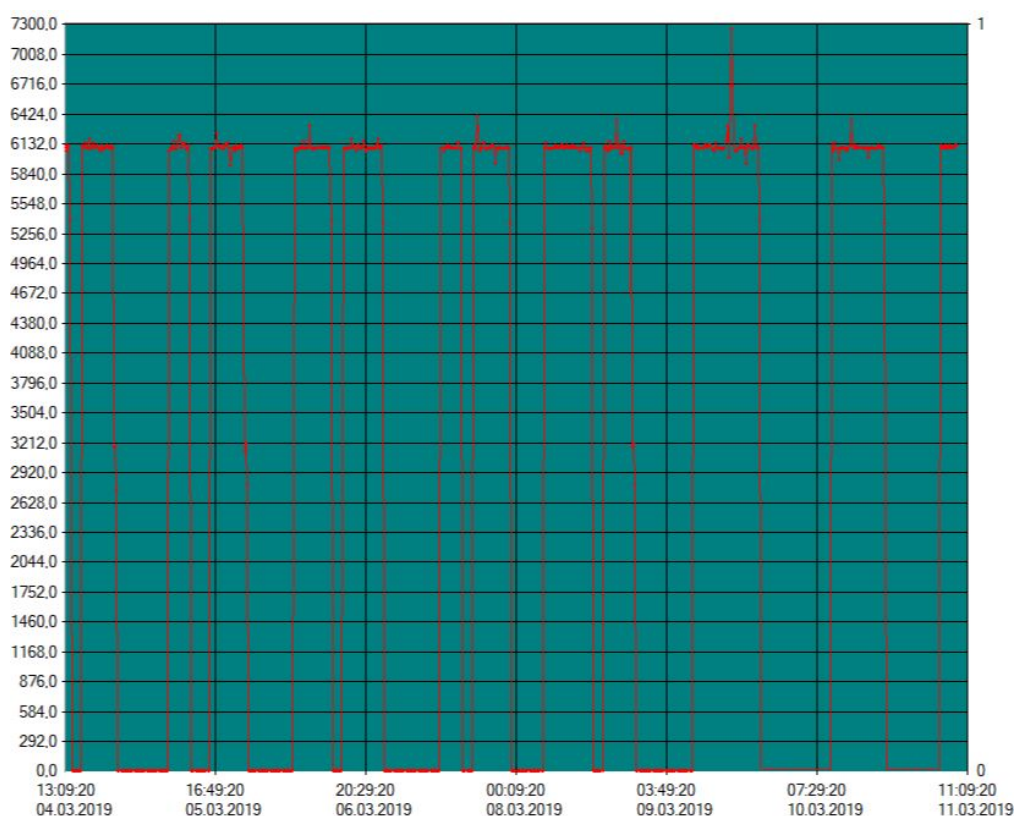
A

Tilleggsinformasjon om hallene

Vedlegg A inkluderer det av informasjon som ikke har blitt presentert i oppgaven, men fremdeles vil være av relevans for leser. Noen av grafene er hentet direkte fra SD-anlegget ved flerbrukshallene og fremkommer med noe dårligere kvalitet.



Figur A.1: Kart over Trondheim der de ulike hallene er markert med navn og tilhørende gult merke. Den røde markeringen viser hvor Saupstad målestasjon er lokalisert. Alle flerbrukshallene ligger sør for NTNU og Trondheim.



Figur A.2: Luftmengder levert i Heimdalshallen under forsøket i uke 10. Graf er hentet direkte ut fra SD-anlegget i hallen. Y-akse mangler benevning, men viser luftmengde i m^3/h .



Figur A.3: Leverte luftmengder i Flatåshallen gjennom forsøksperioden uke 12. Grønn graf er tilluft og blå graf er avtrekk. Grunnet kjøring på omluft varierer avtrekksmengden mye. Y-akse viser luftmengde i m^3/h .

