

Ventilasjon av fotballhaller

Astrid Oline Almlie Ressem

Master i energibruk og energiplanlegging
Innlevert: juni 2018
Hovedveileder: Hans Martin Mathisen, EPT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for energi- og prosesseteknikk

EPT-M-2018-70

MASTEROPPGAVE

for

Student Astrid Oline Ressem

Våren 2018

Ventilasjon av fotballhaller*Ventilation of football halls***Bakgrunn**

Det er i de siste årene bygget flere haller for fotball i Norge, men det er fortsatt et ønske fra idretten om å få flere anlegg. Erfaring viser at godt inneklime i slike rom kan være vanskelig å oppnå på grunn av materialeegenskaper i golv/arenaflater. Det foreligger lite kunnskap om hvilke emisjonsprodukter som dannes fra kunstgressflater, spesielt kunstgress med ifyll der vann brukes for å bedre spilleflatens egenskaper.

Dagens situasjon

Mange haller som bygges har ikke ordnet ventilasjon, og lekkasjer i bygningskroppen blir da eneste friskluftstilførsel for fortykning av forurensinger. Store hallvolum tilsier at personbelastningen har begrenset betydning for luftkvaliteten, med unntak av arrangement for breddeidrett (cup/stevner) der mange utøvere og tilskuere er i hallen. Siden den store brukergruppen i slike haller er barn og ungdom er krav til godt inneklime viktig. Det er imidlertid kjent at slike haller i tillegg til å være treningsarena for fotball, også benyttes for messer, konserter og andre publikumsarrangementer. Kulturdepartementet krever nå at fotballhaller dimensjoneres for 12 - 15°C, og i samsvar med TEK. Dette betyr implisitt et krav om mekanisk ventilasjon. Siden sportsgolvet (kunstgresset) har svært forskjellig egenskap avhengig av leverandør, materialeegenskaper og alder vil ventilasjonsbehovet være tilsvarende variabelt. Problemstillingene som er påpekt her gjelder også i stor grad for friidrettshaller.

Romoppvarming av tilsvarende type som brukes i vanlige bygninger har liten relevans i bygninger hvor innetemperaturen holdes svært lav, men anlegg kombinerte med ventilasjon vil gi raskere respons på endringer i behov hhv pga. klima og personbelastning.

Mål

Utvikle et eller flere konsepter for ventilasjon i innendørs fotballhall basert på litteraturstudie og feltforsøk av luftkvalitet og termisk inneklime. Konseptet skal baseres på nøkkeltall for forurensing fra flater og personer, og ta hensyn til den store variasjonen i bruksfrekvens, vedlikehold av spilleflate mv.

Opgaven er en videreføring av kandidatens fordypningsprosjekt.

Oppgaven vil inkludere målinger i anlegg i drift, og SIAT kan bistå med å velge aktuelle anlegg.

Oppgaven kan bearbeides ut fra følgende punkter:

1. Videreføring av litteraturstudien i fordypningsprosjektet med innhenting av informasjon om ventilasjon og termiske forhold i fotballhaller.
2. Utarbeide dimensjoneringsgrunnlag for inneklime i fotballhaller, inklusive krav til lekkasjetall.
3. Befaring og måling i haller, intervju av brukere og de som drifter anleggene. Målinger kan være CO₂-konsentrasjon, PM_{2,5}, PM₁₀, TVOC, romlufthastigheter og temperatur. Målingene gjøres under ulike driftsforhold. Det vurderes om partikkelfordeling undersøkes med hensyn til fraksjonering og mulig analyse av støv (organisk/uorganisk).
4. Foreslå mulige løsninger for ventilasjon av fotballhaller med ulike bruksområder.

” - ”

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

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

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

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

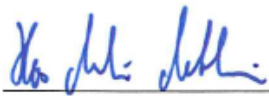
Risikovurdering av kandidatens arbeid skal gjennomføres i henhold til instituttets prosedyrer. Risikovurderingen skal dokumenteres og inngå som del av besvarelsen. Hendelser relatert til kandidatens arbeid med uheldig innvirkning på helse, miljø eller sikkerhet, skal dokumenteres og inngå som en del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

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

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

- Arbeid i laboratorium (vannkraftlaboratoriet, strømningsteknisk, varmeteknisk)
 Feltarbeid

NTNU, Institutt for energi- og prosesssteknikk, 15. januar 2018



Hans Martin Mathisen
Faglig ansvarlig/veileder

Medveileder(e):
Snorre Nordbo Olsen

Forord

Denne rapporten er et resultat av masteroppgaven i det 2-årige masterstudiet Energibruk og energiplanlegging ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU) våren 2018. Oppgaven er gitt av Institutt for energi- og prosessteknikk (EPT), fakultet for ingeniørvitenskap (IV). Masteroppgavens omfang er 30 studiepoeng under fagkoden TEP4920, som utarbeides i løpet av 20 uker. Arbeidet med masteroppgaven er utført som en fortsettelse av prosjektoppgaven med samme tema.

Jeg vil rette en takk til min veileder Hans Martin Mathisen for god hjelp til gjennomføring av oppgaven. Vil også takke medveileder Snorre Nordbo Olsen og hans kolleger ved Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) som har bidratt til faglig påfyll, veiledning underveis og korrekturlesing.

Trondheim, juni 2018



Astrid Oline Ressem

Sammendrag

I nye bygg blir det stadig strengere krav til ventilasjon, både med tanke på luftkvalitet og energibruk. Fotballhaller har til nå falt under radaren med sine uoppvarmede areal og mangel på ventilasjon. Bygningstypen har de siste årene vært i stor vekst med tanke på antall haller som settes opp og rehabiliteres. Det er ingen krav til luftkvalitet i fotballhaller, likevel benyttes det materialer som emitterer mer enn materialer man ellers benytter innendørs.

Målet med oppgaven å finne ventilasjonsløsninger for innendørs fotballhaller. For å finne svar på problemstillingen er det gjort et litteraturstudie om ventilasjon av store haller og emisjon fra kunstgress og gummigranulat. Det ble også gjennomført testforsøk i to fotballhaller og en digital spørreundersøkelse for brukerne i de respektive hallene. Det kom inn for få svar i spørreundersøkelsen til å kunne konkludere med noe.

I testforsøkene ble det målt svevestøv, temperatur og relativ fuktighet både inne og utenfor hallene. I tillegg ble det målt CO₂-konsentrasjon inne i fotballhallene. De viktigste funnene fra testforsøkene var at svevestøvverdiene overskred anbefalte nivå i begge hallene, og at det var PM₅₋₁₀ som økte mest når hallen var i bruk. Det ble også funnet at CO₂-konsentrasjonen avtok langsomt når hallen ikke var i bruk, dette var bakgrunnen for å konkludere med at luftskiftet var svært lavt.

Det ble ikke funnet noe litteratur om ventilasjon av innendørs fotballhall, men det var et studie som hadde testet luftforurensninger i tre slike haller. Studiet ble sammen med testforsøkene grunnlaget for å konkludere med at hovedkilden til forurensning i fotballhaller med tradisjonelt dekke er gummigranulatet.

Ventilasjonsløsning og dimensjonering bør vurderes for hver hall, da driftsmønster og type granulat er faktorer som er avgjørende for behovet. Flere driftstimer per dag vil kreve mer effektiv ventilering, mens bruk av høyemitterende granulat vil kreve høyere grunnventilasjon selv når hallen ikke er i bruk.

Det vil være en avveining om kilden skal reduseres, ved å velge materialer som emitterer mindre, eller om det skal kompenseres med ekstra ventilasjon. Det viktigste vil uansett være å redusere brukernes eksponering for svevestøv og eventuelt andre forurensninger.

Så lenge SBR- og TPE-granulat forblir en del av dekket i fotballhaller, konkluderes det med at naturlig ventilasjon i form av infiltrasjon og tidvis lufting ved bruk av porter og takluker ikke gir tilstrekkelig luftkvalitet. Implementering av omrøringsventilasjon kan i mange haller bedre luftkvaliteten. Det er ansett som et rimelig og driftssikkert prinsipp. Dette kan være aktuelt for eksisterende haller, for å gjøre det beste ut av situasjonen.

Det ser ut som det mest aktuelle prinsippet for ventilasjon i innendørs fotballhaller er omvendt fortreningsventilasjon. Det trengs likevel mer forskning som rettes spesifikt mot innendørs fotballhall som bygningstype, blant annet for å kunne si noe mer om dimensjoneringstall.

Abstract

In new buildings, there are increasingly stringent requirements for ventilation, both in terms of air quality and energy consumption. Football halls have so far fallen below the radar with its unheated area and lack of ventilation. The building type has been growing rapidly in recent years, considering the number of halls that are being set up and rehabilitated. There are no requirements for air quality in football halls, yet materials that are used for the artificial turf emit more than materials one usually would apply indoor.

The aim of this thesis is to develop ventilation solutions applicable for indoor football halls. To solve to the problem, relevant literature of ventilation of large halls, and emission from artificial turf and rubber granulates was gathered. Measurements from two football halls and a digital survey for users in the respective halls were also conducted. Due to the lack of responds, one was not able make any conclusion based on the survey.

In the field study, particulate matter, temperature and relative humidity were measured both inside and outside the halls. Inside the football halls, it was also collected data of measured CO₂-concentration. The most important results from the measurements were that the values of particulate matter in both halls, exceeded recommended levels. Of the measured particulates, one could also see that PM₅₋₁₀ increased the most during the occupied hours. The CO₂-concentration declined slowly when the hall was not in use, which was the background to conclude that the air change was considerably lower than in ordinary buildings.

No literature about ventilation of indoor football halls was found, but a study that had tested air pollution in three such halls was assessed. The study, together with the measurements in this thesis, was the basis for concluding that the main source of contamination in football halls with traditional cover is the tire rubber crumb (SBR).

Ventilation strategy and dimensioning should be considered for each hall, as operating patterns and type of rubber crumb are factors that are essential to the need. Several operating hours per day will require more efficient ventilation, and the use of high emitting rubber crumbs will require a higher baseload for ventilation even when the hall is not in use.

It will be made a decision whether to reduce the pollution source or compensate with extra ventilation. Nevertheless, the most important thing will is to reduce occupant's exposure to particulate matter and possibly other contaminants.

As long as the SBR and TPE crumb remain a part of the turf in the football halls, it is concluded that natural ventilation in case of infiltration and occasionally aeration using ports and sunroofs does not provide adequate air quality. Implementation of mixing ventilation can improve air quality in many halls. It is considered to be a reasonable and reliable principle. This may be applicable to existing halls, to make the best of the situation.

It seems that the best principle of ventilation in indoor football halls is reversed displacement ventilation. Nevertheless, more research is needed specifically aimed at indoor football halls as a building type, to get more information due to dimension a ventilation system.

Innholdsfortegnelse

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurliste	vii
Tabelliste	ix
Liste over likninger	x
Forkortelser	xi
Begrepsliste	xi
1 Innledning	1
1.1 Formål og tilnærming	1
1.2 Oppbygging av oppgaven	1
1.3 Begrensninger og antakelser	2
2 Bakgrunnsinformasjon om materialer og inneklima	3
2.1 Krav til inneklima	3
2.1.1 Byggteknisk forskrift	3
2.1.2 Norsk standard og teknisk standard	3
2.1.3 Arbeidstilsynets veiledning 444	4
2.2 Krav til energibruk	4
2.3 Kunstgress	5
2.3.1 Kunstgresset	5
2.3.2 Typer gummigranulat	5
2.3.3 Dempningssjikt	7
2.3.4 Retningslinjer til bruk av kunstgress	7
3 Teori	8
3.1 Viktige faktorer	8
3.2 Effektiv luftfordeling	8
3.3 Regulering og styring	8
3.4 Luftmengder for personbelastning	9
3.5 Ventilasjonens effektivitet	10
3.6 CO ₂ -konsentrasjon	10
3.7 Luftskifteberegning	11
3.8 Luftdistribusjon	11
3.8.1 Fortrengningsventilasjon	11
3.8.2 Omrøringsventilasjon	12
3.8.3 Stempelstrømventilasjon	12
3.8.4 Omvendt fortrengningsventilasjon	13
3.9 Luftvekslingseffektiviteter	13
3.10 Termisk inneklima	13
3.11 Emisjon	14
3.12 Svevestøv	14
3.12.1 Helseeffekter knyttet til svevestøv	15
4 Metode	16
4.1 Forskningsmetoder	16
4.2 Valgte metoder	16
4.3 Litteraturstudie	16
4.4 Spørreundersøkelse	17

4.4.1	Korrelasjon	17
4.5	Prøvetakingsstrategi	18
4.5.1	Måleparameterne	18
4.5.2	Måleoppsett/måleplan	19
4.5.3	Signifikans.....	21
4.6	Presentasjon av casehaller	21
4.6.1	Hall med SBR som kunstgressgranulat	22
4.6.2	Hall med TPE som kunstgressgranulat	22
4.6.3	Hall uten kunstgressgranulat	22
4.7	Energibehov	23
5	Litteraturstudie.....	24
5.1	Ventilasjon	24
5.1.1	Ventilasjon av store volum.....	24
5.1.2	Veiledning for ventilasjon av idrettshaller	25
5.1.3	Naturlig ventilasjon av idrettshall.....	25
5.1.4	Ventilasjon av fotballstadion	26
5.2	Emisjoner fra kunstgress og gummigranulat	26
5.2.1	Emisjon av gummigranulat i innendørs fotballhall.....	26
5.2.2	Emisjonstesting av kunstgress og gummigranulat	27
5.2.3	Nedbrytning av gummigranulat.....	27
5.3	Helsemessig vurdering av kunstgress og gummigranulat	28
5.3.1	Avgassingstester	28
5.3.2	Luftmålinger av emisjon gummigranulat	29
5.3.3	SBR-granulat på lekeplasser.....	29
5.3.4	Andre litteraturstudier	29
6	Resultat av testforsøk	30
6.1	Svevestøv	30
6.1.1	Kontinuerlige målinger	30
6.1.2	Testobjekt 1	31
6.1.3	Testobjekt 2	32
6.1.4	Svevestøv i T1 i forhold til T2.....	32
6.1.5	Signifikans.....	33
6.1.6	Sammenligne med tall fra litteraturen.....	34
6.2	Temperatur og relativ fuktighet	35
6.2.1	Kontinuerlige målinger	35
6.2.2	Påvirkning av uteforhold.....	36
6.3	CO ₂ -konsentrasjon.....	36
6.3.1	Kontinuerlige målinger	36
6.3.2	Variasjon og sammenligning av T1 og T2	37
6.3.3	Luftskifte og luftens alder	37
6.3.4	CO ₂ -konsentrasjon i omgivelsene.....	39
6.4	Feilkilder til testforsøkene	40
6.5	Resultatoversikt.....	40
7	Resultat av spørreundersøkelsen.....	41
7.1	Opplevd luftkvalitet.....	41
7.2	Temperatur i hallen	41
7.3	Lukt og kilde	42
7.4	Korrelasjon i spørreundersøkelsen	42
8	Energibehov	44
8.1	Bygningskategori og sammenligning mot TEK.....	44

8.2	Lekkasjetall	44
8.3	Transmisjon og varmekapasitet	44
8.4	Internlaster	44
8.5	Driftstid og settpunkttemperatur	45
8.6	Årssimulering	45
8.7	Ventilasjon	45
8.8	Sensitivitetsanalyse av lekkasjetallet	46
9	Forutsetninger for ventilasjon	47
9.1	Oppholdssonen	47
9.2	Dimensjonere for ulike brukssituasjoner	48
9.3	Tilførsel- og avtrekksmuligheter	48
9.4	Temperatur	49
9.5	Reduksjon av forurensningskilden	49
9.6	Styring av ventilasjonssystem	49
9.7	Kommentarer	50
10	Ventilasjonsalternativer	51
10.1	Alternativ 1 – fortreningsventilasjon	51
10.2	Alternativ 2 – omrøringsventilasjon	52
10.3	Alternativ 3 – stempeleffekt	53
10.4	Alternativ 4 – omvendt fortreningsventilasjon	54
10.5	Oppsummering av alternativene	55
11	Diskusjon	56
11.1	Forurensninger	56
11.2	Eksponering og helseeffekter	58
11.3	Ventilasjon	59
11.4	Testforsøk	60
11.5	Spørreundersøkelse	61
11.6	Energibehov	62
12	Konklusjon	63
13	Forslag til videre arbeid	64
	Litteraturliste	65
	Vedlegg A: Resultat av testforsøk	A
	Vedlegg B: Spørreundersøkelsen	B
	Vedlegg C: Resultater av spørreundersøkelse	C
	Vedlegg D: Oversikt over fotballhaller i Norge	D
	Vedlegg E: Inndata fra SIMIEN	E
	Vedlegg F: Risikovurdering	F

Figurliste

Figur 2.1: Typisk oppbygning av en kunstgressflate.....	5
Figur 2.2: SBR-granulat.....	6
Figur 2.3: TPE-granulat	6
Figur 2.4: EPDM-granulat	7
Figur 2.5: Kork-granulat	7
Figur 3.1: Typisk luftmengdeforløp med CAV-styring.....	9
Figur 3.2: Typisk luftmengdeforløp med brukerstyrt VAV-regulering	9
Figur 3.3: Typisk luftmengdeforløp behovsstyrt VAV-regulering	9
Figur 3.4: Illustrasjoner av fortreningsventilasjon	11
Figur 3.5: Illustrasjoner av omrøringsventilasjon	12
Figur 3.6: Stempelstrøm	12
Figur 3.7: Omvendt fortreningsventilasjon med to soner	13
Figur 3.8: Aktivitetsnivå og metabolisme.....	14
Figur 4.1: Bilde av måleutstyret under testforsøk og fra utstyrets plassering	21
Figur 4.2: Utenfor testobjekt 1	22
Figur 4.3: Inne i testobjekt 1	22
Figur 4.4: Utenfor testobjekt 2.....	22
Figur 4.5: Inne i testobjekt 2.....	22
Figur 5.1: Prinsippskisse av selektiv ventilasjon	24
Figur 5.2: Faktorer som øker nedbrytningen av SBR-granulat.....	28
Figur 6.1: Første måling av PM _{0,3-0,5} og PM _{0,5-1} i T2.....	30
Figur 6.2: Første måling av PM ₁₋₃ og PM ₃₋₅ i T2.....	31
Figur 6.3: Første måling av PM ₅₋₁₀ og PM ₁₀₋₁₀ i T2.....	31
Figur 6.4: Gjennomsnittsverdier av svevestøv for T1, første og andre måling	32
Figur 6.5: Gjennomsnittsverdier av svevestøv for T2, første og andre måling	32
Figur 6.6: Sammenligning av svevestøv i T1 og T2	33
Figur 6.7: Sammenligning av svevestøv utenfor T1 og T2	33
Figur 6.8: Sammenligning av ulike PM _{2,5} - og PM ₁₀ -verdier med anbefalte grenseverdier...34	
Figur 6.9: Lufttemperatur inne og utenfor T2 05.-07.03.18	35
Figur 6.10: Relativ luftfuktighet inne og utenfor T2 05.-07.03.18	35
Figur 6.11: Lufttemperatur ute og inne i hallene	36
Figur 6.12: Relativ luftfuktighet ute og inne i hallene	36
Figur 6.13: CO ₂ -konsentrasjon i T2 09.-11.04.18.....	36
Figur 6.14: CO ₂ -konsentrasjon i T1 og T2 for begge måleseriene	37
Figur 6.15: Luftens alder, temperaturdifferanse og vindhastighet fra T1.....	39
Figur 6.16: Luftens alder, temperaturdifferanse og vindhastighet fra T2.....	39
Figur 6.17: Påvirkningen antatt CO ₂ -konsentrasjon utendørs har for utregnet luftskifte.....	39
Figur 7.1: Opplevd luftkvalitet blant brukere av T1 og T2	41
Figur 8.1: Energiforbruk med CAV og VAV	46
Figur 8.2: Sensitivitetsanalyse for energiforbruk med hensyn på lekkasjetall	46
Figur 9.1: Treningshall og storhall	47
Figur 10.1: Skisse av fortreningsventilasjon i treningshall.....	51

Figur 10.2: Skisse av fortrenningsventilasjon med tilluft under tribuner	52
Figur 10.3: Skisse av omrøringsventilasjon i treningshall.....	52
Figur 10.4: Skisse av "stempel"-ventilasjon i treningshall	53
Figur 10.5: Skisse av omvendt fortrenningsventilasjon i treningshall	54
Figur 10.6: Skisse av omvendt fortrenningsventilasjon med avtrekk i dekket	54

Tabelliste

Tabell 2.1: Anbefalte luftmengder fra NS:15251 gitt i l/s og omregnet til m ³ /h	4
Tabell 2.2: Anbefalte luftmengder fra Arbeidstilsynet.....	4
Tabell 3.1: Krav, anbefalinger og konsekvens av CO ₂ -konsentrasjoner	10
Tabell 3.2: Luftvekslingseffektiviteter for noen ventilasjonssituasjoner	13
Tabell 4.1: Korrelasjonsgrad ved forskjellige p-verdier.....	18
Tabell 4.2: Tid og sted for testforsøk	19
Tabell 4.3: Oversikt av måleutstyret som ble benyttet	20
Tabell 5.1: Svevestøvmålinger fra fotballhallene	27
Tabell 6.1: Signifikansutregning av svevestøvverdier fra T1 og T2.....	34
Tabell 6.2: Luftskifteberegning i T1	38
Tabell 6.3: Luftskifteberegning i T2	38
Tabell 6.4: Oversikt av målingene. PM er gitt i µg/m ³	40
Tabell 7.1: Antall respondenter.....	41
Tabell 7.2: Korrelasjon mellom opplevelse av lukt, og bruker og besøksfrekvens i T1	42
Tabell 7.3: Korrelasjon mellom temperatur og luftkvalitet i T1 og T2.....	43
Tabell 9.1: Areal- og volumoversikt for treningshall og storhall.....	47
Tabell 9.2: Luftmengder ved ulike driftssituasjoner i treningshall	48
Tabell 10.1: Oppsummering av de presenterte ventilasjonsalternativene	55
Tabell 10.2: Fordeler og ulemper med alternativene.....	55

Liste over likninger

(1) Luftmengdeberegning	10
(2) Luftvekslingstallet.....	10
(3) Ventilasjonseffektivitet	10
(4) CO ₂ -konsentrasjon som funksjon av tid.....	11
(5) Utregning av luftskifte	11

Forkortelser

Symbol	Forklaring
BRA	Bruksareal
CAV	<i>Constant Air Volume</i> . Konstant luftmengderegulering
DCV	<i>Demand Control Volume</i> . Behovsstyrt luftmengderegulering
EC	<i>Elemental Carbon</i> . Elementært karbon
EPDM	Etylen propylen dien gummi
NFF	Norges fotballforbund
NILU	Norsk institutt for luftforskning
NOAEL	<i>No Observed Adverse Effect Level</i> . Den høyeste dosen av et stoff hvor det ikke er observert negative helseeffekter.
OC	<i>Organic Carbon</i> . Organisk karbon
PAH	Polysykliske aromatiske hydrokarboner
PM _x	Svevestøvverdi for alle partikler med aerodynamisk diameter større enn x µm
PM _{x-y}	Svevestøvverdi for alle partikler med aerodynamisk diameter innenfor størrelsesområdet x-y µm
ppm	Deler per million (1 000 ppm = 0,1 %)
RF	Relativ fuktighet
SBR	Styren Butadien Rubber
SIAT	Senter for idrettsanlegg og teknologi
T1	Testobjekt 1, fotballhall med SBR-granulat
T2	Testobjekt 2, fotballhall med TPE-granulat
TEK	Norsk byggt teknisk forskrift
TPE	Termoplastiske elastomer
TVOC	<i>Total Volatile Organic Compounds</i> . Totalt flyktige organiske forbindelser.
VAV	<i>Variable Air Volume</i> . Variabel luftmengderegulering

Begrepsliste

Definisjon	Forklaring
Brukere	I denne sammenheng spillere og tilskuere i fotballhall
Dekke	I denne sammenheng de materialene som brukes som underlag i fotballhaller, kunstgress og kunstgressgranulat på banen og asfalt langs sidene
Kortslutning	Tilluft går direkte til avtrekk
Oppholdssone	Den sonen i et rom hvor personer normalt oppholder seg
Storhall	Fotballhall beregnet for 11'er fotball.
Treningshall	Fotballhall beregnet for 7'er fotball.