	Mandag 4. mars	Tirsdag 5. mars	Onsdag 6. mars	Torsdag 7. mars	Fredag 8. mars	Lørdag 9. mars	Søndag 10. mars	
0830-0900								
0930-1000								
1030-1100								
1130-1200	Dagtid, noen få gymtimer i løpet av uka							Tiller
1230-1300						HHK J11.2		
1330-1400						HHK G11		
1430-1500						HHK J13	HHK G11 3	
1530-1600								
1600-1630	J2006	J2007	G2006	J2007	J2005			
1630-1700								
1700-1730		J2008/09	G2008/09	J206				
1730-1800	G2007/2008							
1800-1830								
1830-1900	J2005	G2006	J2005	J2004 G2004	Tiller		Tiller	
1900-1930						HHK J13. 2		
1930-2000		J2004		G2002				
2000-2030		G2004	G202					
2030-2100	G2002							
2100-2130		Kvi sr		Kvi sr				
2130-2200			Tiller					
22:30-23:00								

Figur A.4: Heimdalshallen - Banedagbok for aktivitet gjennom uke 10. Det vil mest sannsynlig være noen avvik mellom banedagboken og faktisk aktivitet i hallen.

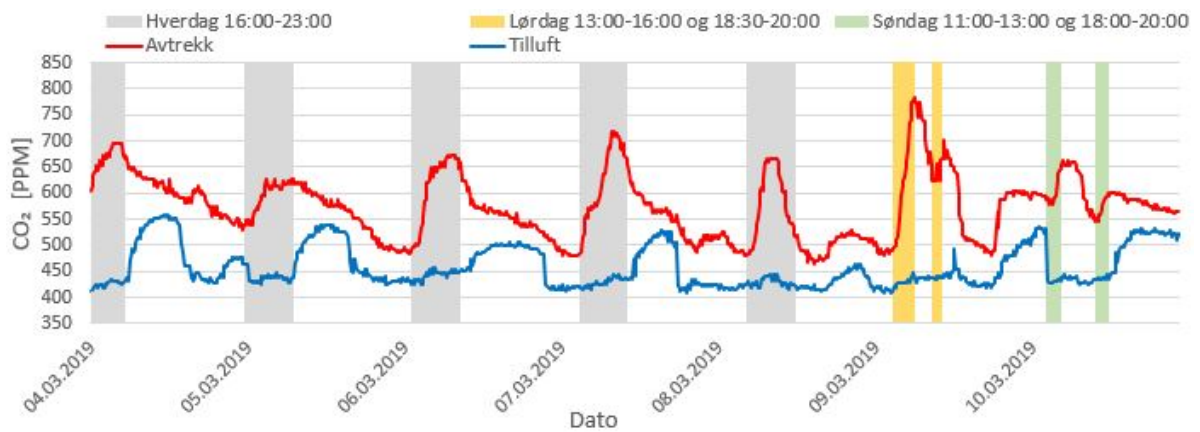
		KOLSTAD ARENA (uke 11)																							
		MANDAG 11.03			TIRSDAG 12.03			ONSDAG 13.03			TORSdag 14.03			FREDAG 15.03			LØRDAG 16.03			SØNDAG 17.03					
		BANE 1	BANE 2	BANE 3	BANE 1	BANE 2	BANE 3	BANE 1	BANE 2	BANE 3	BANE 1	BANE 2	BANE 3	BANE 1	BANE 2	BANE 3	BANE 1	BANE 2	BANE 3	BANE 1	BANE 2	BANE 3			
08:00-08:30																									
0830-0900							HVG						HVG												
0930-1000																									
1030-1100			MØDRE TRIM																						
1130-1200																									
1230-1300																									
1330-1400																									
1430-1500			SFO			Jente prosj							SFO												
1530-1600																									
1600-1630	J07	BYÅSEN	J08	Kolstad fotball	Kolstad fotball	Kolstad fotball		G05			Kolstad Fotball	G05	J07	Byåsen											
1630-1700																									
1700-1730																									
1730-1800	Kattem		Kolstad elite	J/G-09-12	J/G-09-12	Kolstad elite	MINIKAMP	MINIKAMP	Kolstad elite	Ranheim	Ranheim	Kolstad elite	Byåsen	Byåsen	Kolstad elite										
1800-1830		TOBB G03		G02			MINIKAMP	MINIKAMP					Byåsen	Byåsen											
1830-1900	Byåsen							MINIKAMP	MINIKAMP				G02												
1900-1930	Sjetne				Sverresborg	Byåsen	MINIKAMP	MINIKAMP	MINIKAMP																
1930-2000		Posisjon	Tiller				MINIKAMP	MINIKAMP	MINIKAMP		TILLER	TILLER													
2000-2030			J02				MINIKAMP	MINIKAMP	MINIKAMP																
2030-2100	Ranheim		Byåsen			Byåsenstad Fotb																			
2100-2130		G-02	LEDIG		Tiller	Dametaget/10	Ranheim	G18	DBB G	Sjetne															
2130-2200																									

Figur A.5: Kolstad Arena - Banedagbok for aktivitet gjennom uke 11. Det vil mest sannsynlig være noen avvik mellom banedagboken og faktisk aktivitet i hallen.