1 Innledning

I nye bygg blir det stadig strengere krav til ventilasjon, både med tanke på luftkvalitet og energibruk. Fotballhaller har til nå falt under radaren med sine uoppvarmede areal og mangel på ventilasjon. Bygningstypen har de siste årene vært i stor vekst med tanke på antall haller som settes opp og restaureres; 81 fotballhaller i Norge de ti siste årene, for å være mer konkret [1]. Det er derfor på høy tid at man ser på standarder og krav til luftkvalitet også i fotballhaller som i andre idrettsbygninger.

1.1 Formål og tilnærming

Hovedmålet med oppgaven er å si noe om hvordan en innendørs fotballhall kan og bør ventileres. Det er også fokusert på hvordan valg av type kunstgress og kunstgressgranulat påvirker luftkvaliteten. Problemstillingen som skal besvares i rapporten er:

Basert på litteraturstudie og feltforsøk, hvilke konsepter for ventilasjon er aktuelle i innendørs fotballhaller?

Til hjelp for å finne et svar på problemstillingen, ble det i tillegg satt opp tre forskningsspørsmål:

- Er det nødvendig med mekanisk ventilasjon i en fotballhall?
- Hvilke tiltak kan gjøres for å bedre luftkvaliteten i fotballhaller?
- Kan valg av granulattype påvirke luftkvaliteten innendørs?

For å finne svar på problemstillingen og forskningsspørsmålene er det gjort litteratursøk, testforsøk i to fotballhaller og en digital spørreundersøkelse for brukerne av de respektive hallene.

1.2 Oppbygging av oppgaven

I første del av oppgaven presenteres bakgrunnsinformasjon knyttet til fotballhaller. Dette innebærer hvilke krav som stilles til inneklima og en orientering om materialbruk som er spesielt for denne bygningstypen. Det er deretter gitt et teorigapittel som har dannet grunnlaget for utførelsen av de neste kapitlene.

I kapittel 4 beskrives det hvilke metoder som er benyttet. Her presenteres det to fotballhaller som er brukt som en case. På bakgrunn av teori og metode, er det i påfølgende kapittel gitt resultater fra et litteraturstudie med fokus på å redegjøre for forskning som er gjort innenfor temaet av oppgaven.

I kapittel 6 og 7 fremstilles resultater fra casen, henholdsvis fra testforsøk og spørreundersøkelse. En enkel simulering av energibehov og forutsetninger for å ventilere en fotballhall, danner sammen med de øvrige kapitlene grunnlaget for fire ventilasjonsalternativer som presenteres og vurderes i kapittel 10. Avslutningsvis drøftes resultatene og problemstillingen besvares. Det gis i tillegg et forslag til videre arbeid.

1.3 Begrensninger og antakelser

Man fant ingen litteratur om ventilasjon av fotballhaller. Litteratursøket er derfor delt opp i ventilasjon for store volum, og hvordan bruk av kunstgress og gummigranulat innendørs vil påvirke luftkvaliteten og ventilasjonsbehovet.

Mye tid gikk med til testforsøkene, noe som førte til at man fikk gjennomført to testforsøk i hver hall. Man ville fått mer pålitelige resultat med flere måleserier. De to hallene hadde kunstgress med ulik type gummigranulat, og det var i utgangspunktet også ønskelig å gjøre forsøk i en kunstgresshall uten granulat. Begrenset tid og lokasjon medførte at man valgte de to hallene som var nærmest.

I beregning av luftskifte, ventilasjonsbehov og energibehov, er det antatt at treningshaller og storhaller har de målene som er gitt i «Målbok for idrettsanlegg». Dette er anbefalte mål, hvor det i virkeligheten bygges haller som fraviker noe fra disse målene. Det er i denne oppgaven hovedsakelig fokusert på treningshaller. Det er likevel tenkt på at løsninger også skal være overførbare til storhaller.

De aller fleste brukstimene i en fotballhall er trening. Ventilasjonsstrategier og dimensjonering er derfor tatt med hensyn på denne brukssituasjonen. Det er likevel sett på hvordan andre brukssituasjoner vil påvirke ventilasjonsbehovet. Det er også avgrenset til å fokusere på luftdistribusjon og ventilasjonsprinsipp. Forskjellige luftbehandlingssystemer og ventiler er derfor ikke inkludert.

2 Bakgrunnsinformasjon om materialer og inneklima

I dette kapittelet presenteres det krav, standarder og normer knyttet til bygninger og spesifikt fotballhaller. I tillegg beskrives kunstgressdekket og ulike typer granulatfyll; materialer som vanligvis ikke benyttes innendørs i ordinære bygg.

2.1 Krav til inneklima

2.1.1 Byggteknisk forskrift

Når det gjelder fotballhaller er det ingen spesifikke krav til luftkvalitet utover de generelle retningslinjene i byggteknisk forskrift, TEK17; at luftkvalitet «skal bidra til å forebygge helseskader og negativ komfortopplevelse». I forskriften gis det generelle minimumskrav til ventilasjon, hvor man skal ventilere med hensyn på personbelastning, materialer og prosesser. Ved bruk av lavemitterende materialer skal det ventileres med minst 2,5 m³/h per m² gulvareal når det aktuelle rommet er i bruk, og 0,7 m³/h per m² hvis ikke. For personbelastning skal det ventileres med 26 m³/h per person, og for prosesser skal det være tilstrekkelig avtrekk til å opprettholde god luftkvalitet. Utover dette skal ventilasjonen dimensjoneres slik at man sikrer god luftkvalitet hos brukere. Kravene baserer seg på bygninger hvor mennesker skal oppholde seg over lengre tid, som boligbygning, byggverk for publikum og arbeidsbygning. [2]

2.1.2 Norsk standard og teknisk standard

I NS-EN 15251 gis det anbefalte luftmengder for dimensjonering av ventilasjonsanlegg med hensyn på personbelastning og materialer. Det gis anbefalinger ut fra hvilke krav det settes til bygningen. Kategori I svarer til høyt forventningsnivå som anbefales i bygg hvor sensitive og sårbare personer oppholder seg, dette kan være mennesker med funksjonsnedsettelse, syke, spedbarn eller gamle. Kategori II gir anbefalinger for å oppnå et normalt forventningsnivå. Denne kategorien benyttes i nye og rehabiliterte bygninger. Kategori III angir et moderat forventningsnivå, som er ment for eksisterende bygninger. I tillegg gis kategori IV som svarer til lavere forventningsnivå enn III, men denne kategorien kan bare godtas deler av året. [3]

Standarden gir flere framgangsmåter for å beregne luftmengder i et yrkesbygg. En måte er å beregne nødvendig luftmengde for forurensninger fra mennesker og deretter legge til nødvendig ventilasjon for å ta bort forurensninger fra bygningsmaterialer. En annen måte er å beregne luftmengde per person eller per kvadratmeter gulvareal. Denne metoden forutsetter at personer er den eneste forurensningen. [3]

Dimensjoneringsgrunnlaget for den første metoden vist er i Tabell 2.1. Som eksempel vil en 2500 m² idrettshall, dimensjonert for 100 personer, med lavt forurensende bygningsmaterialer og normalt forventningsnivå (kategori II) gi en luftmengde på 8 750 m³/h, se utregningen under.

$$\dot{V}_{idrettshall} = 25 \frac{m^3}{h \cdot pers} \cdot 100 pers + 2,5 \frac{m^3}{h \cdot m^2_{gulv}} \cdot 2500 m^2_{gulv} = 8750 m^3 / h$$

Tabell 2.1: Anbefalte luftmengder fra NS:15251 gitt i l/s og omregnet til m³/h [3]

Kategori	I		II		III		IV	
	[l/s]	[m ³ /h]	[l/s]	[m ³ /h]	[l/s]	[m ³ /h]	[l/s]	[m ³ /h]
Personbelastning gitt per person								
Luftmengde per person	10	36	7	25	-	-	<4	<14
Materialkomponent gitt per m ² _{gulv}								
Svært lavt forurensende bygning	0,5	1,8	0,35	1,3	0,3	1,1		
Lavt forurensende bygning	1	3,6	0,7	2,5	0,4	1,4		
Ikke lavt forurensende bygning	2,0	7,2	1,4	5,0	0,8	2,9		

Hvis ventilasjonssystemet skal behovsstyres, gir NS:3031 verdier for minste persontetthet per areal. For idrettsbygg er denne 5 m²/person. Dette betyr at det skal dimensjoneres for maks 644 personer, i en treningshall på 3220 m². [4]

2.1.3 Arbeidstilsynets veiledning 444

Arbeidstilsynets veiledning 444 gir anbefalte luftmengder for dimensjonering med hensyn på personbelastning, materialer og prosesser, hvor ventilasjonsbehovet utgjør summen av disse tre. Tabell 2.2 gir en liste over de anbefalte verdiene for personbelastning og materialer. I tillegg sier veiledningen at forurensende prosesser beregnes ut fra spesifiserte krav som kommer i tillegg. Hvis derimot prosessen krever en ventilasjonsmengde som er mye større enn summen av luftmengden grunnet personbelastning og materialer, ser man bort fra disse to. Luftmengdene i veiledningen er i stor grad basert på NS:15251, som det også vises til i veiledningen. [5]

Tabell 2.2: Anbefalte luftmengder fra Arbeidstilsynet [5]

	Luftmengde	
	l/s	m ³ /h
Luftmengde per person ved normal aktivitet	7 - 10	25 - 36
Materialer med dokumentert lav emisjon, gitt per m ² _{gulv}	0,7	2,5
Normale udokumenterte byggematerialer uten sterk lukt, gitt per m ² _{gulv}	1,4 - 2	5,1 - 7,2
Tepper og materialer med ukjent høy emisjon, gitt per m ² _{gulv}	> 2	> 7,2

2.2 Krav til energibruk

Energikravene i TEK17, gjelder for bygning eller deler av bygning som skal holde innetemperatur over 15 °C i oppvarmings sesongen. Det er likevel slik at den aktuelle bygningen skal «innrettes slik at transmisjonsvarmetapet ved aktuell innetemperatur ikke blir større enn det som tillates i en fullt oppvarmet og fullisolert bygning». [2]

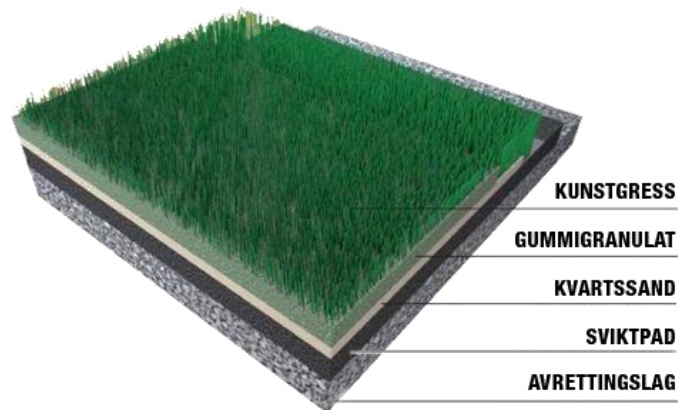
Rom og/eller bygninger som er dimensjonert for å holde under 15 °C, er ofte lavisolerte, hvor det er lite fokus på energieffektive løsninger når det kommer til romoppvarming og varmetap. Norges fotballforbund anbefaler at en fotballhall skal dimensjoneres for å holde 12 – 14 °C, men presiserer at de likevel skal tilfredsstillere energikravene i TEK17. [2]

Energikravene i TEK17 sier at idrettsbygg skal ha et totalt energibehov på maksimum 145 kWh/m²·år [2]. Skal en hall oppfylle standarden for passivhus gis det maksimum energibehov til romoppvarming, hvor grensen til idrettsbygninger er 15 kWh/m²·år [6].

2.3 Kunstgress

Dette kapitlet er hentet fra prosjektoppgaven [7]

Dette underkapitlet vil se nærmere på forskjellige typer kunstgress og deres egenskaper. I denne sammenhengen vil kunstgress menes kunstig gress til bruk på spilleflater for fotball. En kunstgressflate er ofte bygd opp slik som vist i Figur 2.1, fra nederst et avrettingslag, sviktpad (dempningslag), kvartssand, kunstgressfiber og gummigranulat som fyll i kunstgresset.



Figur 2.1: Typisk oppbygning av en kunstgressflate [8]

2.3.1 Kunstgresset

Kunstgress består av plastfibre festet til en matte av polypropylen eller polyester. Denne er belagt med et bindemiddel som herdes i en ovn. Plastfibrene er laget av PE, PE/PP copolymer eller polyamid. Som bindemiddel mellom plastfibrene og matten, kan det for eksempel brukes styren butadien lateks. [9]

2.3.2 Typer gummigranulat

For å sikre at kunstgresset blir liggende på plass og gir elastisitet til banen, fylles kunstgresssteppet som regel med sand og/eller granulat. Av fyll finnes det mange produkter på markedet, og man skiller ofte mellom granulat av ny og resirkulert gummi. Her menes det om gummien er produsert for det aktuelle formålet eller om det gjenbrukes fra et annet produkt. I en egen kategori finner man miljøvennlig granulat. [9]

Resirkulert gummi

Det absolutt mest brukte fyllet er Styren Butadien Rubber (SBR) som er gummigranulat fra kasserte bildekk. Grunnen til at det er så mye brukt, er at prisen er mye lavere enn alternativene. Det produseres også granulat belagt med polyuretan som endrer fargen fra svart til grønn. Belegget gjør at prisen på granulatet blir mange ganger dyrere. Figur 2.2 viser et bilde av SBR-granulat. SBR kan belegges med polyuretan, som blant annet gir mulighet for å endre fargen fra svart til grønn. [9]

Granulat fra industriell gummi er produsert av restprodukter fra annet enn bildekk. For eksempel blir det framstilt av overskuddsmateriale fra vindusprofiler. Mye av den industrielle gummien kan være EPDM (etylen propylen dien gummi), da det er noe som ofte blir brukt til dette. [9]

Ny gummi

Gummigranulat som er produsert spesielt for en kunstgressbane, blir i bransjen omtalt som ny gummi. Denne består ofte av en blanding av syntetisk gummi og naturgummi. De to vanligste typene er termoplastiske elastomerer (TPE) og etylen propylen dien gummi (EPDM).

TPE er et kunstig fremstilt granulat, som er formet som runde plastkuler med en størrelse på ca. 2 mm, se Figur 2.3. En av fordelene med TPE er at det er luktfritt, noe som gjør det svært aktuelt for bruk i innendørs fotballhall. TPE har vært på markedet i mange år, leveres i flere farger, og er ikke statisk elektrisk (mindre fester seg til klær og sko). I motsetning til SBR og EPDM, er ikke TPE vulkanisert. Dette resulterer i lavere emisjon av kjemiske stoffer, siden det ikke er benyttet vulkaniseringskjemikalier. [9, 10]

EPDM er billigere enn TPE. Som man kan se på Figur 2.4, ligner EPDM og SBR i form, men kan leveres i forskjellige farger. Kvaliteten på gummigranulatet varierer. Er den av god kvalitet, er den godt egnet til bruk på kunstgressbaner. Er det derimot produsert på mye fyllstoff eller resirkulert EPDM, kan det medføre at gummigranulatet lett smuldrer opp. Ideelt sett bør granulatet testes, men dette krever en god del ekstra ressurser. På grunn av usikkerheten i kvalitet, anbefaler ikke Norges fotballforbund (NFF) bruk av EPDM med mindre man ikke er helt sikker på god kvalitet. [9]

Miljøvennlig fyllmateriale

På markedet i dag finnes det miljøvennlige fyllmaterialer, som sand og granulat av kork og kokosskall. Med miljøvennlig, menes det i denne sammenheng at utlekking av fyllet til naturen ikke er miljøskadelig.

Kork, som vist i Figur 2.5, har blitt testet ut som et erstatningsmateriale for gummigranulat. Erfaringer med bruk av kork- og kokosgranulat, har vist at fordelene er at det ligner mer en naturgressbane enn annet granulat både med tanke på utseende og spillegenskaper. Det blir ikke like varmt i sola, mindre blir dratt utenfor banen og det kleber ikke på klærne. Ulempene er hovedsakelig at det fryser lett, noe som fører til økt varmebehov for å holde det frostfritt, og det støver lett ved lengre perioder med varme og tørke. [11]

Sand kan benyttes som fyllmateriale for seg selv, men brukes som oftest sammen med et annet granulat. Da benyttes gjerne kvartssand, som er en spesialsand med krav til siktekurve, kvartsinnhold og rundhet. Kunstgressbaner med bare sand som fyll, er i Norge kun godkjent for breddefotball. Sand kan i likhet med SBR også belegges, men da brukes gjerne elastomerer eller polyetylen. [12]



Figur 2.2: SBR-granulat.
Utarbeidet fra: [13]



Figur 2.3: TPE-granulat.
Utarbeidet fra: [14]



Figur 2.4: EPDM-granulat.
Utarbeidet fra: [15]



Figur 2.5: Kork-granulat.
Utarbeidet fra: [16]

Uten fyll

Det produseres også spesielle kunstgressmatter hvor man ikke trenger fyll. Da sitter plastfibrene i kunstgressmatten tettere sammen. Det benyttes da gjerne forskjellige fasonger på plastfibrene, for eksempel noen spiralformet og noen rette. Den klare fordelen med denne løsningen er at det ikke er noe løst granulat som kan spres utover, eller feste seg på klærne. [17]

2.3.3 Dempningssjikt

For å få mer svikt i underlaget legges det et støtdempende materiale, kalt «pad», under kunstgressmatten. Materialet legges med en tykkelse på 15 – 30 mm, og består av gummigranulat og et bindemiddel av polyuretan (PU). Dette kan enten være en prefabrikkert matte, eller plass-støpt.

Fordelen med å velge et plass-støpt dempningssjikt, er at det kan brukes til å jevne ut banedekket. Er det store ujevnheter, vil dette imidlertid føre til ulik svikt. Er derimot overflaten nøyaktig avrettet, er det en fordel å benytte en prefabrikkert matte. Da er man sikret en jevn tykkelse, som vil gi like funksjonelle egenskaper for hele spilleflaten. Dempningssjiktet er viktigst hvis man benytter et kunstgress uten fyll. I mange tilfeller er det valgt å benytte en underlagspad, selv om man har granulat som sørger for tilstrekkelig svikt. Levetiden for dempningssjiktet er ofte lengre enn for kunstgresset [12].

2.3.4 Retningslinjer til bruk av kunstgress

Når det kommer til retningslinjer for bruk av kunstgress, avgjør NFF hva som godkjennes for bredde- og toppfotball. Det er derimot ingen granulattyper som utestenges på grunn av for lite kjennskap til helsevirkning eller med tanke på miljørisiko.

I følge Kulturdepartementets (tidl. Kirke- og kulturdepartementet) veiledning fra 2007 kan noen stoffer i granulat gi allergi og astma. De anbefaler derfor at innendørs kunstgressbaner ikke benytter granulat av oppmalte bildekk. Granulatet kan også medføre miljørisiko lokalt, derfor gjelder samme anbefaling for baner med drenering til sårbare resipienter. [18]

3 Teori

Dette kapittelet vil presentere teori som er relevant for utførelsen av oppgaven. Hovedvekten er generell teori om inneklima, mens noe også er rettet spesifikt mot fotballhaller. Noe av teorien er hentet med basis fra prosjektoppgaven, hvor det oppgis i teksten der dette gjelder.

3.1 Viktige faktorer

Jo mer man vet om et rom som skal ventileres, desto enklere er det å dimensjonere riktig for et godt inneklima. Noen faktorer som er viktig å tenke på når man skal prosjektere ventilasjon til et rom er:

- Rommets form og høyde
- Lufttemperatur
- Romflatenes temperatur
- Varme- og kjøleelementers plassering og effekt
- Lufthastigheter i rommet fra andre forhold
- Forurensningskilde og –plassering [15]

3.2 Effektiv luftfordeling

I følge Ventilasjonsteknisk håndbok, er det to krav til effektiv utnyttelse av ventilasjonsluften; effektiv luftfordeling og effektiv ventilasjon. For effektiv luftfordeling er betingelsene at 1) luften skal fordeles dit den trengs mest, 2) den relative alderen til luften skal være lavest i oppholdssonen og 3) romluftens gjennomsnittsalder skal være kortest mulig, og aldri høyere enn gjennomsnittsalderen til avtrekkslufta. [19]

Betingelsene for effektiv ventilasjon er at 1) pustesonen skal ha lavest konsentrasjon av forurensninger og lavere enn gjennomsnittet i rommet og 2) tiden forurensningsstrømmen bruker fra kilde til avtrekk skal være så kort som mulig, og helst kortere enn avtrekksluftens gjennomsnittsalder. [19]

Hovedpunktene for å oppnå dette er i følge håndboken blant annet å benytte lavemitterende bygningsmaterialer, kapsle inn forurensende prosesser, om mulig bytte til mindre forurensende prosesser og benytte lokale avsug der forurensningene er størst. [19]

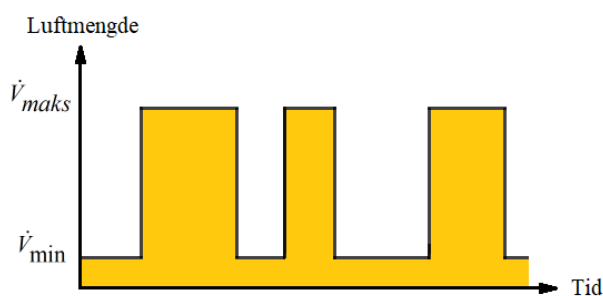
3.3 Regulering og styring

Hvis ventilasjonsbehovet vurderes å være tilnærmet likt i driftstiden, kan det tilføres en konstant luftmengde. Da brukes reguleringsspjeld kalt CAV (constant air volume). I rom hvor personbelastningen eller ulike prosesser varierer mye, vil det være mer aktuelt med VAV-regulering (variable air volume). Da kan luftmengder styres ved hjelp av for eksempel bevegelsessensor, tidsstyring eller bryter. Dette åpner også muligheter for behovsstyring (DCV – demand control ventilation) som kan reguleres ved hjelp av temperatur-, CO₂- eller VOC-nivå i rommet. Et ventilasjonssystem kategoriseres som VAV så lenge det er variabel luftmengde, men det kalles DCV-styring kun hvis reguleringen skjer automatisk etter et målt behov på romnivå [15]. [20]

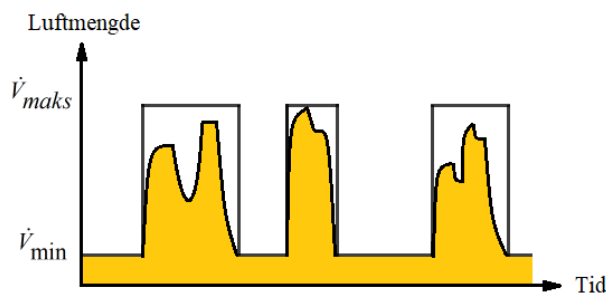
Det enkleste systemet er CAV som vist i Figur 3.1. På den andre siden er det mer energibesparende ved bruk av VAV-styring, enten brukerstyrt som vist i Figur 3.2 eller behovsstyrt som vist i Figur 3.3. VAV-styring gir høyere investeringskostnader, men hvis energibesparelsen er stor kan det over tid lønne seg økonomisk. [15]



Figur 3.1: Typisk luftmengdeforløp med CAV-styring. Utarbeidet fra exhausto.no [21]



Figur 3.2: Typisk luftmengdeforløp med brukerstyrt VAV-regulering. Utarbeidet fra exhausto.no [21]



Figur 3.3: Typisk luftmengdeforløp behovsstyrt VAV-regulering. Utarbeidet fra exhausto.no [21]

3.4 Luftmengder for personbelastning

Luftmengdene i et rom må tilfredsstillere luftkvalitetskravene i TEK (for bygningene TEK omfatter). Utover minstekravene i TEK, kan Arbeidstilsynets veiledning 444 og NS:15251 benyttes som ble presentert i 2.1.2 og 2.1.3. Luftmengdeberegninger kan i tillegg gjøres på grunnlag av CO₂-produksjon fra mennesker og forøvrig andre forurensningskilder.