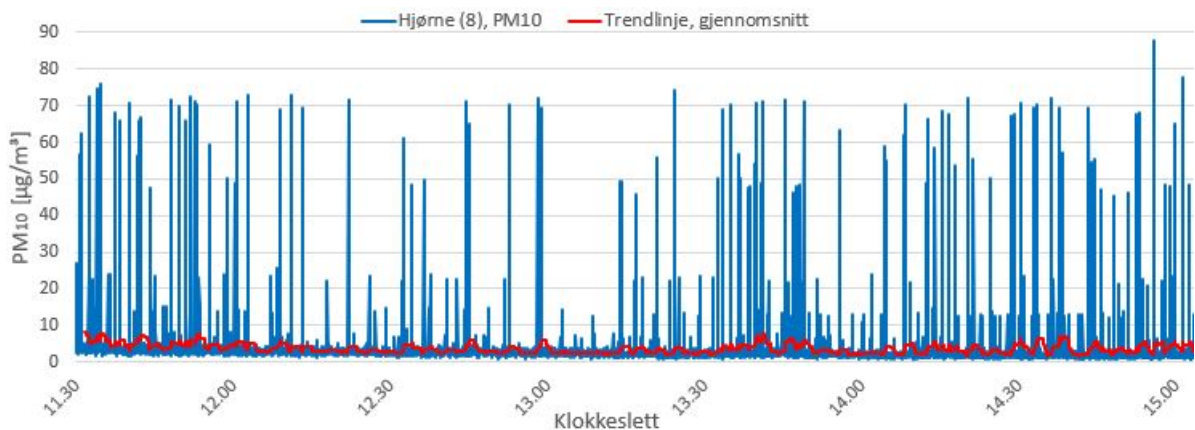
B

Utelatte resultater

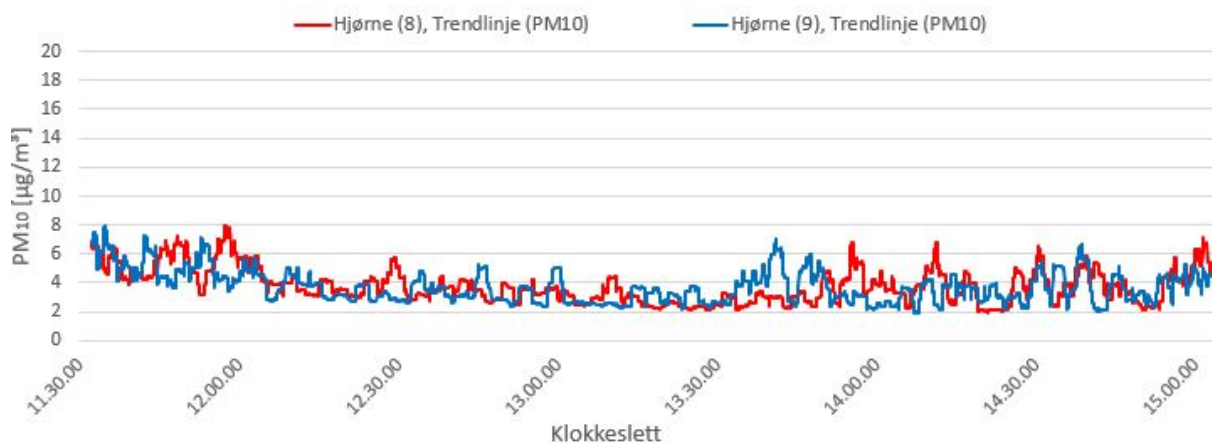
Vedlegg B inkluderer de resultater som ikke er tatt med i oppgaven grunnet mindre relevans, men som likevel kan være av interesse.



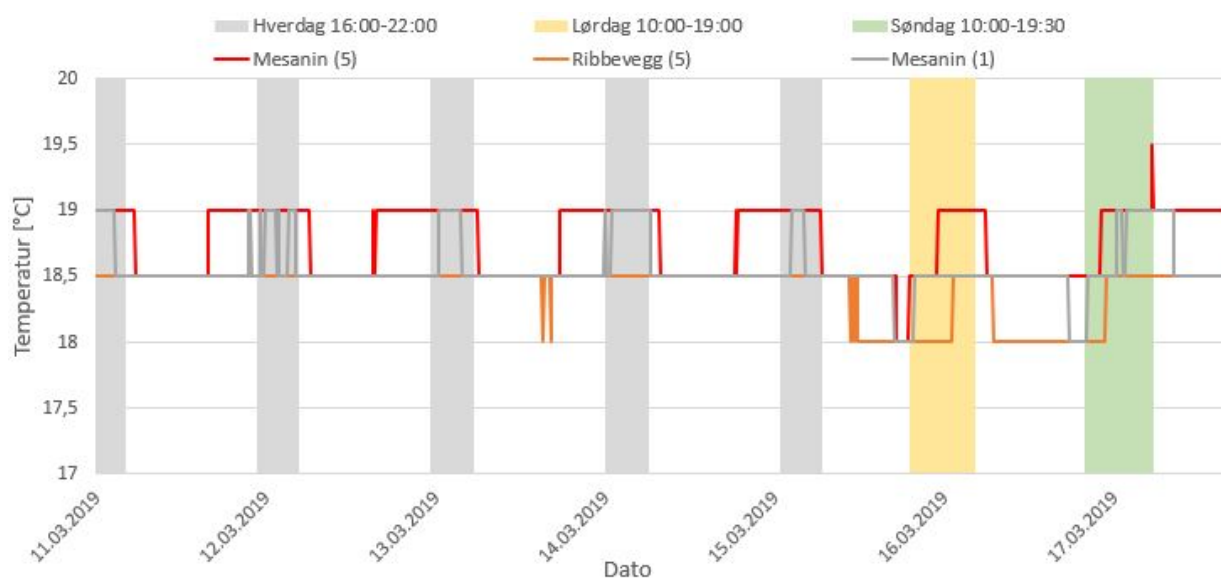
Figur B.1: Heimdalshallen - CO₂-konsentrasjonen for tilluft og avtrekk. De ulike hoppene på kveldstid for tilluft skyldes at aggregatet ble avslått om natten. Utekonstrasjonen har ligget rundt 425 ppm under drift. Sensor var plassert før roterende gjennvinner, så noe overføring fra avtrekk må medregnes.



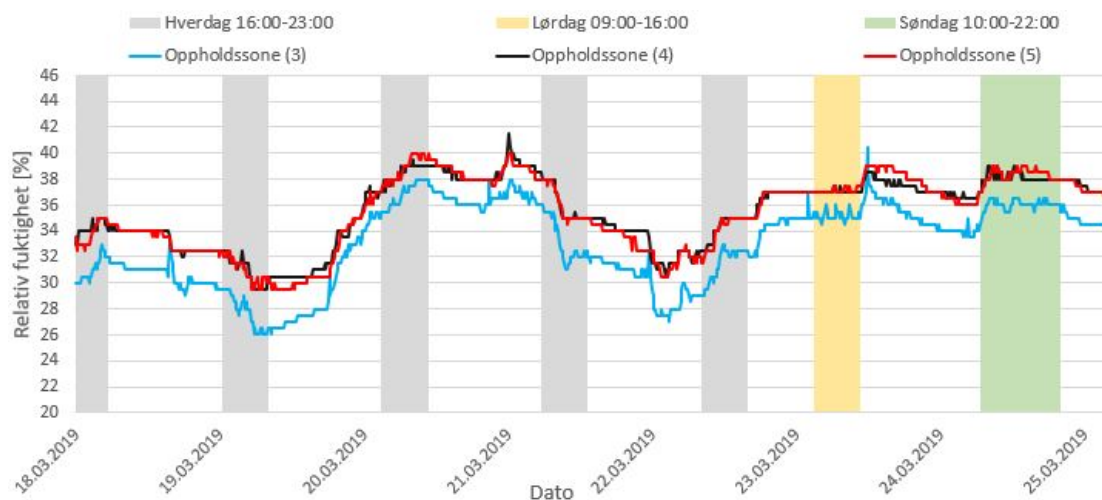
Figur B.2: Heimdalshallen - Målt PM₁₀-konsentrasjon tirsdag 05.03. Blå graf gjengir faktisk målte verdier og rød graf representerer gjennomsnittlig trendlinje med perioder pr. 50, måling. De høye verdiene for blå graf er trolig feilmålinger, men fremkommer tydelig i diagrammet.