Tilførsel av uteluft $\dot{V}_{uteluft}$ (m³/h) basert på CO₂-produksjonen fra en voksen person er gitt ved Likning (1), hvor M (met) er aktivitetsnivå, n er antall personer, $c_{CO_2, inne}$ (ppm) er krav til CO₂-konsentrasjon i inneluft, $c_{CO_2, ute}$ (ppm) er CO₂-konsentrasjonen i uteluften og ϵ_v (-) er ventilasjons-effektiviteten [15].

$$\dot{V}_{\text{uteluft}} = \frac{15 \cdot 10^3 \cdot M \cdot n}{(c_{\text{CO}_2, \text{inne}} - c_{\text{CO}_2, \text{ute}})} \cdot \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (1)$$

3.5 Ventilasjonens effektivitet

Luftvekslingstallet, n , sier hvor mye ventilasjonsanlegget tilfører av luftmengde i forhold til rommets volum, se Likning (2). Dette trenger imidlertid ikke å være samsvarende med hvor ofte romluften byttes ut. [15]

$$n = \frac{\dot{V}_{\text{luftmengde inn}}}{V_{\text{rommets volum}}} \quad (\text{h}^{-1}) \quad (2)$$

I motsetning til luftvekslingstallet som sier noe om luftmengdeforholdet, sier ventilasjonseffektiviteten noe om luftkvalitetsforholdet. Ventilasjonseffektiviteten, ε_v , er et mål som sier noe om hvor raskt ventilasjonssystemet kan transportere forurensninger ut av et rom, gitt ved Likning (3). Notasjon a står for avtrekk og op står for oppholdssonen. [15]

$$\varepsilon_{v,op} = \frac{C_a}{C_{op}} \quad (3)$$

Ved full omrøring er ventilasjonseffektiviteten lik 1, eller 100 %. Det er imidlertid en feiloppfatning at full omrøring er det beste, da ufullstendig omrøring kan gi bedre effektivitet, $\varepsilon_v > 1$. Den beste løsningen med tanke på effektivitet er som man så i 3.8.4 stempelstrøm. [19]

3.6 CO₂-konsentrasjon

I inneklimasammenheng brukes ofte CO₂-konsentrasjon som en indikator for luftkvalitet. Konsentrasjonene av CO₂ i normal luft er ikke giftig for mennesker, men kan gi en opplevd dårligere luftkvalitet. Høye CO₂-konsentrasjoner i et rom samsvarer gjerne med for lavt luftskifte, forurensende kilder og tilstedeværelse av andre forurensninger. Det er derfor vanlig at ventilasjonssystemer reguleres etter CO₂-nivå, eventuelt sammen med romlufttemperatur. Liste over krav, anbefalinger og konsekvens av ulike konsentrasjoner for CO₂ er vist i Tabell 3.1. Anbefalingen fra Arbeidstilsynets veiledning 444 sier at CO₂-konsentrasjonen ikke skal overstige 1 000 ppm i inneluft, noe som er i tråd med det legen og hygienikeren Max von Pettenkofer anbefalte allerede i 1858 [22]. [15]

Tabell 3.1: Krav, anbefalinger og konsekvens av CO₂-konsentrasjoner

CO ₂ [ppm]	Forklaring
350-400	Normalt nivå i uteluft
800	Økende antall misfornøyde over denne verdien
1 000	Anbefalt maksimum fra Veiledning 444
2 000 – 3 000	Luften føles tung, konsentrasjonen synker
5 000	Maksverdi fra Forskrift om tiltaks- og grenseverdier
5 000 – 10 000	Man føler seg trøtt

3.7 Luftskifteberegning

Endring i CO₂-konsentrasjon kan brukes til å regne ut luftskiftet i et rom. Ved å sørge for at det ikke er en intern CO₂-kilde i rommet i tidspunktet mellom start og slutt, kan luftskiftet regnes ut ved hjelp av Likning (4). C_0 og C_1 er CO₂-konsentrasjonen (ppm) ved start og slutt, Δt er antall timer mellom start og slutt, og n står for luftskiftet gitt i (h⁻¹). Likning (5) viser samme likning, men omformulert for å få ut n direkte. [23]

$$C_1 = C_0 \cdot e^{-n \cdot \Delta t} \quad (4)$$

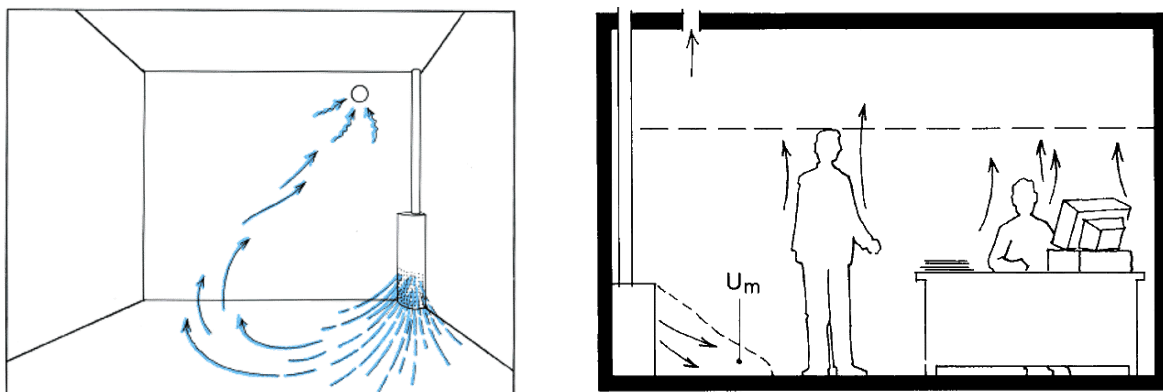
$$\Rightarrow n = -\frac{\ln\left(\frac{C_0}{C_1}\right)}{\Delta t} \quad (5)$$

3.8 Luftdistribusjon

Det finnes flere ventilasjonsprinsipp for luftfordeling hvor det som skiller dem er variasjoner i tilførsel- og avtrekksmetode og luftfordeling. De mest brukte prinsippene er omrøring- og fortrenningsventilasjon. Begge disse er eksempler på balansert ventilasjon, som betyr at tilluft- og avtrekksmengden er lik. I kapittelet presenteres fortrennings- og omrøringsventilasjon, i tillegg ser man på stempelstrøm og omvendt fortrenning som er varianter av tradisjonell fortrenningsventilasjon.

3.8.1 Fortrenningsventilasjon

Prinsippet med fortrenningsventilasjon er å utnytte varmluftsstrømmer over legemer som har en høyere temperatur enn romluften. Ved å tilføre undertemperert frisk luft ved lav hastighet i nedre del av rommet, vil varmluftsstrømmene over legemet fungere som transportører av luften til avtrekksjonen. På veien blir avgitte forurensninger fra legemene, som CO₂ og lukt, brakt over oppholdssonen til avtrekket. I Figur 3.4 ser man illustrasjoner som viser prinsippet med fortrenningsventilasjon. [15]



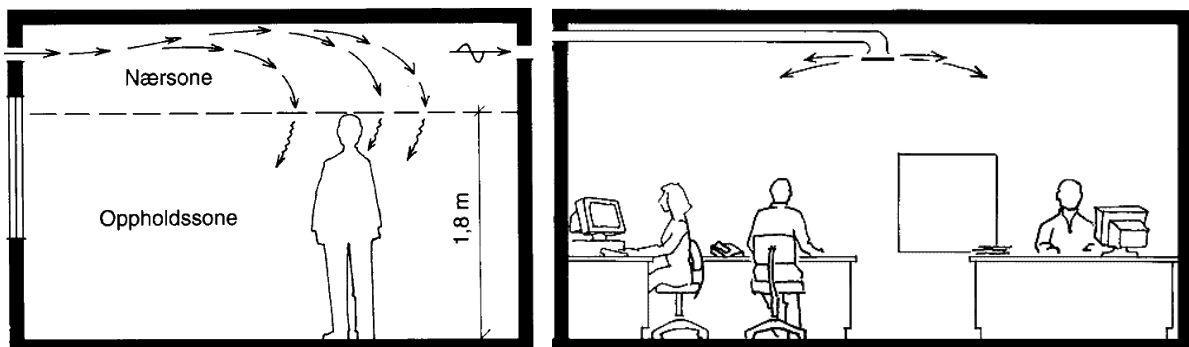
Figur 3.4: Illustrasjoner av fortrenningsventilasjon. Gjengitt med tillatelse [24]

Fortrenningsprinsippet er det mest effektive for ventilasjon. Prosessen som transporterer ut forurensninger forbedres, noe som gjør det lettere å opprettholde lave konsentrasjonsgradienter av forurensningene. [19]

3.8.2 Omrøringsventilasjon

Omrøringsventilasjon (også kalt fortynningsventilasjon) baserer seg på å tilføre frisk luft med høy hastighet, som skaper luftbevegelser i rommet. Strategien er å blande eventuelle forurensninger homogent i rommet. Forurensningen blir fortynnet ved å tilføre frisk luft og ta ut en del av den forurensede luften fra rommet. Illustrasjon av omrøringsventilasjon er vist i Figur 3.5. [25]

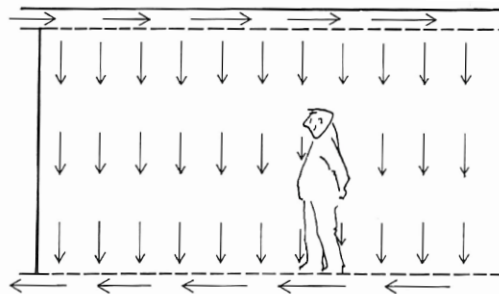
Ved dimensjonering med omrøringsventilasjon, setter man som regel at tilluften har lavere eller lik temperatur som rommet. Overtemperatur på tilluften er et alternativ, men krever mer nøyaktig prosjektering da feil plassering av tilluftventiler kan føre til at den friske luften går en rask vei til avtrekk, såkalt kortslutning av luftstrømmen. [15]



Figur 3.5: Illustrasjoner av omrøringsventilasjon. Gjengitt med tillatelse [24]

3.8.3 Stempelstrømventilasjon

Stempelstrøm er en ideell situasjon av fortrenningsventilasjon. Prinsippet går ut på å skape en ensrettet strømming fra en begrensingsflate til den motstående flaten. Strømningshastigheten for å oppnå dette varierer med hvor mange forstyrrelser det er i rommet. Om stempelstrømmen går fra tak til gulv, slik som illustrert i Figur 3.6, vil for eksempel varmekilder i rommet danne konveksjonsstrømmer i retning taket og dermed motvirke stempelstrømmen. Stempelstrømmen må derfor være sterkere enn forstyrrelsene, og er dermed ofte luftkrevende og gir høyere kostnader. Er det mange varmekilder i det rommet som skal ventileres, kan «forstyrrelsene» utnyttes ved at stempelstrømmen går fra gulv til tak. På denne måten kan luftmengdene reduseres noe. [19]

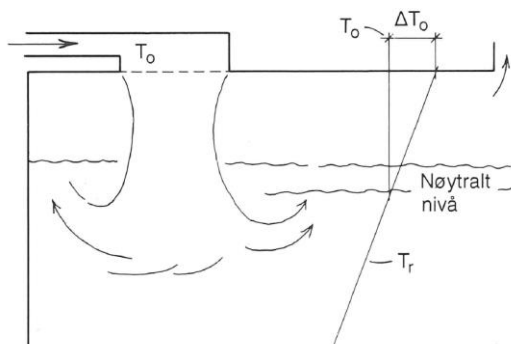


Figur 3.6: Stempelstrøm. Gjengitt med tillatelse [19]

3.8.4 Omvendt fortrenningsventilasjon

Omvendt fortrenningsventilasjon går ut på å fortrenge luft ovenfra og ned, altså tilluft ved tak og avtrekk ved golv. Prinsippet fungerer best om hovedkildene til forurensningen ikke avgir varme og avgir stoffer som er tyngre enn rom luften. [19]

I noen tilfeller kan det være fordelaktig å kombinere fortregning og omvendt fortregning, for eksempel i rom med store positive temperaturgradienter. Friskluft tilføres en høyde godt over oppholdssonen med en undertemperatur i forhold til temperaturen i den sonen. Når luften strømmer mot synkende temperatur, vil naturkreftene synke og til slutt skifte fortegn, da bremses luften opp og luften lagres i et nøytralt sjikt. Tilførselstemperaturen kan da justeres slik at det nøytrale sjiktet kommer i ønsket høyde, for eksempel pustesonen. Etter innlagring vil luftstrømmene bli som vanlig fortregning med konveksjonsstrømmer nedenfra og opp. Avtrekk kan plasseres ved tak eller fordeles i flere høyder. [19]



Figur 3.7: Omvendt fortrenningsventilasjon med to soner. Gjengitt med tillatelse [19]

3.9 Luftvekslingseffektiviteter

Luftvekslingseffektiviteter for noen situasjoner er gitt i Tabell 3.2. Av situasjonene i tabellen er stempelstrøm den med høyest ventilasjonseffektivitet. [15]

Tabell 3.2: Luftvekslingseffektiviteter for noen ventilasjonssituasjoner [15]

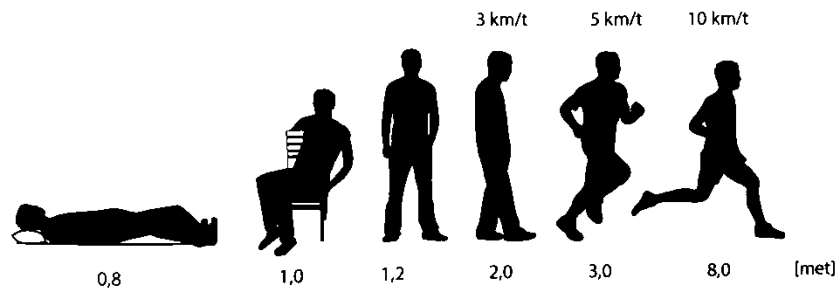
Ventilasjonsprinsipp	Luftvekslingseffektivitet
Stempelstrøm	$\epsilon_a = 100 \%$
Fortrenningsventilasjon	$50 \% < \bar{\eta}_a < 100 \%$
Fullstendig omrøring	$\epsilon_a = 50 \%$
Stagnasjon (kortslutning)	$0 \% < \bar{\eta}_a < 50 \%$

3.10 Termisk inneklime

Hvilken komforttemperatur en person har avhenger av en rekke faktorer. Miljøfaktorer er lufttemperatur, strålingstemperatur, lufthastighet og relativ fuktighet (RF). Personfaktorer er hovedsakelig bekledding og aktivitetsnivå. [15]

Metabolismen eller stoffskiftet hos et menneske defineres som den energien som utvikles ved oksidasjonsprosessen i kroppen. Energien går til å utføre mekanisk arbeid, men mesteparten til indre varmeproduksjon. Metabolismen hos et menneske øker med intensitet av fysisk aktivitet. 1 met er definert som varmeproduksjonen hos et voksent menneske som sitter, dette tilsvarer

58 W/m²_{kroppflate}. Figur 3.8 viser hvordan varmereproduksjon i met endrer seg med økt aktivitet. Ved høy aktivitet kan energiomsetningen til mekanisk arbeid være opp til 25 %. I elitesportsaktivitet kan man ha en metabolisme på omtrent 870 W/m²_{kroppflate}, noe som tilsvarer 15 met. Hvis den mekaniske omsetningen da er 25 %, blir varmereproduksjonen omtrent 650 W/m²_{kroppflate}. [15]



Figur 3.8: Aktivitetsnivå og metabolisme. Gjengitt med tillatelse [15]

3.11 Emisjon

Emisjon er avgassinger som kommer fra blant annet bygningsmaterialer, møbler og vaskemidler. Grad av emisjon avhenger av hvilke materialer som er benyttet, og omgivelsene de er i. Emisjon kan i noen tilfeller være gasser som avgir lukt, og dermed kan det skape et ubehag for mennesker. Noen gasser kan også gi negative helseeffekter ved gitte konsentrasjoner, men det er ikke slik at helseskadelige eller giftige gasser nødvendigvis avgir lukt. Det er derfor viktig å vite hvilke gasser et materiale kan avgir, helst før det tas i bruk. [15]

Når det er snakk om innemiljø, faller emisjon under kategorien atmosfærisk miljø. Drivkraften for emisjon er forskjellig i damptrykk, men emisjon påvirkes også av temperatur, ventilasjon og luftfuktighet. Emisjon forurensrer innelufta, men opplevd luftkvalitet er også avhengig av andre faktorer. Det er funnet at ved tørr og kjølig luft, oppfattes luftkvaliteten som bedre enn i fuktig varm luft, gitt like konsentrasjoner av forurensninger i lufta. [15]

Noen materialer avgir mer emisjon i fuktige omgivelser. Et eksempel på dette er vasking av gulv, som på grunn av hydrolysereaksjoner kan gi forhøyede emisjonsverdier. Det er derfor viktig å vite hvordan et materiale oppfører seg i de forhold de er tenkt å utsettes for. I tillegg, er det viktig å vite hvordan emitterte stoffer fra et materiale kan påvirke luftkvaliteten og om de kan gi negative helseeffekter. [26]

Valg av materialer er avgjørende når det kommer til hvor mye overflatene i rommet påvirker luftkvaliteten. I TEK er det krav om at produkter til byggverk skal gi ingen eller lav forurensning til innelufta. Der angis det også minstekrav til luftmengder, men disse kan kun benyttes når bygnings- og overflatematerialene er dokumentert å være lavemitterende. [2]

3.12 Svevestøv

Svevestøv er partikler som kategoriseres i størrelsesgrupper ut fra den aerodynamiske diameteren. Det består av partikler i lufta som er så små at de kan pustes inn. De kategoriseres ut fra størrelsene ultrafine fraksjoner (PM_{0,1}), finfraksjoner (PM_{2,5}), grovfraksjoner (PM_{10-2,5}) og grovfraksjon + finfraksjon (PM₁₀), som er de viktigste størrelsene. [27]

Når man måler eksempelvis PM₁₀, vil den verdien tilsvare alle partikler i lufta som er opptil 10 µm. På samme måte vil PM_{2,5} inkludere alle partikler i lufta som er opptil 2,5 µm. Skal man se på partikler som er mellom 2,5 µm mindre enn 10 µm, skrives verdien som PM_{2,5-10}. [28]

Høye svevestøvverdier innendørs kan være et tegn på dårlig luftkvalitet. Årsaker kan da være for lavt luftskifte over tid, ineffektiv ventilasjon med tanke på luftdistribusjon i rommet og mange eller sterke svevestøvkilder, for å nevne noen. [29]

Svevestøv blir generert av ulike prosesser og aktiviteter. I en fotballhall kan disse kildene være oppvarmingssystem og overflatematerialer (kunstgress, kunstgressgranulat, type vegg og tak).

Folkehelseinstituttets «Anbefalte faglige normer for inneklima» angir at grenseverdier for svevestøv i innemiljø ikke bør overstige 15 µg/m³ for PM_{2,5} og 30 µg/m³ for PM₁₀ [29]. For uteluft gir WHO (World Health Organization) retningslinjer til svevestøv, med grenseverdi på 25 µg/m³ for PM_{2,5} og 50 µg/m³ for PM₁₀ [30, 31]. Alle verdiene nevnt her er anbefalte grenseverdier for døgnmiddel, hvor den anbefalte grenseverdien for årsmiddel er lavere.

3.12.1 Helseeffekter knyttet til svevestøv

Størrelsen på svevestøvpartiklene er en viktig faktor for å bedømme hvilke helseeffekter det kan medføre. Små partikler kommer lenger ned i respirasjonssystemet og kan gjøre mer skade enn de større partiklene. Når det er sagt, er det også betydningsfullt å vite hvilke kjemiske forbindelser svevestøvet inneholder. En PM_{2,5}-verdi på 10 µg/m³ målt ved en trafikkert vei, gir ikke nødvendigvis de samme helseeffektene som en PM_{2,5}-verdi på 10 µg/m³ målt inne i en fotballhall. Blant de som sterkest påvirkes av uheldige komponenter i inneluften er barn og unge. I en fotballhall er majoriteten av brukerne ofte barn og unge. [29]

Det er lite kunnskap av helseeffekter knyttet til svevestøv i innemiljø. Den forskningen som er gjort, viser imidlertid at det kan være en sammenheng mellom svevestøv og utvikling/forverring av luftveissymptomer. Det er mer forskning på helseeffekter knyttet til svevestøv i uteluft, hvor mulige negative helseeffekter er blant annet redusert lungefunksjon, økt hoste og bronkitt, astmaanfall, KOLS og hjerte- og karsykdom. [29]

4 Metode

I dette kapitlet vil ulike forskningsmetoder presenteres. Det vil videre beskrives hvilke metoder som er brukt i denne oppgaven og hvorfor.

Kildehenvisning er gjort på den måten at når en kilde kommer i slutten av en setning, gjelder den kun setningen. Når en kilde kommer til slutt i et avsnitt, er hele avsnittet basert på den kilden.