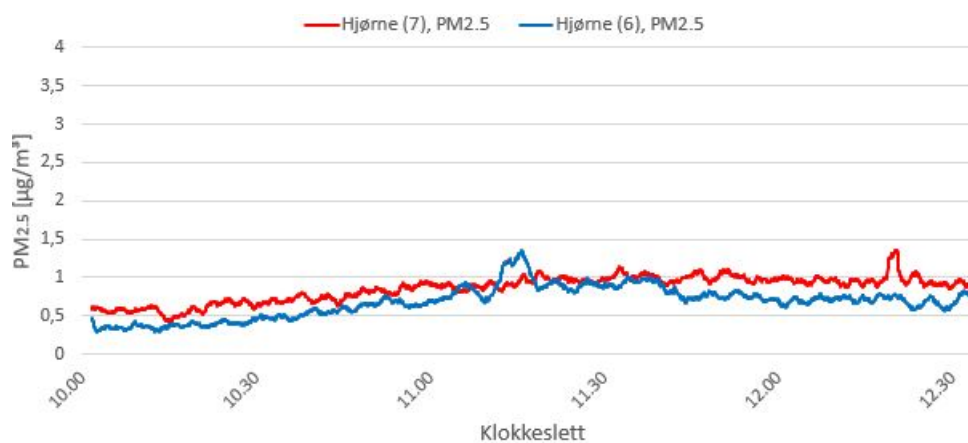
Figur B.3: Heimdalshallen - Målt PM_{10} -konsentrasjonen tirsdag 05.03. Grafene representerer de gjennomsnittlige trendlinjer med perioder per 50. måling. Det er lite tegn til endringer over måleperioden.



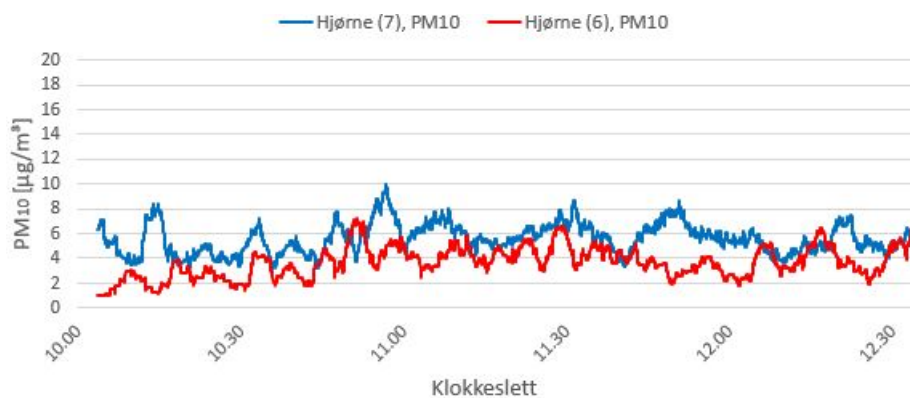
Figur B.4: Kolstad Arena - Temperaturforløp i oppholdssonen. Henviser til figur 4.2 for forklaring til sensorplassering. Stolper gjengir perioder med økt personbelastning. Temperaturen viser også for disse målepunktene at forholdene var like rundt i Kolstad Arena.