4.1 Forskningsmetoder

Metode kan beskrives som fremgangsmåten som følges mot et mål. Når man velger en metode, er det viktig å kjenne til hvilke usikkerheter som ligger implementert i metoden. På denne måten kan man vurdere hvordan valg av metode har påvirket resultatet. [32]

Kvalitativ og kvantitativ metode

I vurdering om hvordan en problemstilling skal angripes, skilles det ofte mellom kvalitativ og kvantitativ metode. En kvantitativ metode gir data i målbare enheter, hvor man kan regne på et gjennomsnitt eller finne prosentandeler. En kvalitativ metode vil derimot undersøke meninger, opplevelser eller fenomener som ikke lar seg tallfeste. I enkelte undersøkelser vil ikke metoden alltid være rent kvantitativ eller kvalitativ, men en blanding. Eksempelvis vil forskeren som benytter kvantitative data også benytte en viss grad av tolkning av sine resultater. Det som da skiller kvalitativ og kvantitativ metode fra hverandre, er hovedsakelig måten man samler inn data på. [32]

Reliabilitet og validitet

For at en metode skal kunne gi troverdig kunnskap, må kravene til validitet og reliabilitet overholdes. Validitet står for relevans og gyldighet. Dette betyr at det som måles må være relevant og gyldig for det problemet som undersøkes. Reliabilitet betyr pålitelighet, som betyr at målingene må gjennomføres korrekt og at feilkilder oppgis. [32]

4.2 Valgte metoder

Metodene som er benyttet i denne oppgaven er litteraturstudie, testforsøk og digital spørreundersøkelse. I dette kapitlet ser man på styrker og svakheter som er implementert i de valgte metodene. I tillegg gis det en overordnet beskrivelse av hvordan de ulike metodene ble gjennomført.

4.3 Litteraturstudie

Denne masteroppgaven har vært kumulativ i form av at den er forsøkt å bygge videre på forskning som allerede er gjort og som man har tillit til. Litteratursøk har derfor vært en betydelig del av prosessen.

Litteraturstudie er en fortsettelse av prosjektoppgaven, hvor de viktigste funnene fra prosjektoppgaven er inkludert. For å undersøke hvilken forskning og litteratur som allerede foreligger rundt emnene som oppgaven omhandler, ble databasene Google Scholar og Oria benyttet. Ved funn av litteratur ble den bedømt med tanke på troverdighet, objektivitet, nøyaktighet og relevans.

4.4 Spørreundersøkelse

Det ble gjennomført en spørreundersøkelse for brukere av to fotballhaller. Målet var å kunne si noe om hvordan de som benytter hallene opplever luftkvaliteten og de termiske forholdene.

For å nå ut til flest mulig, ble spørreundersøkelsen gjennomført digitalt med NTNU sitt system «SelectSurvey». Det ble opprettet et spørreskjema for hver hall, som ble delt på den respektives internsider via link. Spørreundersøkelsen ble meldt inn til Norsk Senter for Forskningsdata (NSD) og godkjent før undersøkelsen ble gjennomført.

Undersøkelsen ble gjort på et tilfeldig utvalg. Dette ble ansett som mest hensiktsmessig, da man ville avdekke om det er misnøye med luftkvalitet og termiske forhold fra brukerne sitt ståsted. Hvis en misnøye hadde vært kjent, kunne man gjennomført undersøkelsen på et selektert utvalgt med de som uttrykker misnøye, for å finne årsak og løsning.

For et mest mulig riktig resultat, ble det lagt vekt på å unngå ledende spørsmål. Eksempelvis spurte man om hvordan temperaturen oppleves, i stedet for å spørre om det som regel er kaldt i hallen.

Det var utfordringer med å få inn svar. I et forsøk på å øke motivasjon for å svare på undersøkelsen, ble det annonsert at en respondent fra hver hall skulle vinne et gavekort à 200 kroner på en lokal sportsbutikk. Det ble satt inn en sperre slik at linken kunne benyttes opptil to ganger fra hver enhet. Bakgrunnen for dette var å forhindre at noen kunne sende inn flere svar for å øke vannersjansen, som dermed ville ført til en større usikkerhet til undersøkelsen. Grunnen til at linken kunne benyttes to ganger og ikke en, var at man kunne trykke inn for å se men likevel ha en mulighet til å fullføre skjemaet senere.

4.4.1 Korrelasjon

Sammenhengen mellom utvalgte spørsmål ble funnet ved hjelp av korrelasjonsanalyse. Korrelasjon er en regnemetode i statistikken for å teste sammenheng eller grad av avhengighet mellom to hendelser. Korrelasjonsverdien ρ er et tall mellom -1 og +1, hvor absoluttverdien viser hvor sterk sammenheng det er mellom to variabler. En korrelasjonsverdi på -1 tilsier negativ lineær sammenheng, mens 1 tilsier lineær sammenheng i positiv retning. Når ρ mellom to variabler er 1 er det en lineær sammenheng, og at man kan forutsi verdien til den ene variabelen når vi kjenner den andre. [33]

En ρ -verdi er nær 1, svarer til at hvis den ene variabelen har en høy verdi, vil den andre variabelen også mest sannsynlig ha en høy verdi. Er ρ derimot nær -1, vil en høy verdi av den ene variabelen forekomme samtidig som en lav verdi av den andre. Det viktig å merke seg at en høy korrelasjon ikke nødvendigvis betyr at den ene hendelsen skjer på grunn av den andre, kun at de forekommer samtidig. Tabell 4.1 viser grad av korrelasjon for ρ -verdier. [33]

Tabell 4.1: Korrelasjonsgrad ved forskjellige p-verdier [34]

Korrelasjon	Definisjon
$ \rho = 1$	Lineær korrelasjon
$ \rho > 0,70$	Veldig sterk korrelasjon
$0,50 < \rho \leq 0,70$	Sterk korrelasjon
$0,20 < \rho \leq 0,50$	Svak korrelasjon
$0 \leq \rho \leq 0,20$	Ubetydelig korrelasjon

4.5 Prøvetakingsstrategi

I dette kapittelet presenteres det hvilke parametere som ble målt og hvorfor. Deretter beskrives måleoppsettet.

For å måle i noen haller, ble det lagd en måleplan på forhånd, så detaljert som mulig. Først og fremst var det viktig å bestemme hva man ville finne ut. Med det på plass, ble det sjekket om nødvendig utstyr var tilgjengelig.

Problemstillingen i oppgaven er å finne konsepter for ventilasjon som er aktuelle for innendørs fotballhaller. Målinger i hall ble valgt for å kunne underbygge hvor vidt et ventilasjonssystem trengs. Med bruk av forskningsspørsmålene, var målet å lage et oppsett som kunne gi svar på disse.

Det ble gjennomført målinger av utvalgte fysiske størrelser i to innendørs fotballhaller. Formålet var å kunne si noe om hvordan status er med tanke på luftkvalitet i de respektive hallene. Det ble målt svevestøv, lufttemperatur, relativ fuktighet og CO₂-konsentrasjon i lufta.

4.5.1 Måleparameterne

CO₂-konsentrasjon

Å måle CO₂-nivå i hallen kan være en måte å anslå luftkvaliteten. Det er nyttig å kunne observere om konsentrasjonen er veldig høy i forhold til ute, om den stiger mye mens hallen er i bruk og hvor raskt det eventuelt synker igjen. Dette vil kunne gi et bilde på hvor stort luftskifte det er i hallen.

Svevestøv

En annen metode for å si noe om forurensninger inne i hallen, er å måle svevestøv. En høy konsentrasjon av partikler i lufta kan tyde på en eller flere betydelige forurensningskilder og/eller for lavt luftskifte.

Forurensningskilden kan også komme utenfra. Derfor bør det også måles utenfor hallen.

Temperatur

Lufttemperaturen i hallen vil si noe om det termiske miljøet. I sammenligning med lufttemperaturen ute, kan man også si noe om hvordan det termiske miljøet påvirkes av utetemperaturen.

Relativ fuktighet

Den relative luftfuktigheten i hallen sier i likhet med temperatur, noe om det termiske miljøet. Det vil også være relevant å se på luftfuktigheten inne i forhold til ute. Temperatur og relativ

fuktighet er også parametere som kan påvirke nivået av svevestøv. Eksempelvis vil et fuktig klima bidra til mindre oppvirvling av svevestøv.

4.5.2 Måleoppsett/måleplan

I dette kapittelet presenteres hvilket måleutstyr som ble benyttet. Det beskrives også hvordan målingene ble gjort.

Måleoppsett

Det ble forsøkt å utføre målingene på samme måte hver gang i begge hallene, for å lettere kunne sammenligne resultatene. Målingene er gjort på hverdager, hvor hallene hovedsakelig benyttes ettermiddag/kveld. Grunnet tilgang på ett sett med måleutstyr, måtte man måle i en hall av gangen. Tabell 4.2 gir oversikt over når testforsøkene i T1 og T2 ble gjennomført.

Tabell 4.2: Tid og sted for testforsøk

Når	Testobjekt
01.03	T1
05.03-07.03	T2
09.04-11.04	T2
11.04-13.04	T1

Måleutstyr

Måleutstyret som ble benyttet i testforsøkene er beskrevet i Tabell 4.3 med hva de måler og bilde. Måleinstrumentet for svevestøv (Aerotrak Particle Counter) teller i utgangspunktet antall partikler i de ulike størrelsesområdene. Dataene er i tillegg eksportert som massekonsentrasjon. Da er instrumentet innstilt med en gjennomsnittstetthet for partiklene som er utgangspunktet for omregningen. Da det ikke er kjent hvilke stoffer som er dominerende av de ulike størrelseskategoriene, er denne antakelsen en mulig feilkilde. Den gir likevel et bilde på massekonsentrasjonen, som gjør det lettere å sammenligne med grenseverdier.

Bemerk at når Aerotrak Particle Counter viser svevestøv angitt som $PM_{0,3}$, betyr dette alle partikler med aerodynamisk diameter fra 0,3 til 10 μm . Når det angis normer og anbefalte grenseverdier for PM_{10} , betyr dette alle partikler med aerodynamisk diameter opptil 10 μm . Dette betyr altså at $PM_{0,3}$ fra måleapparater egentlig er det som omtales i standarder som PM_{10} . [35, 36]

Tabell 4.3: Oversikt av måleutstyret som ble benyttet

Navn og måleparameter	Bilde
<p>Pegasor AQ™ Indoor Air Quality Monitor [37]</p> <ul style="list-style-type: none"> - CO₂ [ppm] - Relativ fuktighet [%] - Temperatur [°C] 	
<p>AeroTrak™ Handheld Airborne Particle Counter (9306-V2) [38]</p> <ul style="list-style-type: none"> - PM_{0,3-10} [µm/m³] 	
<p>EasyLog USB Data Loggers, (EL-USB-2) [39]</p> <ul style="list-style-type: none"> - Relativ fuktighet [%] - Temperatur [°C] 	

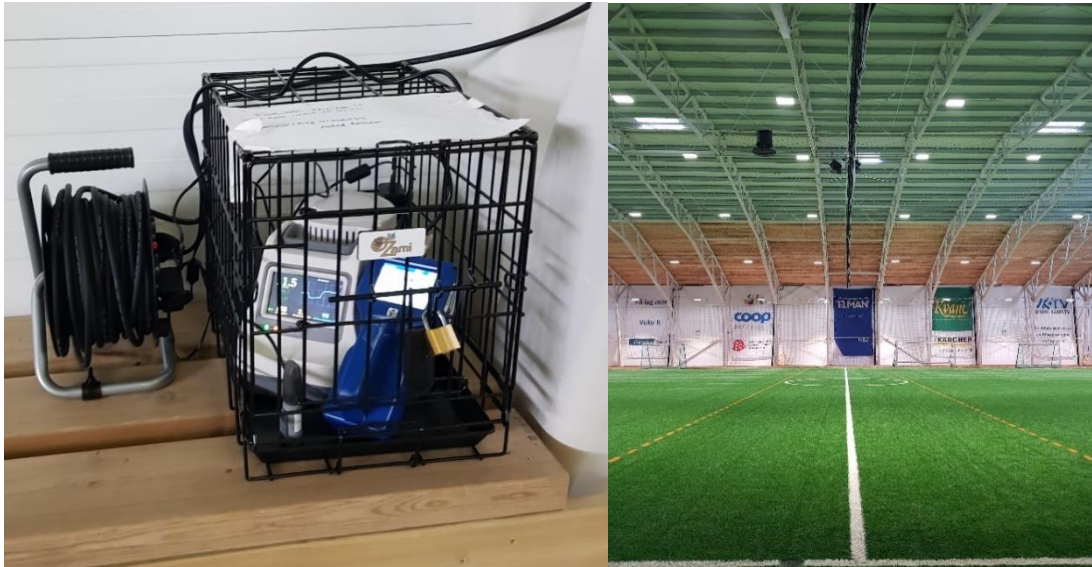
Målinger utenfor hallen

Før og/eller etter målingene i hallen, ble det tatt en korttidsmåling utenfor hallen med samme utstyr som ble benyttet inne i hallen. På denne måten kunne man se CO₂-konsentrasjon og svevestøv i omgivelsene. Man fikk ikke tatt kontinuerlige målinger utenfor hallen, men man kan anta samme størrelsesorden.

Målinger i hallen

Inne i hallen ble måleutstyret satt opp midt på den ene langsiden av banen. Dette målepunktet ble valgt fordi det er det nærmeste man kommer midt på banen, uten å være på banen.

Hovedsakelig ville man se på hvordan verdiene endret seg og sammenligne med både utendørsmålinger og verdier fra den andre hallen. Det var derfor viktig å utføre målingene mest mulig likt i begge hallene, slik at man kunne sammenligne. Hvis formålet hadde vært å finne eksakte verdier som er representative for hallen, ville det vært mer hensiktsmessig å ha flere målepunkt i hallen og ta gjennomsnittet.



Figur 4.1: Bilde av måleutstyret under testforsøk og fra utstyrets plassering. [Foto: Ressem, A.]

4.5.3 Signifikans

I sammenligning av resultater mellom T1 og T2, ble det gjort signifikansanalyse for å se om forskjellene var statistisk signifikante. Signifikanssannsynlighet baserer seg på å teste en nullhypotese på grunnlag av innsamlet data. Formålet med testingen kan være å sjekke om forskjell i to måleserier skyldes tilfeldighet eller om de er signifikant forskjellig. Signifikans kan finnes ved å kjøre en t-test i databehandlingsprogrammene Excel eller SPSS. For å gjøre dette må man først velge hvor stor sannsynlighet for forkastningsfeil som er akseptert, kalt signifikansnivået α . En vanlig verdi er $\alpha = 0,05$. Fra analysen får man ut en p-verdi mellom 0 og 1. Man kan sette en nullhypotese, H_0 , som sier at det ikke er signifikant forskjell mellom to måleserier. Gir p-verdien da et tall som er større enn α , beholder man H_0 . Hvis p-verdien er mindre enn α , forkaster man H_0 og konkluderer med H_1 ; Det er signifikant forskjell mellom måleseriene. [33]

4.6 Presentasjon av casehaller

Som et casestudie, ble det valgt ut to haller i Trøndelag som ble undersøkt nærmere. I begge hallene ble det både tatt luftmålinger og det ble gjennomført en spørreundersøkelse for brukerne. I dette kapittelet forklares bakgrunnen for valg av hall og beskrivelse av hver hall. Man ser også på en tredje hall som ikke ble inkludert i denne undersøkelsen, men som ville vært interessant å sammenligne med.

I kapittel 5.2 ser man at det er funnet en sammenheng mellom luftkvalitet og type granulat. Dette var en av motivasjonene for å sammenligne haller med forskjellig type gummigranulat. I utvelgelsen av haller til casen, ble de vurdert etter størrelse, type granulat og nærhet til NTNU. Det var ønskelig at hallstørrelsene var like, men hadde ulikt granulat.

Hallene som ble valgt omtales gjennom hele oppgaven som testobjekt 1 (T1) og testobjekt 2 (T2). Banestørrelsen er omtrent lik og har henholdsvis SBR- og TPE-granulat. Hallene er dessuten satt opp av samme leverandør som preger likheten.

4.6.1 Hall med SBR som kunstgressgranulat

Testobjekt 1 er en innendørs fotballhall som åpnet i 2012. Det er en treningshall med en spilleflate på 44x68 m² av totalt 50x75 m² gulvareal. Granulatet i kunstgresset er av typen SBR. Hallen har ingen mekanisk ventilasjon. Oppvarmingen er en gasskanon på 100 kW med propan som drivstoff. Hallen er et samarbeidsprosjekt mellom fire nærliggende idrettslag. T1 ligger i et tettbebyggt strøk, omtrent 300 meter fra trafikkert hovedvei. [40, 41]



Figur 4.2: Utenfor testobjekt 1 [Foto: Ressem, A.]



Figur 4.3: Inne i testobjekt 1 [Foto: Ressem, A.]

4.6.2 Hall med TPE som kunstgressgranulat

Testobjekt 2 ble satt opp i 2015. Med en spilleflate på 40x60 m² av totalt 52x75 m² gulvareal, defineres hallen som en treningshall. I tillegg til kunstgressflaten, er det løpebane på den ene langsiden, og diverse rom (treningsrom, garderobeanlegg, møterom og kontor) på den ene kortsiden. Rommene omtalt som «diverse rom», har eget system både for oppvarming og ventilasjon. Dette gjør at man kan se rommet med kunstgressdekket i, som en sone. Kunstgressgranulatet er av typen TPE. Hallen har mekaniske vifter over banen, uten filter eller varmegjenvinning. Det er to tilluftsvifter, hvor hver vifte har en makskapasitet på 12 000 m³/h, og en avtrekksvifte med makskapasitet på 17 000 m³/h. Viftene går som regel på 50 % av makseffekt, og reduseres ytterligere på vinterhalvåret etter hvor kaldt det er utendørs. Oppvarmingen er en propangasskanon på 100 kW. Hallen eies og drives av det lokale idrettslaget. Hallen ligger på landet, omtrent 100 meter fra lavt trafikkert vei. [42, 43]



Figur 4.4: Utenfor testobjekt 2. Utarbeidet fra innherred.no [44]



Figur 4.5: Inne i testobjekt 2 [Foto: Ressem, A.]

4.6.3 Hall uten kunstgressgranulat

Det ville vært interessant å utføre testforsøk og spørreundersøkelse i en fotballhall med kunstgress uten granulat. Det viste seg at den nærmeste hallen var i Bærum. Begrensninger med tanke på tid og økonomi, medførte at denne hallen ikke ble inkludert i undersøkelsen.

4.7 Energibehov

Energibehovet av en standard treningshall er simulert ved hjelp av SIMIEN. Inndata er hentet fra testobjektene, der det var mulig. Banestørrelse og høyde til areal- og volumberegning er hentet fra Kulturdepartementets veileder «Målbok for idrettsanlegg». Energiberegningen er kun ment som et estimat for energibehov, blant annet til sammenligning mot energikravene til TEK.

5 Litteraturstudie

I dette kapittelet ser man på hva eksisterende forskning sier om hvordan man bør ventilere en innendørs fotballhall. Det er ikke funnet noen studier som vurderer ventilasjon i innendørs fotballhaller. Det er derfor fokusert på ventilasjon av andre haller og store rom generelt. Deretter er det sett på hvordan bruk av kunstgress og gummigranulat innendørs kan påvirke ventilasjonsbehovet. Avslutningsvis i kapittelet ser man på studier som har vurdert helseeffekter knyttet til kunstgress og gummigranulat.

5.1 Ventilasjon

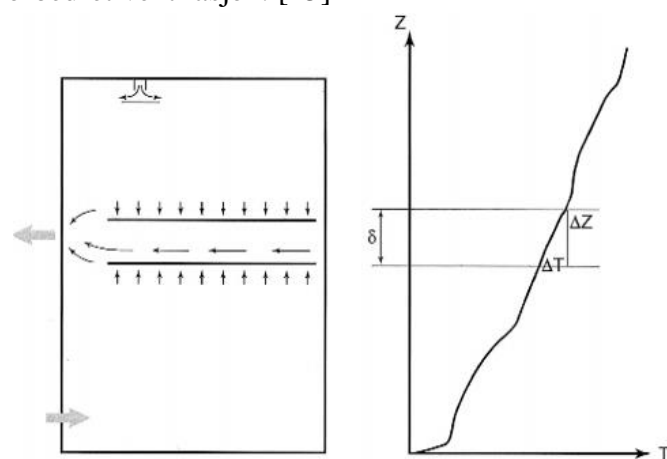
Kapittelet inkluderer studier som har vurdert eksisterende ventilasjonssystem i ulike haller og noen strategier som er relevante for fotballhaller.

5.1.1 Ventilasjon av store volum

Selektiv ventilasjon er et konsept som utnytter temperaturgradienten slik at et stort volum kan ventileres i flere soner. Ved å tilføre luft i to forskjellige høyder med avtrekk i midten, oppnår man to soner hvor plasseringen av avtrekket bestemmer hvor soneinndelingen blir. Figur 5.1 viser en prinsippskisse av selektiv ventilasjon, hvor det er tilluft ved golv og tak, og avtrekk i midten. Målet er å få en soneinndeling som kan redusere ventilasjonsbehovet, ved at man slipper å ventilere like mye i hele rommet. Lagdelingen er derfor relevant i store rom hvor ventilasjonsbehovet varierer. Skal prinsippet kunne utføres er man imidlertid avhengig av en viss temperaturgradient. [45]

Det er store forskjeller i ventilasjonsbehov i bygninger med store volum, sammenlignet med mindre bygninger. I industribygg er det gjerne prosesser og aktiviteter som produserer både varme og forurensninger. Disse vil kreve forskjellig ventilasjonsbehov, både på grunn av hvilke luftkvaliteter som kreves for å oppnå best resultat og hvor mye forurensninger de produserer. [45]

Luftstrømninger i rom med store volum domineres av konveksjon og termisk stratifikasjon. Varm luft stiger ved hjelp av oppdriftskrefter, som gir en temperaturgradient mellom golv og tak. Stratifikasjonseffekter er ofte blitt sett på som uønsket og det gjøres noen steder tiltak som reduserer stratifiseringen, som igjen fører til høyere energiforbruk. I stedet kan stratifisering utnyttes til å oppnå forbedret ventilasjon. [45]



Figur 5.1: Prinsippskisse av selektiv ventilasjon. Gjengitt med tillatelse [45]

Hovedforskjellen med et idrettsbygg i forhold til et industribygg, er at idrettsbygget som regel har mindre internlaster. Spørsmålet er da om temperaturgradienten i fotballhaller kan bli stor nok til at dette prinsippet kan overføres til disse hallene. Lagdelingen vil å så fall være veldig relevant, da det er et stort volum over oppholdssonen hvor ventilasjonsbehovet er svært lavt.

5.1.2 Veiledning for ventilasjon av idrettshaller

Dette kapittelet er basert på prosjektoppgaven [7]

I Kulturdepartementets veiledning «Idrettshaller. Planlegging og bygging», drøftes det hva man må tenke på når man skal ventilere hallene basert på bruksformål. Her påpekes det at prosjektering skal gjennomføres i henhold til gjeldende forskrift om tekniske krav til byggverk. Det anbefales separate systemer for varme og ventilasjon, men dersom dette kombineres må systemet kunne tilføre både høy og lav luftmengde ved både på over- og undertemperatur. På grunn av redusert luftkvalitet ved luktoverføring mellom avtrekk og tilluft, anbefales det ikke omluftsystemer. Det anbefales eget ventilasjonsaggregat for hall og tribuneområde. Ellers kan det benyttes et omluftsystem, men da må friskluftsandelen reguleres i henhold til personbelastning til enhver tid, altså behovsstyrt VAV. [46]

I veiledningen er det gitt anbefalte luftmengder per gulvareal, og luftmengde per person i kategoriene aktiv utøver eller tilskuer. Anbefalt luftmengde per gulvareal er $7 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{m}^2)$. For aktive utøvere er anbefalingen $150 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{pers})$ og for tilskuere $26 \text{ m}^3/(\text{h}\cdot\text{pers})$, som behovsstyres etter CO_2 -temperatursensor. Veiledningen sier imidlertid ikke hvor stor personbelastning hallen skal dimensjoneres ut fra, noe som vil ha mye å si for størrelsen av ventilasjonsaggregatet. [46]

Haller hvor det kreves planløsning, utforming og materialvalg primært for en spesiell idrett, som en fotballhall, er definert som spesialhall og er ikke inkludert i veiledningen. For planlegging og bygging av spesialhaller henviser veiledningen til å kontakte det aktuelle særforbund. NFF har imidlertid ikke publisert veiledning for ventilasjon av fotballhaller. [46]

5.1.3 Naturlig ventilasjon av idrettshall

Et studie fra Deakin University i Australia analyserte i 2012 luftkvaliteten i en innendørs flerbrukshall med hybrid ventilasjon. Hallen hadde et volum på $22\,320 \text{ m}^3$, noe som ligner på størrelsen til en treningshall for fotball. På den ene langsiden av hallen var det 19 ventiler på $950\text{mm} \times 950 \text{ mm}$ plassert lavt på vegg, under vinduer. I tillegg var det tre avtrekksvifter i taket for å hjelpe den naturlige ventilasjonen, men disse var i bruk kun noen timer hver dag. [47]

Da hallen ligger i et klima som er varmt og fuktig, er det et betydelig kjølebehov. Hallen hadde problemer med overoppheting, noe som var grunnen til at ventilasjonssystemet ble undersøkt. Der viste det seg at temperaturen på ventilene ble over $50 \text{ }^\circ\text{C}$ i løpet av dagen, noe som medførte at ventilene fungerte som varmebatteri når luft strømmet gjennom. De fant ved hjelp av CO_2 -målinger at avtrekksviftene kunne skrus av i 3-4 timer i strekk uten at det gikk på bekostning av luftkvaliteten. Løsningen ble dermed at avtrekksviftene ble slått av på de varmeste timene på dagen. Ved testing av ulike plasseringer av avtrekksvifter, fant de at god luftkvalitet i oppholdssonen lettere oppnås hvis de plasseres på en lavere høyde fremfor i taket. [47]

Fra sporgassmålinger fant de også at luftskiftet var $2,7 \text{ h}^{-1}$ med avtrekksviftene på, og $0,4 \text{ h}^{-1}$ uten. Viftene hadde til sammen en kapasitet på $27 \text{ m}^3/\text{s}$, noe som burde gitt et luftskifte på $4,35 \text{ h}^{-1}$. Denne feilmarginen ble forklart med at det ikke var full omrøring i hallen. At målt ventilasjonsmengde er lavere enn det som beregnet, er også funnet i annen litteratur [48]. [47]

5.1.4 Ventilasjon av fotballstadion

Et studie gjennomført ved universitetet i Athen undersøkte hvilke parametere som hadde størst påvirkning på luftkvaliteten i idrettshaller. I undersøkelsen vurderte de to fotballstadioner, en med naturlig ventilasjon og en med mekanisk ventilasjon. Begge hadde direkte åpning over spilleflaten [49]

I begge bygningene ble det observert en økning av forurensning mens det var aktivitet i hallene, men konsentrasjonene var stabilt høyere i hallen med naturlig ventilasjon. Luften i hallen med mekanisk ventilasjon var mer isolert fra miljøet utenfor, siden uteluften hovedsakelig ble tatt inn gjennom ventilasjonsaggregatets luftinntak. Begge hallene ble betydelig påvirket av type aktivitet og vindforholdene i områdene. [49]

Studiet konkluderte med at for å oppnå god luftkvalitet i store rom, som stadioner og idrettshaller, må parameterne sees i sammenheng. De viktigste faktorene var forurensningen fra omgivelsene, bygningens lokasjon, plassering av bygningens fysiske åpninger, ventilasjonsløsning, driftsmønster og materialbruk innendørs. [49]

5.2 Emisjoner fra kunstgress og gummigranulat

I litteratursøket ble det funnet to studier som har testet emisjoner fra kunstgress og gummigranulat basert på luftmålinger. Det ene er gjort i innendørs fotballhall og det andre er gjort i henhold til ISO-standard 16000-9. Et annet studie har sett på hvordan gummigranulat brytes ned og kan føre til høyere emisjoner over tid.

5.2.1 Emisjon av gummigranulat i innendørs fotballhall

Dette kapittelet er basert på prosjektoppgaven [7]

Norsk institutt for luftforskning (NILU) utførte i 2005 målinger av konsentrasjon av TVOC og polysykliske aromatiske hydrokarboner (PAH) i lufta i tre innendørs fotballhaller [50]. I tillegg testet de konsentrasjon og kjemisk sammensetning av svevestøv. Formålet var å vurdere helseeffekter og gjøre eksponeringsberegninger. De testet inneluft i tre haller, en hall med kunstgress med ett år gammelt SBR-granulat, en med nytt SBR-granulat og en med TPE-granulat, henholdsvis Manglerudhallen, Valhall og Østfoldhallen. Kort oppsummert fant de at gummigranulat av SBR genererer mer forurensninger til innelufta enn TPE. [50]

De målte på svevestøv ved å ta partikkelprøver. De bestemte forholdet mellom elementært karbon (sot) og organisk karbon i partikkelprøvene, for å kunne se hvor stor andel som var organisk og uorganisk. Ved hjelp av sporstoffmålinger kunne man på denne måten finne kilden til svevestøvet. De fant at alle tre hallene hadde svevestøvkonsentrasjoner for PM_{10} man må forvente i et innemiljø. Østfoldhallen hadde et normalt $\text{PM}_{2,5}$ -nivå, mens de to andre hallene hadde noe høye verdier. Oversikt over gjennomsnittsverdiene for svevestøv fra de undersøkte hallene er gitt i Tabell 5.1. Manglerudhallen hadde full lufting ved målingene, derfor kan det tenkes at man ville fått noe høyere verdier hvis det ikke hadde vært lufting. Svevestøvet som

ble målt i Manglerudhallen og Valhall inneholdt en vesentlig andel gummi, mens for Østfoldhallen var andelen betydelig lavere. [50]

Tabell 5.1: Svevestøvmålinger fra fotballhallene [50]

	PM ₁₀	PM _{2,5}	Andel gummistøv [%]	
	[µg/m ³]	[µg/m ³]	PM10	PM2,5
Østfoldhallen (TPE)	31	10	3	5
Manglerudhallen (1 år gammelt SBR)	40	17	23	50
Valhall (nytt SBR)	32	19	28	35

Målingene av TVOC-konsentrasjoner i de tre hallene, viste at TPE-granulat emitterer mindre enn SBR-granulat. De fastslo at hallene som brukte SBR-granulat ikke fulgte nasjonal anbefalt faglig norm, men gav ingen generell anbefaling til bruk av TPE fordi de mente undersøkelsen ikke var bred nok. [50]

Av gummigranulatet fra de tre banene, fant de at granulatet fra Valhall emitterte mest benzotiazol. Granulatet fra Manglerudhallen emitterte nesten like mye, mens granulatet fra Østfoldhallen emitterte over 70 % mindre benzotiazol enn det fra Valhall. Undersøkelsen fant også at kildestyrken øker med økende temperatur, noe som ble testet på benzotiazol og 4-metyl-2-pentanone. Svevestøvmålingene viste at andelen gummistøv var betydelig i Manglerudhallen og Valhall. Disse hallene gav også noe høye verdier av PM_{2,5}. [50]

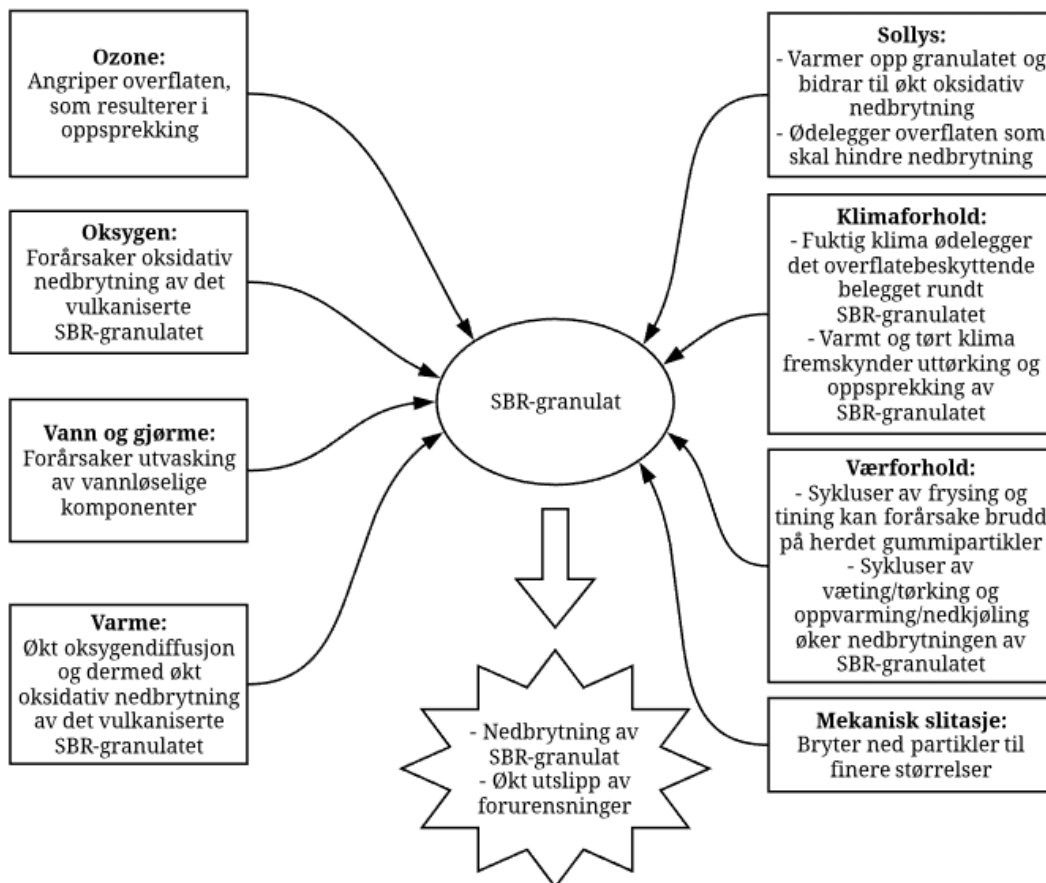
Studiet sier ikke noe om hvordan fotballhallene er ventilert, men at det foregikk tidvis lufting gjennom porter og takluker under testforsøkene. Det er heller ikke funnet svar på dette i andre kilder, men det kan tyde på at det ikke er mekanisk ventilasjon siden det ikke er oppgitt noe.

5.2.2 Emisjonstesting av kunstgress og gummigranulat

En emisjonsundersøkelse av kunstgress med forskjellige typer granulat fra 2007, målte TVOC i småskala klimakammer. De fant at verdien sank betraktelig fra materialet fra helt nytt til det var 28 dager gammelt. Målingene ble utført i henhold til EN ISO 16000-9, ved å teste materialene under stabile innklimaforhold (23°C og 50 % RF) [51]. Granulattypene ble testet sammen med kunstgresset. Granulatene som ble testet var EPDM, SBR og TPE, i tillegg ble kunstgresset testet uten granulat. De fant at emisjonen av TVOC etter 28 dager var klart høyest for EPDM, deretter noe lavere verdier for SBR og TPE. Det ble målt lavest verdier for kunstgresset uten granulat, som kunne sammenlignes med verdier fra et parkettgulv. Testene ble gjennomført med en ventilasjonsmengde på 1,25 m³/h·m² i henhold til standarden. [52]

5.2.3 Nedbrytning av gummigranulat

Et studie har sett på hvordan SBR-granulat brytes ned i mindre deler når det blir utsatt for ytre påkjenninger. Det er hovedsakelig forklart med atmosfæriske forhold som sollys, ozon, oksygen, vann, fuktighet og temperaturforandringer, men også mekanisk belastning. Et flytskjema for hvordan de ulike forholdene fører til nedbrytning av SBR-granulat er gitt i Figur 5.2 Fysiske og kjemiske nedbrytningsprosesser vil ifølge studien forekomme gjennom hele levetiden. Dette medfører at emisjonsforløpet over tid kan være annerledes enn andre materialer, som emitterer mest i starten og avtar betraktelig i løpet av en måned. [53]



Figur 5.2: Faktorer som øker nedbrytningen av SBR-granulat. Utarbeidet fra: [53]

5.3 Helsemessig vurdering av kunstgress og gummigranulat

Eksposering av kunstgress og granulat på fotballbaner kan skje ved innånding av omgivende luft, direkte hudkontakt, direkte i blodet som følge av kutt- eller skrubbsår og svelging av granulat [54]. Det er derfor viktig å vite om eksponering av kunstgresset og gummigranulatet som benyttes, har noen negative helseeffekter.

Det finnes flere studier som har undersøkt helseeffekter knyttet til ulike eksponeringer av SBR-materialer, men lite av EPDM, TPE og typer kunstgressfibre. Det er funnet to studier som har gjort en helserisikovurdering på bakgrunn av luftmålinger over kunstgressdekket, som vil være mest relevant for denne rapporten. Eksponeringsgraden for mennesker øker når kunstgress legges innendørs hvor det ikke er vind som sprer emisjonene eller fotokjemisk nedbrytning av de kjemiske forbindelsene som emitteres [52].

5.3.1 Avgassingstester

Byggforsk utførte i 2004 på oppdrag fra NFF, en vurdering av potensielle helse- og miljøpåvirkninger knyttet til kunstgress og gummigranulat. I litteratursøket var det det eneste treffet som også evaluerte kunstgressfibre, og ikke bare granulatet. Studiet gjorde avgassingstester på to typer kunstgress, tre typer SBR-granulat og en type EPDM-granulat. Metoden var å varme opp 2 gram granulat til 70 °C i 30 minutter og deretter analysere den emitterte gassblandingen. De fant at konsentrasjonene av giftige stoffer i kunstgressfibre var mye mindre enn i granulattypene. På bakgrunn av dette foreslo de at videre forskning bør

konsentrere seg om påvirkning av granulatet. Foruten krom, inneholdt EPDM en mindre mengde av de giftige forbindelsene enn SBR-granulatet. Noen av stoffene identifisert både i kunstgresset og granulatet, er ved visse konsentrasjoner giftige og skadelig for reproduksjon. Det ble derimot ikke gitt en konklusjon om eksponeringen vil gi negative helsevirkninger, men foreslo at videre helsevurderinger burde gjøres på bakgrunn av luftmålinger over kunstgressdekket. [55]

5.3.2 Luftmålinger av emisjon gummigranulat

Med utgangspunkt i forekomst og konsentrasjoner gitt i rapporten fra NILU, presentert i kapittel 5.2.1, gjorde Folkehelseinstituttet og Radiumhospitalet i 2006 en risikovurdering av helseeffekter knyttet til brukere av fotballhaller. Vurderingen ble tatt på basis av analyser (stoffer i SBR, PM10 og VOC), fysiske parametere av brukerkategorier (overflateareal, inhalasjon under trening og vekt) og estimert eksponering for en utøver. [56]

Studiet vurderte helserisikoen av de høyeste emisjonene fra gummigranulatet for å finne ut hva som i verste fall kan være utfallet ved eksponering. De oppsummerte de høyeste mengdene innenfor hver stoffkategori (PCB, PAH, ftalater, alkylfenoler og VOC) og sammenlignet med de respektive NOAEL-verdiene (No Observed Adverse Effect Level). TVOC-verdier fra fotballhallene var høyere enn det som er målt i husholdninger, men konklusjonen var at dette kan medføre opplevelse av tung luft og ingen økt helserisiko. Den samlede konklusjonen var at bruk av innendørs kunstgresshaller ikke medfører økt helserisiko i noen aldersgrupper. De anbefaler likevel at SBR ikke brukes når granulatet skal byttes ut eller når baner skal etterfylles. [56]

Emisjonstesting i klimakammer fra kapittel 5.2, konkluderte også med at emisjonen fra gummigranulat ikke var helseskadelig. De fant derimot at det kan være en helserisiko for de som jobber med å legge kunstgress. Beregnet eksponering vil være avhengig av luftskiftet. Lavere luftskifte øker eksponeringen og risikoen for negative helseeffekter vil øke. [52]

5.3.3 SBR-granulat på lekeplasser

I tillegg til fotballbaner, legges SBR-granulat på lekeplasser for å få et underlag med dempning. Helsevirkningen for barn som eksponeres for slike er vurdert både av The Office of Environmental Health Hazard Assessment (OEHHA) og av en forskningsgruppe i Canada. Det ene studiet gjorde vurderingen basert på ulike eksponeringer som svelging, direkte og indirekte hudkontakt, mens det andre studiet gjennomførte konvensjonelle risikoanalyser, mutagenisitsanalyser og akvatiske toksisitsanalyser. Begge studiene konkluderte med at de negative helseeffektene knyttet til det de definerte som normal eksponering av SBR-granulat, var minimale. Det ene studiet fant imidlertid ut at ved normal eksponering i 12 år (fra 1 til 12 år), kunne PAH-stoffet chrysene være kreftfremkallende. [54, 57]

5.3.4 Andre litteraturstudier

De fleste forskningsartiklene som er funnet er imidlertid litteraturstudier basert på tester og vurderinger fra tidligere studier [58-62]. Mange rapporter vurderer noen av de samme studiene, men vurderingene er gjort på ulike antakelser hvor blant annet type og grad av eksponering varierer. Noen tar for seg svelging av granulat, mens andre har vurdert innånding av luft som

inneholder emisjon av kunstgress og granulat. Den samlede konklusjonen er likevel at gummigranulat ikke gir økt helserisiko ved det som kategoriseres som «vanlig» eksponering.

6 Resultat av testforsøk

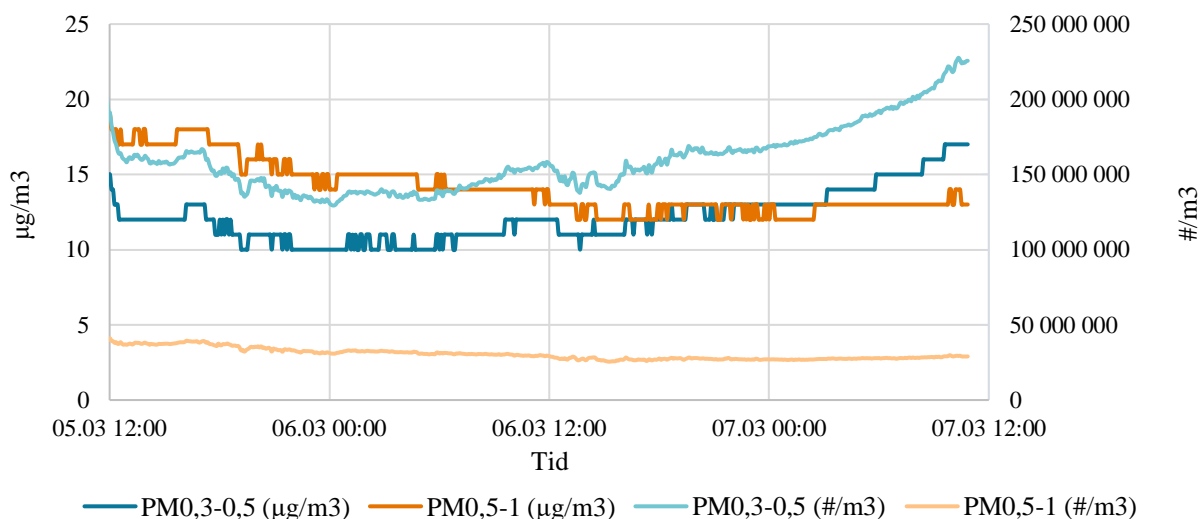
I dette kapittelet vil resultatene av målingene fra testobjekt 1 og 2 presenteres. I hvert delkapittel ser man først på noen kontinuerlige målinger, for å se hvordan parameterne endrer seg i og utenfor brukstid. Det er videre fokusert på å sammenligne testobjektene og se de store linjene. Det er i en del av resultatene også inkludert noe diskusjon, der det har vært hensiktsmessig. Grafer av alle resultatene er gitt i Vedlegg A: Resultat av testforsøk, hvor hver måleserie presenteres hver for seg.

6.1 Svevestøv

For å lettere sammenligne resultatene fra prøvetakingen av svevestøv, er de gitt i gjennomsnittsverdier for hver måleserie. I 6.1.2 og 6.1.3 ser man på forskjeller mellom første og andre måling, og verdiene i hallen i forhold til ute. Deretter sammenlignes resultatene fra de to hallene i 6.1.4. Merk at PM-verdiene fra måleapparatet akkumuleres fra de største partiklene og nedover, slik som forklart i 4.5.2.

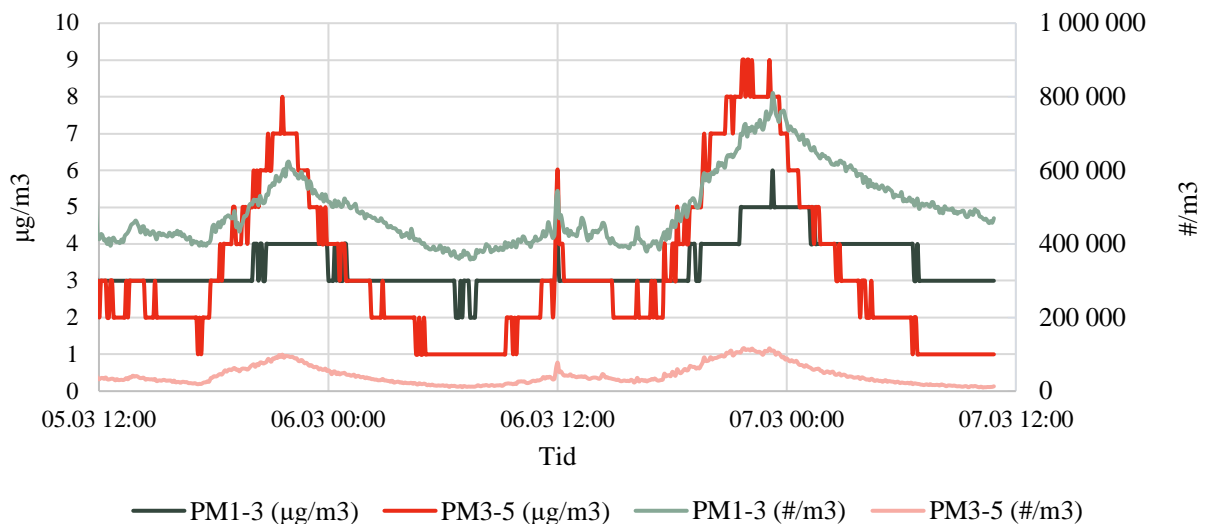
6.1.1 Kontinuerlige målinger

Det var ønskelig å finne ut om partikkelnivået i hallen øker når hallen er i bruk. I Figur 6.1 ser man $PM_{0,3-0,5}$ og $PM_{0,5-1}$ fra første prøvetaking i testobjekt 2, hvor hallen hovedsakelig var i bruk på kveldene under prøvetakingen. Det kan se ut som partikkelnivået for disse størrelsene er stabile uavhengig av bruk. Man kan også legge merke til at massekonsentrasjonene av de to partikkelstørrelsene er relativt like, men i antall partikler er det nesten ti ganger mer av $PM_{0,3-0,5}$ enn av $PM_{0,5-1}$.