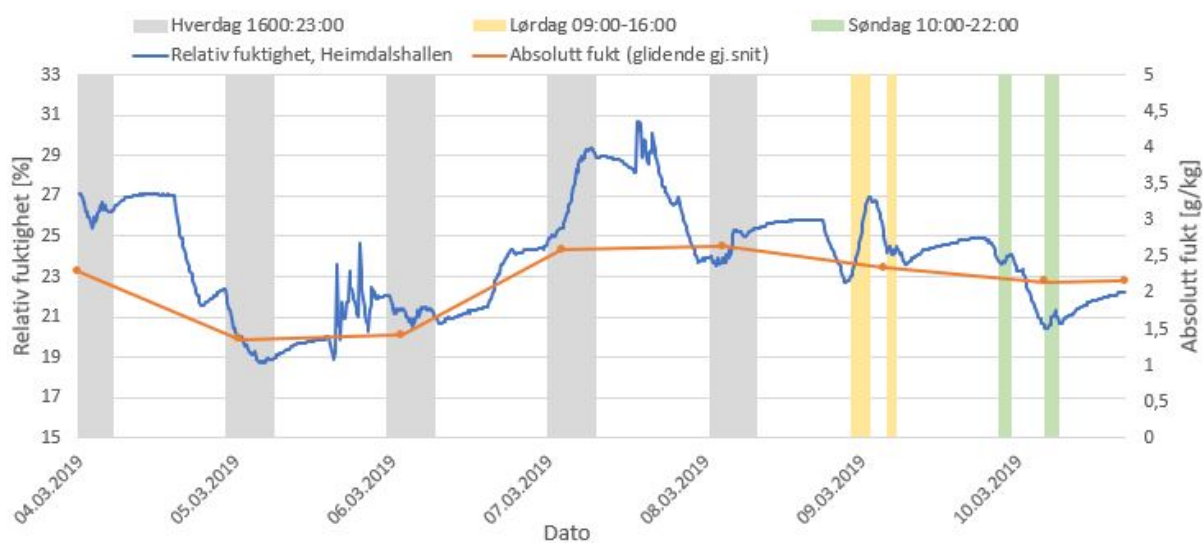
Figur B.5: Flatåshallen - Relativ fuktighet i oppholdssonen. Henviser til figur 4.3 for forklaring til sensorplassering. Målte verdier viser at variasjonene i relativ fuktighet har lite eller ingen sammenheng med økt personbelastning.



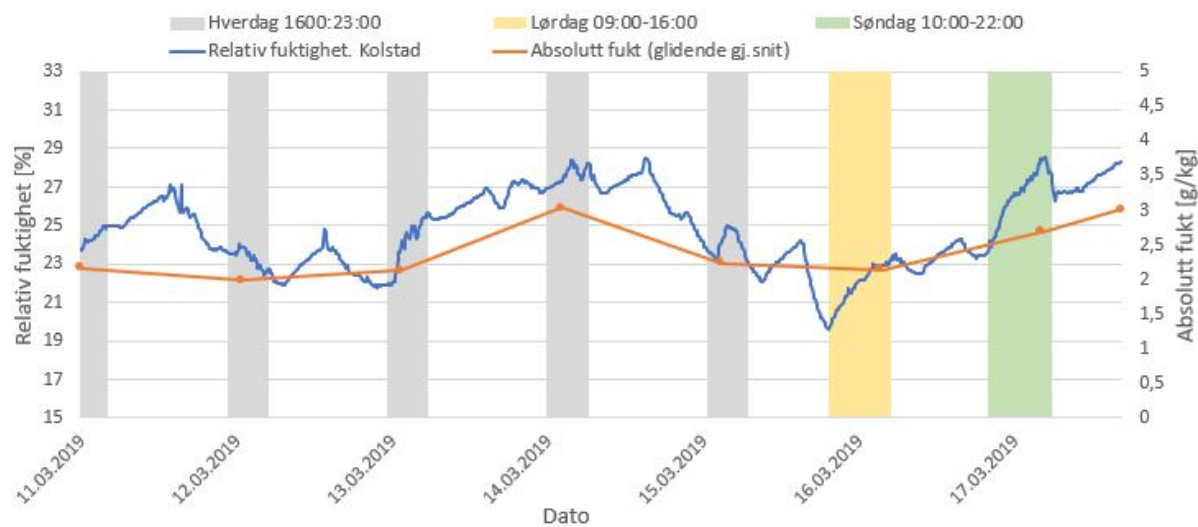
Figur B.6: Flatåshallen - $PM_{2.5}$ -konsentrasjonen søndag 24.03, med glidende gjennomsnitt per 70 måling. Målte verdier fremkommer som stabile gjennom hele forsøksperioden.



Figur B.7: Flatåshallen - PM_{10} konsentrasjonen søndag 24.03, med glidende gjennomsnitt per 150. måling. Konsentrasjonen viser til noen raske økninger, men ingen generell trend.



Figur B.8: Heimdalshallen - Målte verdier for relativ fuktighet i oppholdssonen og absolutt fuktighet utendørs ved Saupstad målestasjon for uke 10. Det fremkommer en klar trend mellom økt relativ fuktighet inndørs, og absolutt fukt i uteluften. Det samme tilfellet ble funnet ved alle flerbrukshallene.



Figur B.9: Kolstad Arena - Målte verdier for relativ fuktighet i oppholdssonen og absolutt fuktighet utendørs ved Saupstad målestasjon for uke 11. Også her fremkommer de samme trendene.