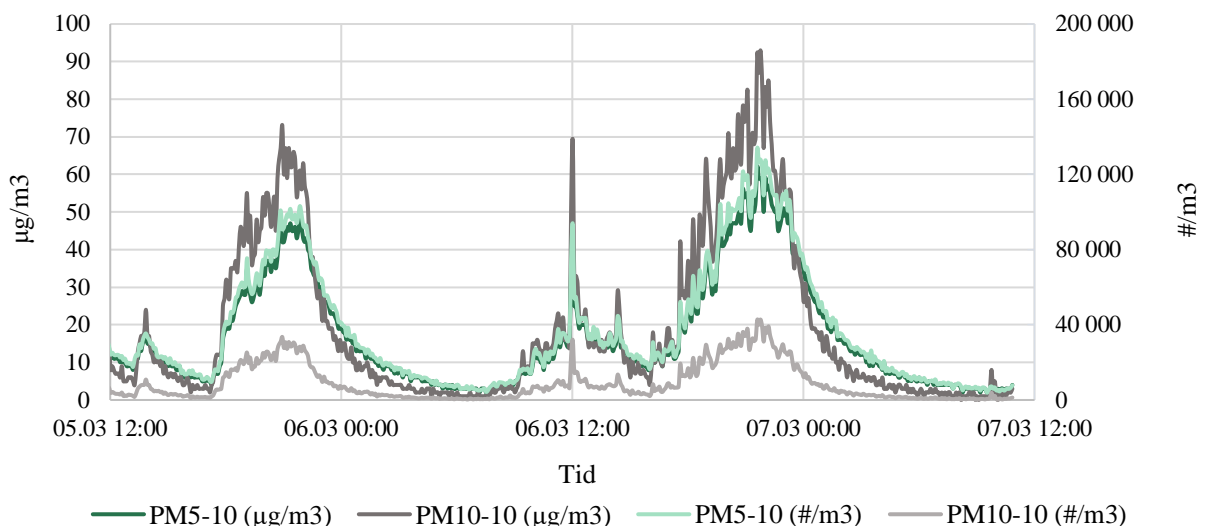
Figur 6.1: Første måling av $PM_{0,3-0,5}$ og $PM_{0,5-1}$ i T2

For PM_{1-3} og PM_{3-5} i Figur 6.2 ser man mye svingninger. Toppene skjer på kvelden, noe som kan tyde på at det skyldes bruk av hallen. Det kan også observeres at PM_{3-5} svinger mer enn PM_{1-3} . Det er også både færre og lavere massekonsentrasjon av disse størrelsene, i forhold til de minste fra Figur 6.1.



Figur 6.2: Første måling av PM1-3 og PM 3-5 i T2

For partikkelstørrelsene PM_{5-10} og PM_{10-10} i Figur 6.3 ser man også tydelige døgnsvingninger med toppunkt på kveldene. Her ser man i tillegg en topp kl. 12.00 den ene dagen. Dette kan være at hallen var i bruk, selv om den ikke var booket på forhånd.

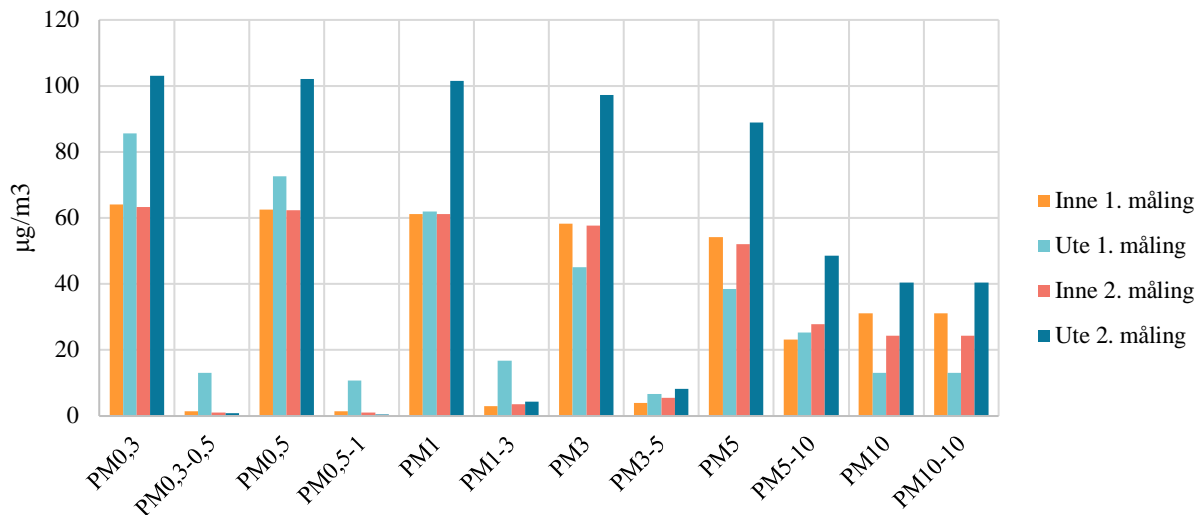


Figur 6.3: Første måling av PM_{5-10} og PM_{10-10} i T2

Av disse grafene kan man se at for de minste partiklene spiller det liten eller ingen rolle om hallen er i bruk eller ikke. Det kan også se ut som jo større partikkelstørrelse, desto større svingninger mellom når hallen er i bruk og ikke. Dette er også trenden for de andre tilsvarende måleseriene. Resultatene av svevestøv inne i hallene fra alle prøvetakingene er gitt i Vedlegg A, Figur 1-3, Figur 19-21 og Figur 28-30 med samme oppsett som vist her.

6.1.2 Testobjekt 1

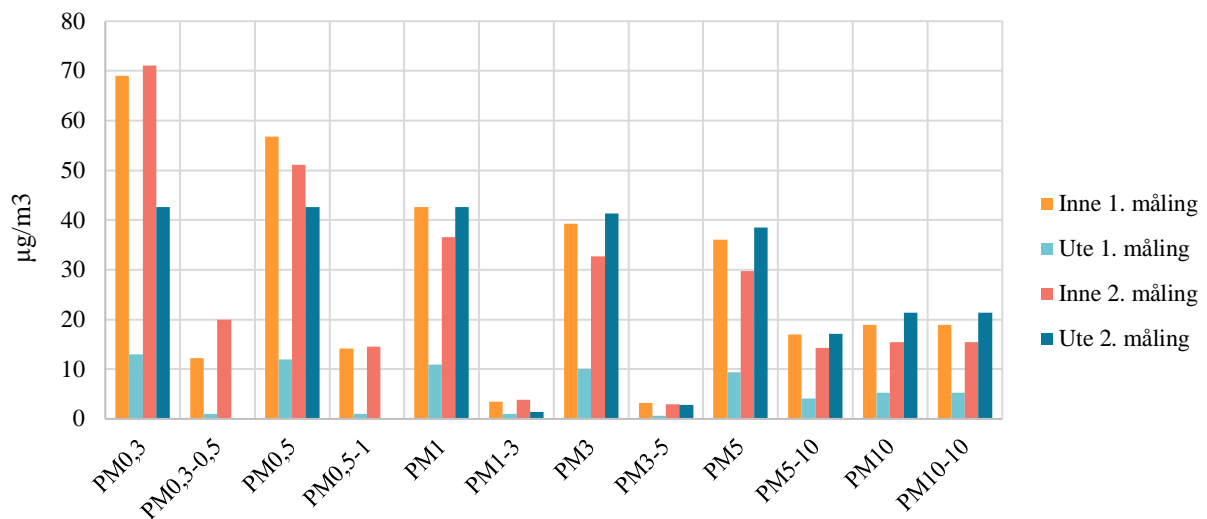
I Figur 6.4 ser man gjennomsnittsverdier for svevestøv inne testobjekt 1 og utenfor. Det er størst massekonsentrasjon av de største partikkelstørrelsene. Av $PM_{0,3}$ kan det observeres at det totalt sett er høyere svevestøvverdier ute enn inne. Merk at verdiene fra ute er kortidsmålinger tatt før/etter målingene inne, og kan derfor være mindre representative.



Figur 6.4: Gjennomsnittsverdier av svevestøv for T1, første og andre måling

6.1.3 Testobjekt 2

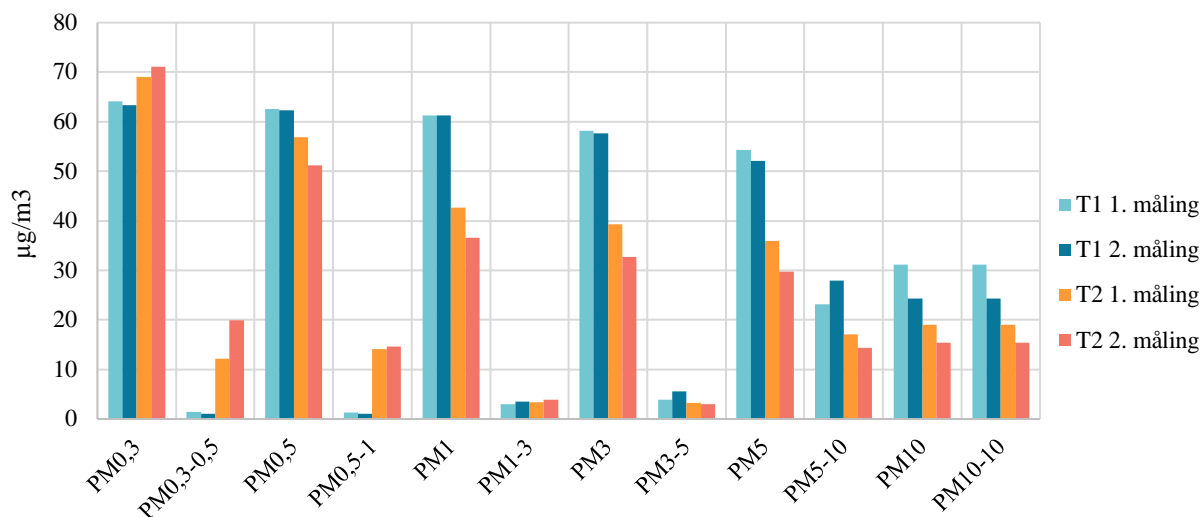
Gjennomsnittsverdier av svevestøv inne og utenfor testobjekt 2 er vist i Figur 6.5. I motsetning til testobjekt 1, er trenden her at den samlede massekonsentrasjonen ($PM_{0,3}$) inne er høyere enn ute. Det kan også observeres at de akkumulerte utendørsverdiene er mye lavere enn innendørsverdiene. Man kan i tillegg se at utendørsverdien ved første måling er omtrent tre ganger lavere enn andre måling, mens verdiene fra inne er relativt like. Dette kan gjenspeile usikkerheten i utemålingene på grunn av det korte tidsintervallet.



Figur 6.5: Gjennomsnittsverdier av svevestøv for T2, første og andre måling

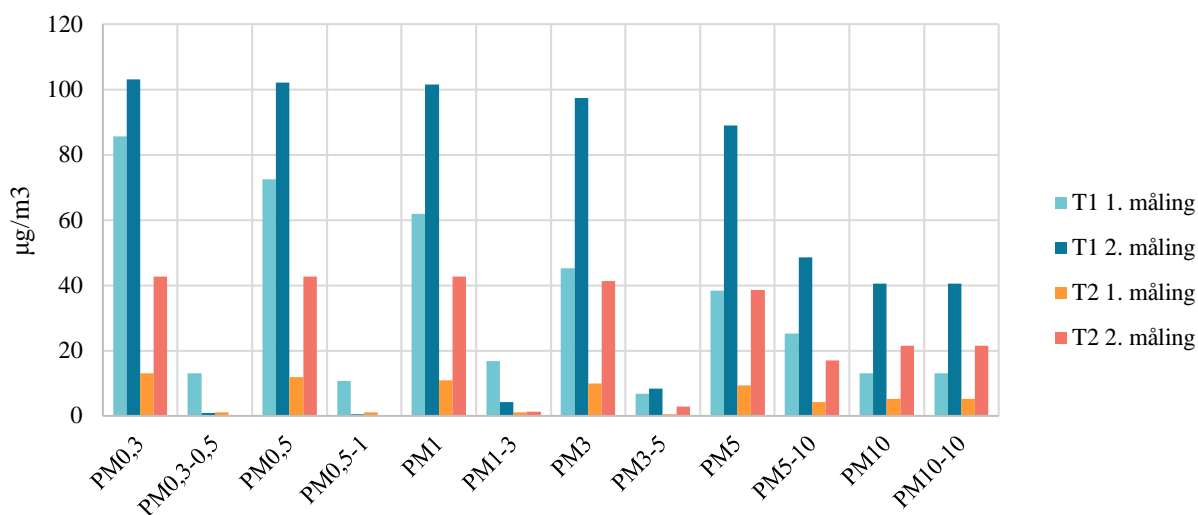
6.1.4 Svevestøv i T1 i forhold til T2

For å få et bilde på hvordan svevestøvnivåene i T1 og T2 er i forhold til hverandre, er snittverdier for første og andre måling vist i Figur 6.6. For de to minste størrelseskategoriene er T2 høyest, men for de to største størrelsene er T1 høyest. T1 og T2 er relativt like for de midterste størrelsene. Samlet sett er det en noe høyere massekonsentrasjon av svevestøv i T2.



Figur 6.6: Sammenligning av svevestøv i T1 og T2

Svevestøv utenfor hallene er vist i Figur 6.7, hvor man kan se at den akkumulerte svevestøvverdien ($PM_{0,3}$) utenfor T1 er mye høyere enn T2. Dette er mest på grunn av de høye konsentrasjonene i størrelsene PM_{5-10} og PM_{10-10} . Dette kan forklares med at T1 ligger i et mer tettbebygd strøk og nærme en tungt trafikkert vei.



Figur 6.7: Sammenligning av svevestøv utenfor T1 og T2

Av grafene ser man at det er forskjeller i svevestøv, men forskjellene kan i prinsippet være forårsaket av tilfeldigheter. Blant annet kan få prøvetakinger være årsaker til at resultatene ikke blir representative for normalen.

6.1.5 Signifikans

For å sjekke sannsynligheten for om ulikhetene mellom T1 og T2 er forårsaket av tilfeldigheter eller signifikans, er det gjort en t-test i Excel på svevestøvverdiene. Her ble α -verdien satt til 0,05, som medfører at en p-verdi under 0,05 svarer til signifikans. Signifikansberegningen er gjort for svevestøv i antall partikler per m^3 , siden det er den størrelsen apparatet måler.

Resultatene av er vist i Tabell 6.1, hvor man ser at svevestøvet i hallene er signifikant forskjellige for alle størrelsene utenom for PM_{1-3} . Signifikansen er imidlertid ikke i samme retning. T1 gir signifikant høyere verdier for PM -størrelser over $3 \mu m$, mens T2 gir høyere

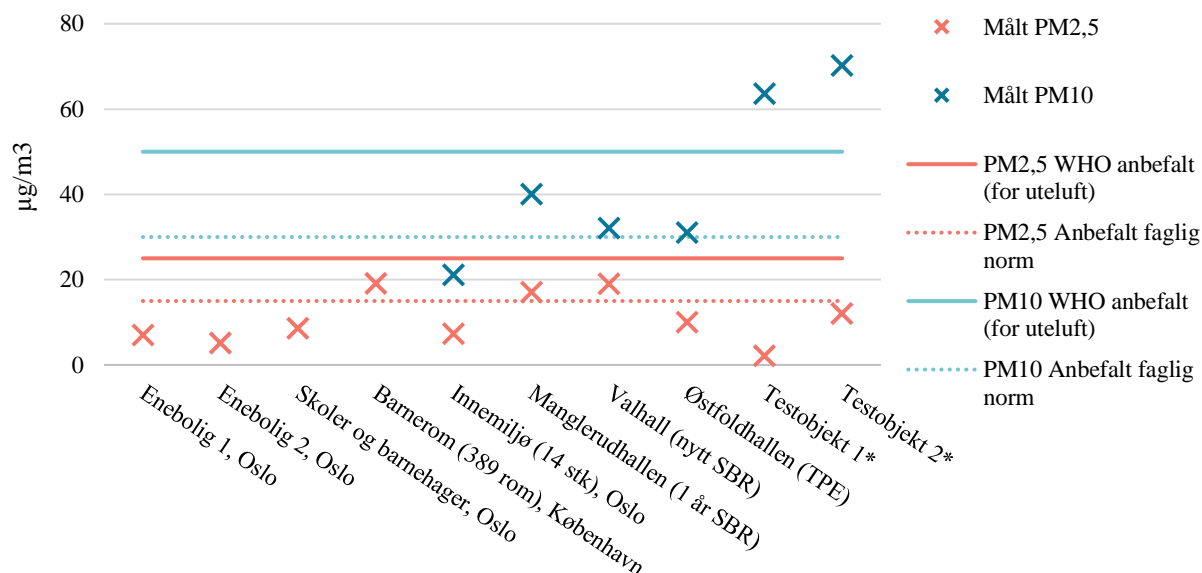
verdier for PM-størrelser under 1 μm . Totalt for alle PM-størrelser som er målt ($\text{PM}_{0,3}$), er T2 signifikant høyere.

Tabell 6.1: Signifikansutregning av svevestøvverdier fra T1 og T2

Partikkelstørrelse	p-verdi		Størst
$\text{PM}_{0,3}$	0	Signifikant	T2 > T1
$\text{PM}_{0,3-0,5}$	0	Signifikant	T2 > T1
$\text{PM}_{0,5-1}$	0	Signifikant	T2 > T1
PM_{1-3}	0,76	Ikke signifikant	–
PM_{3-5}	9,1E-19	Signifikant	T1 > T2
PM_{5-10}	9,9E-13	Signifikant	T1 > T2
PM_{10-10}	1,9E-05	Signifikant	T1 > T2

6.1.6 Sammenligne med tall fra litteraturen

Plottet i Figur 6.8 viser hvordan de målte svevestøvverdiene fra testobjekt 1 og 2 er i forhold til anbefalt faglig norm og WHO sin anbefaling for uteluft [29-31]. I tillegg er det inkludert noen svevestøvverdier fra andre studier som referanse. Måleinstrumentet for svevestøv brukt i denne rapporten gir ikke $\text{PM}_{2,5}$, men PM_3 som nærmeste. Av plottet ser man at PM_3 -verdien fra både T1 og T2 ligger lavere enn den anbefalt grenseverdi for $\text{PM}_{2,5}$. Hadde man hatt verdier for $\text{PM}_{2,5}$ fra hallene, ville verdien vært noe lavere enn PM_3 . Gjennomsnittet av PM_{10} fra T1 og T2 ligger høyt over anbefalte grenseverdier både for inneklimate og uteluft. De er også høyere enn det som ble målt i Østfoldhallen, Valhall og Manglerudhallen i 2005. De anbefalte grenseverdiene i dette plottet baserer seg på døgngjennomsnitt, mens for T1 og T2 er gjennomsnitt regnet ut fra alle målingene (2-4 døgn i hver hall).



Figur 6.8: Sammenligning av ulike $\text{PM}_{2,5}$ - og PM_{10} -verdier med anbefalte grenseverdier

* Svevestøvverdi fra T1 og T2 er PM_3 , ikke $\text{PM}_{2,5}$

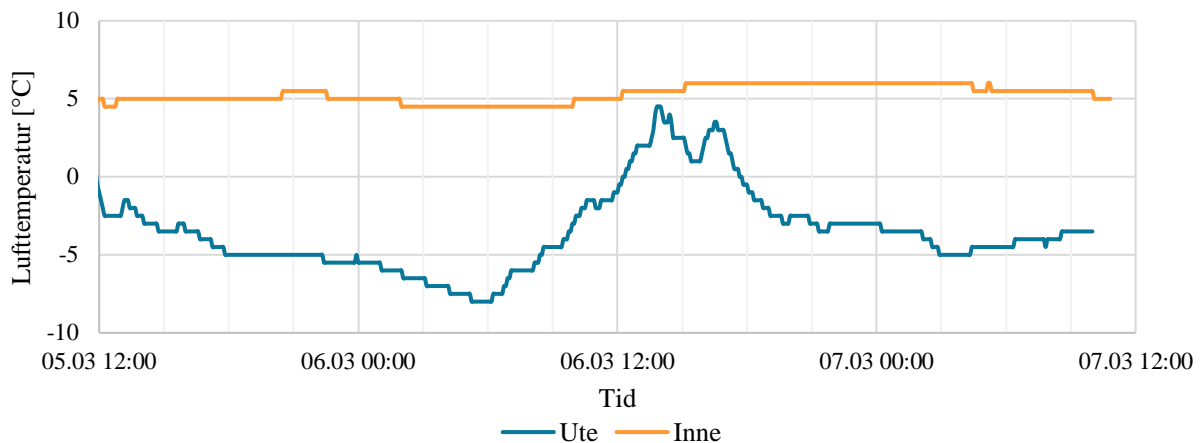
** Kilde i kronologisk rekkefølge f.v. [63], [63], [64], [65], [50], [50], [50], [50]

6.2 Temperatur og relativ fuktighet

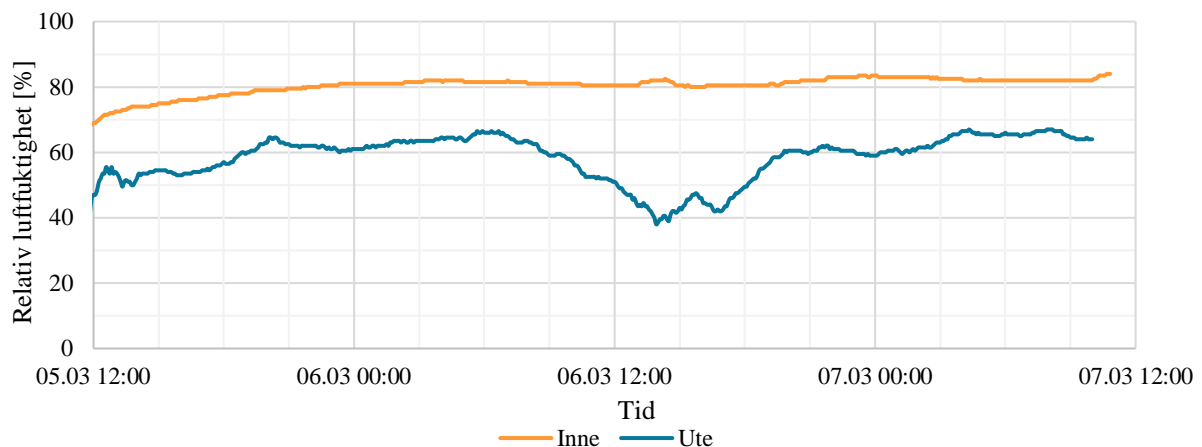
6.2.1 Kontinuerlige målinger

Fra testforsøkene så man at lufttemperatur og relativ luftfuktighet inne i hallene var stabile, selv om uteforholdene endret seg. Som eksempel ser man dette i Figur 6.9 og Figur 6.10, hvor lufttemperatur og relativ luftfuktighet inne i T2 sammenlignes med tilsvarende utendørsverdier. Resultatkurver av de øvrige temperatur- og RF-målingene er vist i Vedlegg A: Resultat av testforsøk, Figur 7-8, Figur 25-26 og Figur 34-35.