C

Diverse vedlegg

Kommende figurer viser bilder av måleinstrumentene som ble brukt under forsøkene i de ulike flerbrukshallene. Bildene er hentet fra produktmanualer fra produsent.



Figur C.1: Easylog EL-USB-2-[38]



Figur C.2: OPC-N2 Partikkel Monitor.[39]



Figur C.3: Elma CA 1510.[40]



Figur C.4: Vaisala MI70, CO₂-meter.[41]

Videre følger skjema over kartlegging av risikofylt aktivitet og med tilhørende risikovurdering. Dette ble utarbeidet utarbeidet på forhånd før forsøkene ble gjennomført. Det var generelt liten fare knyttet til arbeidet som ble utført under forsøkene.

NTNU	Kartlegging av risikofylt aktivitet			Utarbeidet av	Nummer	Dato
 HMS				HMS-avd.	HMSRV2601	22.03.2011
		Godkjent av		Erstatter		
		Rektor		01.12.2006		

Enhet: Institutt for energi- og prosesseteknikk

Linjeleder:

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): **Martin Aasvestad**
(Ansv. veileder, student, evt. medveileder, evt. andre m. kompetanse)

Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess: Prosjektopp-gave Tittel på oppgaven: Flerbrukshaller –Behovsstyring av ventilasjon for ulike driftssituasjoner

Er oppgaven rent teoretisk? (JA/NEI): Nei «JA» betyr at veileder innestår for at oppgaven ikke inneholder noen aktiviteter som krever risikovurdering. Dersom «JA»: Beskriv kort aktiviteteten i kartleggingskjemaet under. Risikovurdering trenger ikke å fylles ut.

Signaturer: Ansvarlig veileder: *Martin Aasvestad* 2019/07/26 Student: *Martin Aasvestad*

Dato: 26.02.2018

ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansvarlig	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	Lov, forskrift o.l.	Kommentar
-	Måling av klimaparametre i Kolstad Arena	Martin Aasvestad	-	-	-	Enkel plassering av måleinstrument
-	Måling av klimaparametre i Flatåshallen	Martin Aasvestad	-	-	-	Utplassering av måleinstrument
-	Måling av klimaparametre i Heimdalshallen	Martin Aasvestad	-	-	-	Utplassering av måleinstrument
	Montering av instrument	Martin Aasvestad	-	-	-	Montering og innhenting av måleutstyr.

NTNU	Risikovurdering			Utarbeidet av	Nummer	Dato
				HMS-avd.	HMSRV/2603	22.03.2011
HMS				Godkjent av		Erstatter
				Rektor		01.12.2006



Enhet: Institutt for energi- og prosesseteknikk

Linjeleder:

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): **Martin Aasvestad**
(Ansv. Veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

Risikovurderingen gjelder hovedaktivitet: Prosjektopp-gave Tittel på oppgaven: Flerbrukshaller – Behovsstyring av ventilasjon for ulike driftssituasjoner

Signaturer: Ansv. Veileder: *[Signature]*

20. Feb. 2019

Student: *[Signature]*

Dato: 26.02.2018

ID nr	Aktivitet fra kartleggings-skjemaet	Mulig uønsket hendelse/belastning	Vurdering av sannsynlighet (1-5)	Vurdering av konsekvens:				Risiko-Verdi (menneske)	Kommentarer/status Forslag til tiltak
				Menneske (A-E)	Ytre miljø (A-E)	Øk/ materiell (A-E)	Om-dømme (A-E)		
-	Måling av klimaparametere i Kolstad Arena	Skade på måleinstrument	1	A	A	A	A	A1	Det ses ingen problemer ved gjennomføring av forsøk. Ingen tiltak trengs utføres på forhånd. Måleinstrumentene må festes godt ved utplassering.
-	Måling av klimaparametere i Flatshallen	Skade på måleinstrument	1	A	A	A	A	A1	Det ses ingen problemer ved gjennomføring av forsøk. Ingen tiltak trengs utføres på forhånd. Måleinstrumentene må festes godt ved utplassering.
-	Måling av klimaparametre i Heimdalshallen	Skade på måleinstrument	1	A	A	A	A	A1	Det ses ingen problemer ved gjennomføring av forsøk. Ingen tiltak trengs utføres på forhånd. Måleinstrumentene må festes godt ved utplassering.
-	Montering av instrument	Fallskade	2	B	A	A	A	B2	Ikke arbeid i høyden alene. Bruk av godkjent gardintrapp/stige.