Man ser at innetemperaturen ligger stabilt på 5 °C, mens temperaturen ute varierer i et sprang på 12 °C (fra -8 til 4 °C). Den relative fuktigheten inne er 80 % gjennom hele testforsøket, mens den utenfor hallen varierer mellom 40 og 65 %. Et interessant resultat er at luftfuktigheten inne i hallen er vesentlig høyere enn ute, gjennom hele måleperioden. Årsakene til dette kan være at det har vært vanning av banen, for lavt luftskifte eller lekkasjer. Det er oppgitt at det har vært en lekkasje fra taket tidligere, men som var fikset en stund før testforsøket ble gjennomført. Det kan likevel være at man ikke har fått tørket hallen tilstrekkelig. Kurvene man ser her er fra første testforsøk, mens man kan se av andre testforsøk (Figur 26) at den relative fuktigheten har gått ned til 50-60 %.



Figur 6.9: Lufttemperatur inne og utenfor T2 05.-07.03.18

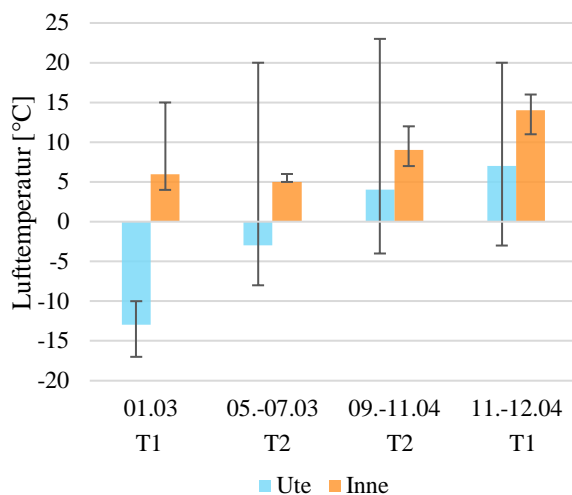


Figur 6.10: Relativ luftfuktighet inne og utenfor T2 05.-07.03.18

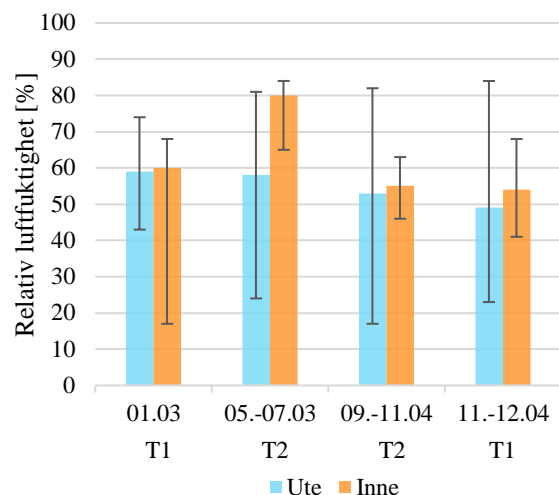
6.2.2 Påvirkning av uteforhold

Temperatur og RF i lufta inne og utenfor casehallene er vist i Figur 6.11 og Figur 6.12. Under hver serie er det oppgitt måleperiode og testobjekt sortert etter dato. Feilfeltene viser høyeste og laveste målt verdi i den respektive måleperioden for å se variasjonen. Her ser man den samme trenden som man så i de kontinuerlige kurvene, at variasjonene inne i hallen er mindre enn variasjonen utenfor hallen. Et unntak er imidlertid første testforsøk i T1.

Kurvene for temperatur og RF utenfor hallene viser store sprang mellom minimum- og maksimumsverdi. Siden variasjonene inne er betydelig mindre, kan dette tyde på at endringer i værforhold gjennom døgnet ikke rekker å påvirke forholdene inne i hallen.



Figur 6.11: Lufttemperatur ute og inne i hallene



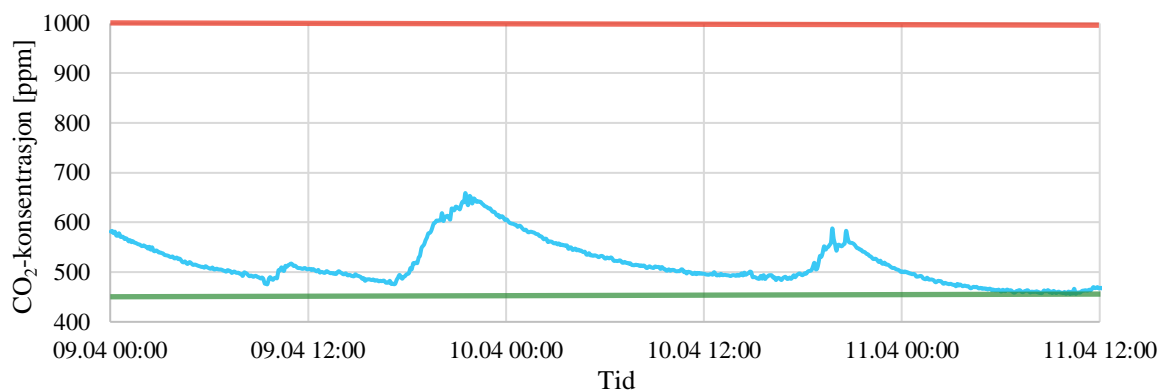
Figur 6.12: Relativ luftfuktighet ute og inne i hallene

6.3 CO₂-konsentrasjon

I likhet med de andre måleparameterne skal man også se på kontinuerlige kurver og snittverdier for CO₂-konsentrasjon i hallene. I tillegg beregnes luftskifte og infiltrasjonsluftmengde ved hjelp av CO₂-målingene.

6.3.1 Kontinuerlige målinger

De kontinuerlige målingene av CO₂ inne i casehallene, viste at konsentrasjonen økte mens hallen var i bruk. Figur 6.13 viser resultatene fra testforsøk 2 i T2, hvor man ser tydelige toppler på kvelden som avtar over natta når hallen ikke er i bruk.



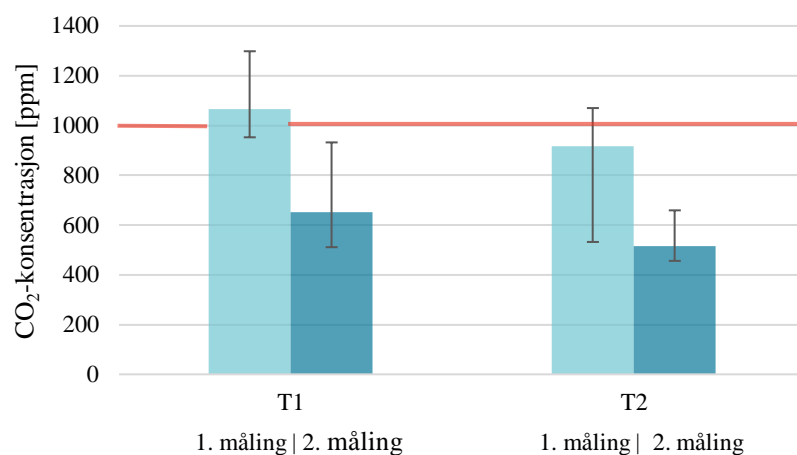
Figur 6.13: CO₂-konsentrasjon i T2 09.-11.04.18

CO₂-konsentrasjonen i omgivelsene varierer mellom 400 og 450 ppm, avhengig av lokasjon [66]. Av figuren ser man at kurven flater ut rundt 450 ppm. På bakgrunn av dette antas det at omgivelseskonsentrasjonen er 450 ppm. For den andre hallen rekker ikke kurven å flate ut før hallen tas i bruk dagen etter, og kurven igjen stiger, se Figur 36 i Vedlegg A: Resultat av testforsøk. Det antas derfor samme CO₂-konsentrasjon i omgivelsene utenfor T1 som utenfor T2.

6.3.2 Variasjon og sammenligning av T1 og T2

Figur 6.14 viser gjennomsnittsverdi for CO₂-konsentrasjon i begge hallene. Feilfeltene markerer laveste og høyeste målt verdi i hver måleserie. I tillegg markerer rød linje Arbeids-tilsynets anbefalte grenseverdi i innemiljø. Man ser at det første testforsøket i begge hallene overskrider det anbefalte nivået på 1 000 ppm ved minst et tidspunkt.

Merk at tidsintervallene i måleseriene ikke er like, og derfor vil ikke stolpene nødvendigvis være helt sammenlignbare. CO₂-konsentrasjonen stiger når hallen er i bruk, så en måleserie med overtall av timer mens hallen er i bruk som første måling i T1, vil få et høyere snitt enn det egentlige døgnsnittet. På den andre siden er første måling i T1 så vidt under grenseverdien i løpet av hele testperioden. Start av denne målingen var klokken 09 på dagen før hallen ble tatt i bruk, noe som burde gitt lavere konsentrasjoner.



Figur 6.14: CO₂-konsentrasjon i T1 og T2 for begge måleseriene

6.3.3 Luftskifte og luftens alder

Basert på CO₂-målingene kan man ved hjelp av Likning (5) som ble presentert i teorikapittelet, beregne luftskiftet og luftens alder. Da det ikke er noen form for mekanisk ventilasjon i T1, vil man ved bruk av CO₂-målingene på natta kunne regne ut et lekkasjetall. Ettersom T2 har to tilluft- og en avtrekksvifte, vil de utregnede luftskiftet være lekkasjetallet pluss luftskiftet fra viftene. Luftskiftet vil variere med blant annet temperatur og vindforhold, og dermed trykkdifferansen mellom ute og inne.

Resultatene av luftskifteberegningene fra T1 og T2 er gitt i Tabell 6.2 og Tabell 6.3. CO₂-nivået er gitt i ppm, hvor konsentrasjonen fra utelufta er antatt 450 ppm og er trukket fra. Alle beregningene er gjort på natten for å være sikker på at det ikke er noe som produserer CO₂. Oppvarmingssystemet avgir CO₂, men på natten var det slått av. Alle beregningene utenom den første i T1 ble også gjort i et tidsintervall på 10 timer, hvor man så at endringen i CO₂ var mest

mulig lineær. Grunnen til kortere tidsintervall 1. mars i T1 var at de ikke ble målt på natta, slik at beregningene er gjort i på basis av en periode på 6 timer tidlig på dagen, før den ble tatt i bruk.

Luftskifteberegningene er forholdsvis like i de dagene som er målt etter hverandre. Luftskiftene er derimot betydelig forskjellig i mars og april, med snitt i T2 på henholdsvis $0,03 \text{ h}^{-1}$ og $0,15 \text{ h}^{-1}$. Dette vil si at det tar fem ganger så lang tid å skifte ut luften med forholdene som var i T2 i mars, mot de som var i april. Dette kan være på grunn av ulik drift av viftene, men det samme ser man fra T1; at luftskiftet var lavere i mars enn i april.

Tabell 6.2: Luftskifteberegning i T1

		$T_{\text{snitt}}_{\text{ute}}$	$T_{\text{snitt}}_{\text{inne}}$	ΔT [°C]	Vind _{ute} [m/s]	CO ₂ start	CO ₂ slutt	Δt [h]	n [1/h]	Luftens alder [h]
01.03	09:06-15:06	-12,0	4,7	16,7	1,8	619	503	6	0,035	29
11.-12.04	21:41-07:41	-1,5	8,1	9,6	2,2	403	212	10	0,065	16
12.-13.04	20:51-06:51	5,5	13,5	8	3,1	242	77	10	0,115	9
13.-14.04	22:56-08:56	4,0	13,6	9,6	1,5	376	194	10	0,066	15

Tabell 6.3: Luftskifteberegning i T2

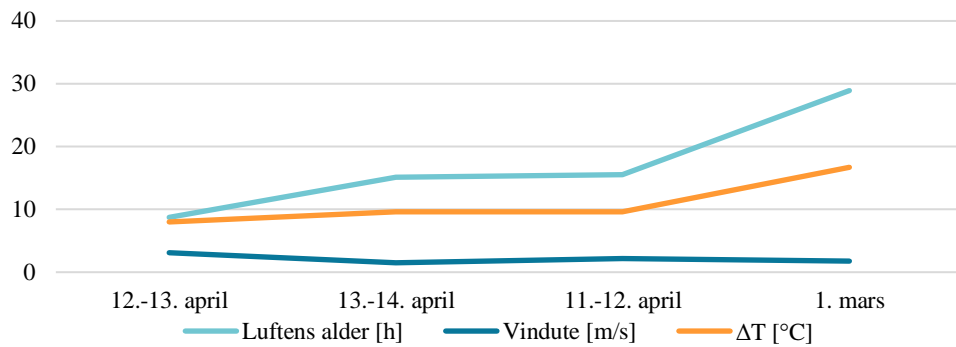
		$T_{\text{snitt}}_{\text{ute}}$	$T_{\text{snitt}}_{\text{inne}}$	ΔT [°C]	Vind _{ute} [m/s]	CO ₂ start	CO ₂ slutt	Δt [h]	n [1/h]	Luftens alder [h]
5.-6.03	22:01-08:01	-6,4	4,7	11,1	4,5	539	421	10	0,025	40
6.-7.03	23:21-09:21	-4,0	5,5	9,5	3,9	620	472	10	0,027	37
8.-9.04	00:00-10:00	0,1	7,9	7,8	1,5	131	38	10	0,124	8
9.-10.04	22:17-08:17	-2	7,7	9,7	4,6	193	62	10	0,114	9
10.-11.04	20:37-06:37	-1,3	7,5	8,8	3,57	133	14	10	0,225	4

Vindforholdene kan ha mye å si for infiltrasjonen. For å finne vindforholdene de aktuelle dagene, ble det benyttet værdata fra yr som gir gjennomsnittsvind for et døgn. Siden utregningen av luftskiftet baserer seg på målinger over natta, fra en dato til en annen ble det interpolert mellom døgnverdiene fra yr. Det er ikke alle værstasjonene til yr som logger vindforhold, slik at nærmeste vinddata for T1 var 32 km unna. For T2 var nærmeste målestasjon med vinddata 4 km unna.

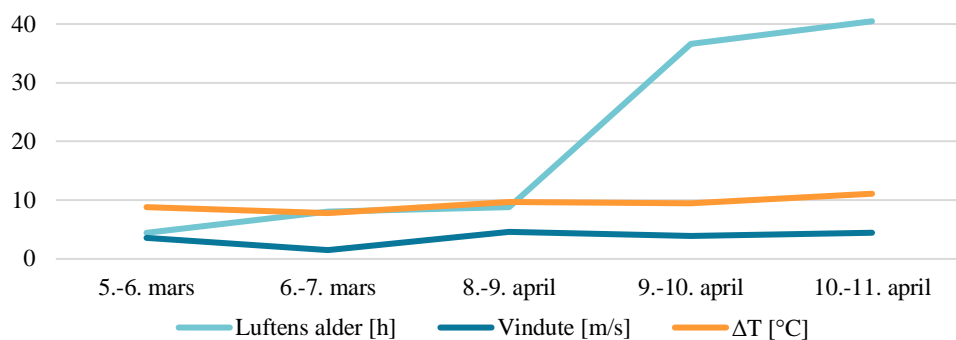
Ved å bruke anbefalte mål for en treningshall, vil volum være omtrent $25\,000 \text{ m}^3$ [67]. Sammen med de beregnede luftskiftene får man at infiltrasjonen i hallene sørger for en luftmengde på $900\text{-}2900 \text{ m}^3/\text{h}$ i T1 og $600\text{-}5600 \text{ m}^3/\text{h}$ i T2. Nøyaktig volum for hallene i testforsøket er ikke kjent. De har ikke helt samme gulvareal så det er naturlig å anta at volumet heller ikke er helt likt. Dette er en usikkerhet i de beregnede luftmengdene. Man ser også at luftskiftene varierer mye, som medfører at luftmengdene på grunn av infiltrasjon blir deretter.

I Figur 6.15 og Figur 6.16 er det illustrert hvordan temperaturredifferanse mellom ute og inne, og vindhastigheten ute påvirker luftens alder. Luftens alder er vist i stigende rekkefølge med tilhørende verdi for temperaturredifferanse og vindhastighet. Det ble valgt å bruke luftens alder i stedet for luftskiftet for å gjøre grafen mer illustrativ. For T1 kan det se ut som det er en

sammenheng mellom at luftens alder øker (dvs. luftskiftet blir lavere) når temperaturdifferansen mellom ute og inne øker. Dette ser man derimot ikke i T2. Det ser heller ikke ut til at luftens alder er nevneverdig påvirket av vindhastighetene. Det ville vært sannsynlig om høyere vindhastigheter ville gitt et høyere luftskifte og dermed redusert luftens alder. Det var ingen store endringer i vindhastigheter, slik at man forventet heller ingen store endringer i luftskifte. Samlet sett ser det ikke ut til at det er en klar sammenheng mellom luftens alder og vind eller temperaturdifferanse. En annen forklaring kan være at feilkildene i målingene er større enn det utslaget vindhastighetsendringene ville skapt.



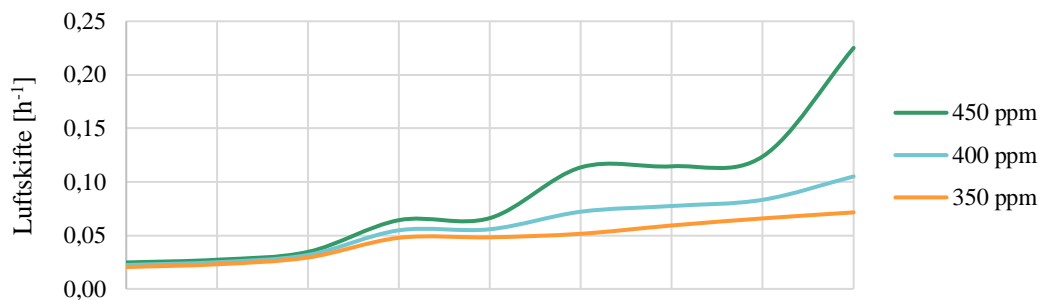
Figur 6.15: Luftens alder, temperaturdifferanse og vindhastighet fra T1



Figur 6.16: Luftens alder, temperaturdifferanse og vindhastighet fra T2

6.3.4 CO₂-konsentrasjon i omgivelsene

Det er undersøkt hvor mye antatt CO₂-konsentrasjon i omgivelsene har å si for utregnet luftskifte. I Figur 6.17 er luftskiftene beregnet på bakgrunn av 350, 400 og 450 ppm i omgivelsene. Man ser at betydningen av omgivelseskonsentrasjonen er større når luftskiftet øker, mens for de laveste luftskiftene har det minimal betydning.



Figur 6.17: Påvirkningen antatt CO₂-konsentrasjon utendørs har for utregnet luftskifte

6.4 Feilkilder til testforsøkene

I utgangspunktet var planen å måle på dagtid, samtidig som man observerte hvordan hallen ble brukt. Dette ble forsøkt for testobjekt 1 den 1. mars. Det var først og fremst viktig å observere tidlig på dagen, da det varierer hvor mye den er i bruk. Hele ettermiddagen og kvelden var fullbooket av ulike fotballag. Det var ingen aktivitet i hallen før kl. 14:00, og da var hallen booket fram til 22:30 på kvelden. Det ble derfor tatt en pause i observeringen. Da målingene skulle hentes inn igjen, hadde strømmen til måleinstrumentene blitt koblet fra. Dette resulterte i at man fikk målinger kun til kl. 20:00.

Antall målinger som ble gjennomført i denne undersøkelsen, er ikke nok til representere sannheten. Dagene det ble målt på i hver hall kan i beste fall være representative for de fleste dagene, eller i verste fall være preget av tilfeldigheter. Det er også slik at med få målinger, vet man lite om hvor mye og hvor ofte nivåene varierer. Grunnen til at man ikke fikk gjennomført flere målinger, var begrenset tid og tilgang på måleutstyr.

6.5 Resultatoversikt

For å samle resultatene fra alle testforsøk er det gitt en oversikt i Tabell 6.4 med gjennomsnitt, minimum- og maksimumsverdi.

Tabell 6.4: Oversikt av målingene. PM er gitt i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	Testobjekt 1			Testobjekt 2			Testobjekt 2			Testobjekt 1		
	1. måling 01.03			1. måling 05.-07.03			09.-11.04			11.-12.04		
	snitt	min	maks	snitt	min	maks	snitt	min	maks	snitt	min	maks
$T_{\text{ute}} [^{\circ}\text{C}]$	-13	-17	-10	-3	-8	5	4	-4	23	7	-3	20
$RF_{\text{ute}} [\%]$	59	43	74	58	38	67	53	17	82	49	23	84
$T_{\text{inne}} [^{\circ}\text{C}]$	6	4	15	5	5	6	9	7	12	14	11	16
$RF_{\text{inne}} [\%]$	60	17	68	80	65	84	55	46	63	54	41	68
$\text{CO}_{2,\text{inne}}$ [ppm]	1066	953	1299	917	532	1 070	516	456	659	652	511	932
$\text{PM}_{0,3}$	64	5	205	69	31	193	71	17	259	63	13	378
$\text{PM}_{0,3-0,5}$	1	1	3	12	10	17	20	10	31	1	1	2
$\text{PM}_{0,5}$	63	4	203	57	20	180	51	7	244	62	12	377
$\text{PM}_{0,5-1}$	1	1	2	14	12	19	15	3	23	1	1	1
PM_1	61	3	202	43	6	167	37	2	233	61	11	376
PM_{1-3}	3	2	6	3	2	6	4	1	8	4	2	8
PM_3	58	1	198	39	4	162	33	1	228	58	9	369
PM_{3-5}	4	0	11	3	1	9	3	0	12	6	2	24
PM_5	54	1	190	36	3	154	30	1	216	52	7	346
PM_{5-10}	23	1	67	17	2	62	14	1	84	28	5	171
PM_{10}	31	0	124	19	0	93	15	0	136	24	2	177
PM_{10-10}	31	0	124	19	0	93	15	0	136	24	2	177

7 Resultat av spørreundersøkelsen

Det ble gjennomført en spørreundersøkelse for å sjekke hvordan brukerne av testhallene opplever luftkvaliteten og de termiske forholdene. Spørreskjemaet er gitt i Vedlegg B. Tabell 7.1 viser antall svar og hvor mange ganger noen har gått inn på linken til spørreundersøkelsen. Det er også gitt en kolonne med svarprosent, som er gyldig hvis alle besøk av spørreundersøkelsen kommer fra forskjellige personer. Man kan se det er få respondenter både i antall svar og i svarandel.

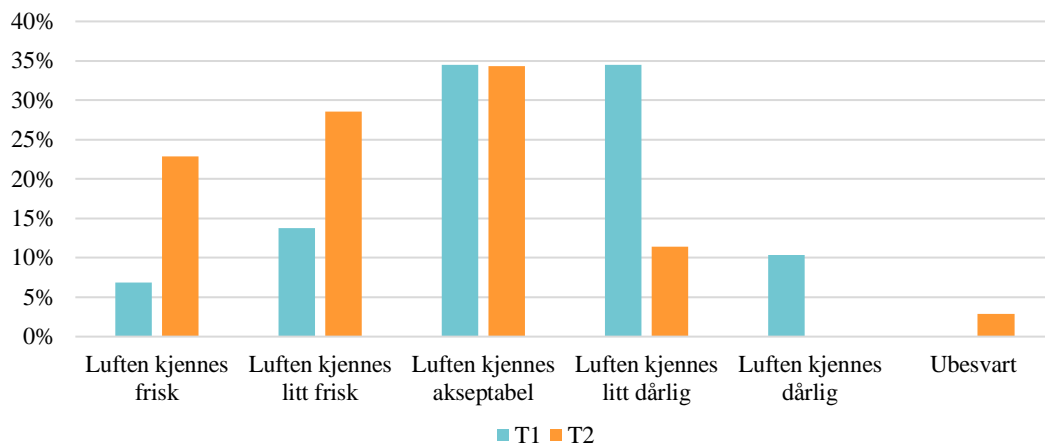
Tabell 7.1: Antall respondenter

	Antall fullførte svar	Totalt trykt på linken	Svarandel
Testobjekt 1	29	256	11 %
Testobjekt 2	35	663	5 %

På bakgrunn av få svar på undersøkelsen, er det vanskelig å kunne konkludere med hvordan luftkvaliteten og de termiske forholdene i hallen er. Få svar gjør det mest hensiktsmessig å presentere kun de viktigste resultatene. Grafer av alle resultatene er gitt i Vedlegg C.

7.1 Opplevd luftkvalitet

På spørsmål om hvordan luftkvaliteten oppleves i hallen, lå den største svarprosenten på at luften kjennes akseptabel. Figur 7.1 viser svarfordelingen. I T1 var det også en like høy svarprosent på at luften kjennes litt dårlig. I tillegg var det større prosentandel som synes luften kjennes litt frisk og frisk i T2 enn i T1. Av de som besvarte spørsmålet om hvordan luftkvaliteten i hallen oppleves, var det flere som svarte at luften kjentes litt dårlig eller dårlig i T1 enn i T2, henholdsvis 45 % og 12 %.



Figur 7.1: Opplevd luftkvalitet blant brukere av T1 og T2

7.2 Temperatur i hallen

Det ble spurt om hvordan brukerne opplevde temperaturen i hallene de fire siste ukene, når det er plussgrader ute og når det er kaldere enn -10 °C ute. I perioden spørreundersøkelsen ble gjennomført var utetemperaturen rundt 0 °C. Uansett utetemperatur, var det i begge hallene størst andel av de som opplevde temperaturen i hallen som nøytral. Naturlig nok, så man likevel at flere synes det blir kaldt i hallen når det er -10 °C ute, enn når det er plussgrader ute.

7.3 Lukt og kilde

Respondentene fikk også spørsmålet «Kjenner du en lukt når du er i hallen?». Det var en større andel av respondentene som kjenner en lukt i T1 enn i T2, henholdsvis 48 % og 23 %. Respondentene som svarte «ja» eller «vet ikke» på spørsmål om man kjenner en lukt i hallen, fikk et oppfølgingsspørsmål om lukt opplevdes annerledes en stund etter at man kom inn i hallen. Av disse svarte 86 % i T1 og 75 % i T2 at lukten blir svakere etter en stund.

De samme respondentene fikk også oppfølgingsspørsmålet «Kan du si noe om hvor du tror lukten kommer fra». Her svarte en stor andel i begge hallene at de tror det er kunstgresset som avgir lukt, 44 % i T1 og 75 % i T2. Det var også en betydelig andel som mente lukten kom fra slette.

7.4 Korrelasjon i spørreundersøkelsen

For å finne om det er statistisk sammenheng mellom svarresultatene, er det testet korrelasjon for noen utvalgte spørsmål. Blant annet ville man finne ut om de som trener ofte i hallen, også er de som opplever minst lukt. Det ble derfor testet om svarene på om det er lukt i hallen har noen sammenheng med type bruker og hvor hyppig man besøker hallen. Resultatene av testen er gitt i Tabell 7.2. Det er veldig lave korrelasjoner mellom bruksfrekvens og lukt i hallen, som medfører at bruksfrekvens ikke har noen betydning for oppfattelsen av lukt. Den største korrelasjonen er i T1, med spillere som ikke kjenner lukt i hallen. Korrelasjonen er -0,48, noe som betyr motsatt sammenheng, altså at de som er spillere ikke svarer nei.

Tabell 7.2: Korrelasjon mellom opplevelse av lukt, og bruker og besøksfrekvens i T1

		Kjenner du en lukt i hallen?					
		T1			T2		
		Ja	Nei	Vet ikke	Ja	Nei	Vet ikke
Bruker	Spiller	0,32	-0,48	0,20	0,25	-0,29	0,11
	Trener	-0,19	0,31	-0,16	-0,03	0,09	-0,10
	Publikum/forelder	-0,26	0,35	-0,11	-0,21	0,21	-0,03
Besøksfrekvens	Mindre enn 1 gang i uken	0,13	-0,03	-0,14	-0,07	0,13	-0,12
	1-2 ganger i uken	-0,18	0,15	0,04	-0,10	-0,02	0,21
	3-4 ganger i uken	0,17	-0,27	0,13	0,23	-0,15	-0,13
	Mer enn 4 ganger i uken	-0,10	0,20	-0,14	-0,10	0,11	-0,04

Det er også testet om det var korrelasjon mellom opplevd temperatur og luftkvalitet, hvor resultatet er vist i Tabell 7.3. Hypotesen var at de som synes det er kaldt i hallen også opplever at luften er friskere. I T1 er de høyeste korrelasjonene mellom kjølig og dårlig luft, og varm og frisk luft. Korrelasjonsverdien defineres som sterk, men resultatet er motstridene til hypotesen. I T2 derimot er den høyeste korrelasjonen mellom kjølig og frisk luft. Verdien tilsier at det er en svak korrelasjon. Det sammenfaller imidlertid med hypotesen om at kald luft opplever friskere.

Tabell 7.3: Korrelasjon mellom temperatur og luftkvalitet i T1 og T2

		Hvordan har du opplevd temperaturen i hallen de fire siste ukene?						
		<i>Kaldt</i>	<i>Kjølig</i>	<i>Litt kjølig</i>	<i>Nøytral</i>	<i>Litt varmt</i>	<i>Varmt</i>	<i>Hett</i>
T1	Luften kjennes dårlig	0	0,56	-0,17	-0,06	-0,17	-0,09	0,35
	Luften kjennes litt dårlig	0	-0,14	-0,01	-0,02	0,17	-0,20	0,09
	Luften kjennes akseptabel	0	-0,14	0,17	-0,02	0,17	-0,20	-0,20
	Luften kjennes litt frisk	0	-0,08	-0,20	0,27	-0,20	0,29	-0,11
	Luften kjennes frisk	0	-0,05	0,20	-0,23	-0,14	0,46	-0,07
T2	Luften kjennes dårlig	0	0	0	0	0	0	0
	Luften kjennes litt dårlig	0,21	-0,14	-0,09	-0,08	0,15	0	0
	Luften kjennes akseptabel	-0,24	-0,09	0,07	-0,22	-0,09	0	0
	Luften kjennes litt frisk	0,04	-0,23	-0,16	0,08	0,19	0	0
	Luften kjennes frisk	0,07	0,44	0,15	-0,27	-0,21	0	0

8 Energibehov

Noen ventilasjonsprinsipp gjør det mulig med kombinert luftbehandling og romoppvarming. Det er valgt å ta med en enkel simulering av energibehov for en typisk treningshall. Målet er å få et estimat for energibehov hovedsakelig til romoppvarming. Ved implementering av et ventilasjonssystem vil dette også ha betydning for energibehovet, noe denne simuleringen vil gi et bilde på. Det er fokusert på energibehov og ikke energibruk, siden energibruk er avhengig av blant annet type oppvarmingssystem. Energiforbruket er beregnet i SIMIEN. Kapittelet ser først på inndataene for simuleringen med hvilke verdier som er brukt og hvorfor, deretter presenteres resultatene. Alle nødvendige dimensjoneringsstall er gitt i Vedlegg E. Parametere som ikke er gitt, som andel vinduer, er ikke inkludert og settes lik null.

8.1 Bygningskategori og sammenligning mot TEK

Som bygningskategori er idrettsbygg benyttet. Dette vil si at hallen blir evaluert mot kravene TEK setter til idrettsbygg. Bygningskategorien påvirker også hvilke inndata som er angitt som standard i SIMIEN. De standard inndataene er hentet fra NS:3031 [4]. Der man ikke har funnet spesifikke verdier for fotballhall eller grunn til å anta noe annet, har man benyttet standardverdiene. I sammenligning mot TEK-krav skal standardverdier for dimensjonering i idrettsbygg brukes. Dette gir lite mening for en fotballhall som blant annet holder en temperatur betraktelig under typene av idrettshaller som Kulturdepartementet omfatter.

8.2 Lekkasetall

Man så i 6.3.3 at luftskiftet ved de gitte forholdene i T1 og T2 var i intervallet $0,03 - 0,2 \text{ h}^{-1}$. På bakgrunn av utregnet lekkasetall for casehallene er lekkasetallet (n_{50}) for beregning av energibehov i SIMIEN er satt til $0,09 \text{ h}^{-1}$, som er gjennomsnittet av luftskiftet i T1 og T2.

8.3 Transmisjon og varmekapasitet

U-verdi for vegger og tak er de samme som for den ene casehallen, $0,27 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$ [42]. Når det kommer til varmekapasitet er det gjort flere antakelser. Kapasiteten til vegger og tak er satt til $5 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Dette ble gjort på bakgrunn av at man antar en varmelagringsverdi som er omtrent lik 15 mm trepanel på $4,6 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. For dekket er det antatt en verdi lik $14 \text{ Wh/m}^2\text{K}$. Dette på grunn av en antakelse om at kunstgress med gummigranulat kan gi samme varmelagring som «Teppe (10 mm) + lettklinkerdekke».

8.4 Internlast

Varmetilskudd fra personer i en treningshall er satt til $3 \text{ W/m}^2_{\text{BRA}}$. Tallet er beregnet ut fra en kamp i hallen, hvor 14 personer har høy aktivitet (8 met) og 50 personer har lav aktivitet (1,2 met). Det er brukt den gjennomsnittlige kroppsoverflaten til en voksen, på $1,75 \text{ m}^2$ [15]. Det er også innregnet at 25 % av arbeidet omdannes til mekanisk energi ved høy aktivitet, se kapittel 3.10.

$$\text{Internlast}_{\text{personer}} = \frac{\left(14 \text{ spillere} \cdot 8 \frac{\text{met}}{\text{spiller}} \cdot 0,75 + 50 \text{ utøvere} \cdot 1,2 \frac{\text{met}}{\text{spiller}} \right) \cdot 58 \frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{kroppflate}}} \cdot 1,75 \text{m}^2_{\text{kroppflate}}}{3220 \text{ m}^2_{\text{BRA}}} \approx 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{BRA}}}$$

Varmetilskudd fra belysning vil variere mye avhengig av hvilke krav det settes til lysstyrke og om det benyttes LED eller ikke. Standarden «Lys og belysning, idrettsbelysning» (NS-EN:12193:2007) gir noen retningslinjer for antall lyspunkt for å sikre jevnhet. Belysningsstyrken for en fotballbane utendørs i kategoriklasse II er 200 lux. Med en virkningsgrad på 60 lm/W gir dette et spesifikt varmetilskudd på $3 \text{ W/m}^2_{\text{gulvareal}}$. [68, 69]

$$\text{Internlast}_{\text{belysning}} = \frac{200 \frac{\text{lux}}{\text{m}^2_{\text{BRA}}}}{60 \frac{\text{lm}}{\text{W}}} \approx 3 \frac{\text{W}}{\text{m}^2_{\text{BRA}}}$$

Det er ikke satt internlast for teknisk utstyr, da dette er minimalt i en fotballhall.

8.5 Driftstid og settpunkttemperatur

En fotballhall er ofte i bruk alle ukedager unntatt omtrent 8 uker ferie, noe som tilsvarer 308 dager. Det nærmeste valget i simuleringsprogrammet var 6 dager i uken hele året som gir 312 driftsdager. I sammenligning mot TEK skal driftstid settes til 12 timer 5 dager i uken, med 8 ukers ferie. Driftstid for hallen er i denne simuleringen satt til 8 timer per dag (kl. 14.00-22.00). Dimensjonert settpunkttemperatur i driftstiden er satt til 12 °C, og 8 °C utenom driftstid.

8.6 Årssimulering

Totalt energibehov for en treningshall med de parameterne som er beskrevet tidligere i dette kapitlet ble 87 000 kWh/år, som gir 27 kWh/m²·år. Av dette er 51 000 kWh til romoppvarming og 36 000 kWh til belysning, henholdsvis 15,8 kWh/m²·år og 11,3 kWh/m²·år. Totalt energibehov for idrettsbygning i TEK17 er 145 kWh/m²·år, som er over fem ganger høyere enn energibehovet for beskrevet treningshall.

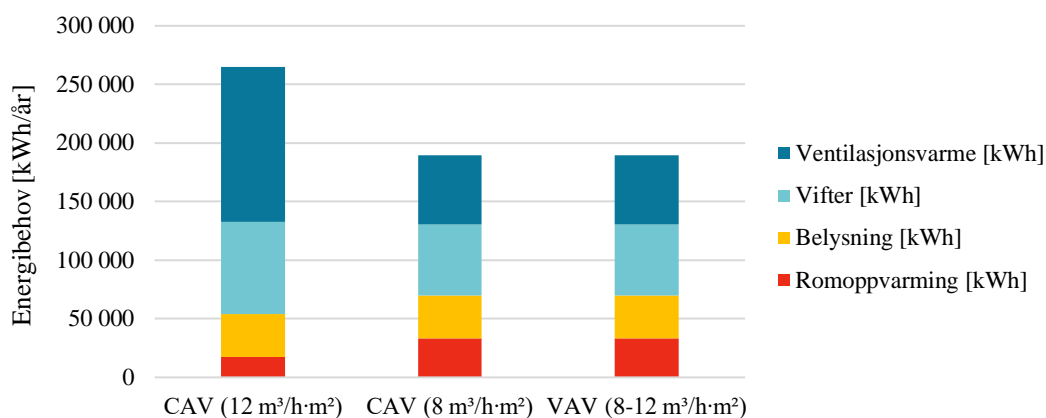
8.7 Ventilasjon

Ved å implementere et ventilasjonssystem vil det totale energibehovet bli større, hovedsakelig på grunn av mer luftutskiftning. Oppvarming av friskluft før den tilføres hallen vil øke det totale energibehovet vesentlig, men redusere posten for romoppvarming.

Hvis luftmengdene økes vil også energibehovet øke. Når det er testet med CAV-ventilasjon er det testet med 12 m³/h·m²_{BRA} i driftstid og 3 m³/h·m²_{BRA} utenom driftstid, som er standardverdier for idrettsbygg gitt i NS 3031:2007.

Det er også testet med behovsstyrt ventilasjon, med ventilasjonsmengde på 8-12 m³/h·m²_{BRA} i driftstid etter behov. SIMIEN gjør det mulig å beregne energibehov når ventilasjonen styres av temperatur eller CO₂-konsentrasjon i rommet. For behovsstyrt ventilasjon ble det satt inn CO₂-styring med maksimumkonsentrasjon på 800 ppm. Det ble vurdert mest hensiktsmessig å simulere med CO₂-styring, da høye temperaturer ikke har vært noe problem i casehallene, som antas å være representative for treningshaller. Den eneste CO₂-kilden som er satt inn i modellen er personer. I casehallene produserer også oppvarmingssystemet CO₂, som vil føre til at nødvendig luftmengde vil gå opp og dermed også energibehovet. Det ble også testet med CAV-

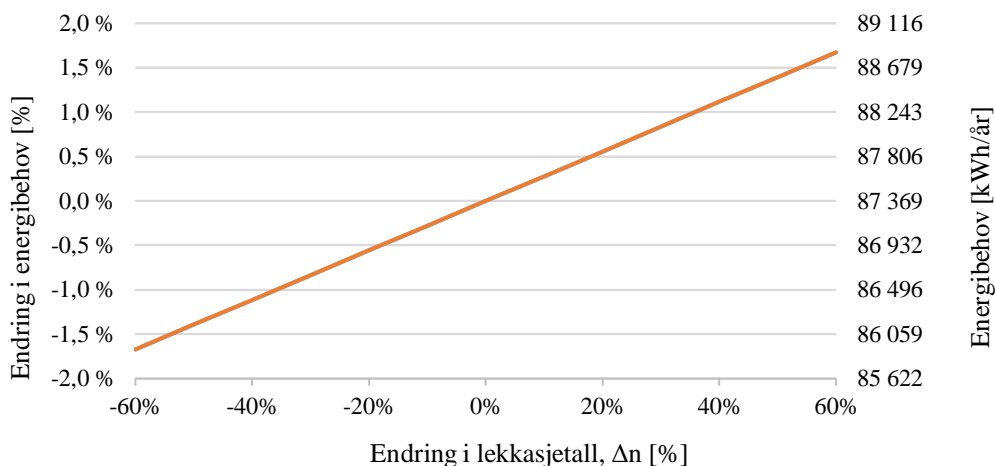
ventilasjon med luftmengde på $8 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{BRA}}$ (og $3 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{BRA}}$ utenom driftstid). Resultatene er vist i Figur 8.1, hvor man ser at det ikke spiller noen rolle for energibehovet om det installeres CAV eller behovsstyrt ventilasjon, med de gitte ventilasjonsmengdene. Fra dette kan det se ut som det er tilstrekkelig med CAV-ventilasjon.



Figur 8.1: Energibehov med CAV og VAV

8.8 Sensitivitetsanalyse av lekkasjetallet

I Figur 8.2 er det gitt en graf som viser hvordan endring i lekkasjetallet vil påvirke energibehovet. På primæraksen er lekkasjetallet gitt i prosentvis endring, og sekundæraksen viser prosentvis endring av energibehovet. Lekkasjetallet som ble satt, $n = 0,09 \text{ h}^{-1}$ og tilhørende energibehov er nullpunktet. Lekkasjetallet er plottet med prosentvis endring på $\pm 60 \%$, hvor energibehovet endrer seg under 2% på det meste. Det største avviket fra gjennomsnittet av de beregnede lekkasjetallene er $0,225$, som utgjør 250% . Dette gir en endring i energibehov på 4% , noe som fortsatt anses som en liten endring.



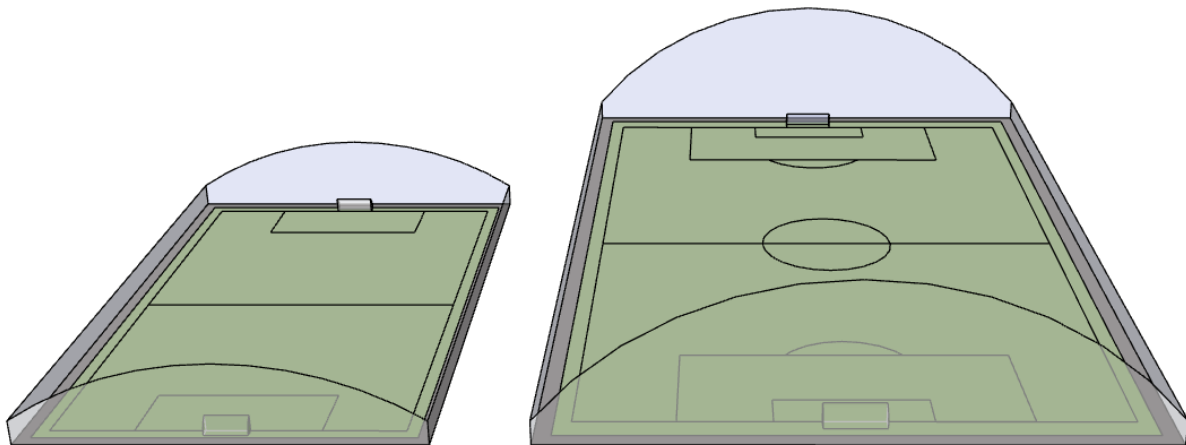
Figur 8.2: Sensitivitetsanalyse for energibehov med hensyn på lekkasjetall

9 Forutsetninger for ventilasjon

Det er mange faktorer som er spesielt for en fotballhall i forhold til andre bygningskategorier. Kapittelet vil se på utfordringer og forutsetninger for å ventilere en fotballhall, og hva som er viktig å tenke på.

9.1 Oppholdssonen

Figur 9.1 viser en treningshall og en storhall med målene fra Kulturdepartementets veileder «Målbok for idrettsanlegg». For storhall er det i veilederen gitt et intervall for lengde og bredde av banestørrelse, men i denne figuren er minstemålene brukt. For å gi et inntrykk av størrelsen av disse hallene, er høyden av den vertikale veggen 3 meter i begge hallene.



Figur 9.1: Treningshall og storhall [utarbeidet i SketchUp]

Tabell 9.1 viser oversikt av areal og volum for treningshall og storhall som resultat av målene gitt av Kulturdepartementet. Hvis oppholdssonen defineres fra 0 til 2 meter fra dekket, vil det volummessig utgjøre 26 og 14 % av det totale volumet i henholdsvis treningshallen og storhallen.

Det vil si at ved å ventilere kun for oppholdssonen, kan luftmengdene reduseres i forhold til å ventilere for hele hallen. Volumet over oppholdssonen må tas hensyn til, men luftkvaliteten i det området trenger ikke å være like bra som i oppholdssonen. I tillegg er det hverken varmekilder eller betydelige forurensningskilder i dette området, slik at ventilasjonsbehovet vil være begrenset.

Tabell 9.1: Areal- og volumoversikt for treningshall og storhall

	Treningshall	Storhall	Forhold
Langside	70 m	110 m	
Kortside	46 m	72 m	
A _{kunstgress}	2 881 m ²	7 208 m ²	2,5
A _{grunnflate}	3 220 m ²	7 920 m ²	2,5
V _{oppholdssone}	6 440 m ³	15 840 m ³	2,5
V _{totalt}	24 848 m ³	116 645 m ³	4,7
Andel oppholdssone	26 %	14 %	

9.2 Dimensjonere for ulike brukssituasjoner

Ved prosjektering av ventilasjon for fotballhall, er det viktig å fastsette hvilke driftsforhold det skal dimensjoneres for. Vanlige brukssituasjoner i en hall kan være når det er trening, kamp eller når hallen ikke er i bruk. Med basis fra Kulturdepartementets veiledning for idrettshaller, som ble beskrevet i kapittel 5.1.2, er det i Tabell 9.2 vist hvordan luftmengdebehovet endrer seg ved brukssituasjoner som ofte forekommer i en treningshall.

I alle situasjonene er det tatt utgangspunkt i en treningshall med et gulvareal på 3 220 m² som er anbefalte mål [67]. Ved den gitte personbelastningen under trening, blir ventilasjonsmengden 30 000 m³/h, hvorav ventilasjon for materialer utgjør 75 %.

Hvor mange timer i løpet av en dag og hvor mange timer i strekk det er folk i hallen, er med og fastsetter hvor ofte luften må byttes ut. Hvis det antas at brukssituasjonen er trening 90 % av tiden, og kamp 10 % av tiden. Under kamp vil behovet være lavere enn ved trening. Ved å dimensjonere for trening, vil det også være tilstrekkelig for kamp.

Tabell 9.2: Luftmengder ved ulike driftssituasjoner i treningshall

	Bruks- situasjon	Driftstid [h/uke]	Antall tilskuere	Antall utøvere	Beregnet ventilasjonsmengde [m³/h]
1	Trening	50	3	50	30 000
2	Kamp	6	50	14	26 000
3	Ikke i bruk	112	0	0	22 500

9.3 Tilførsel- og avtrekksmuligheter

I en fotballhall er tilførselsmulighetene begrenset. Hele banen må være fri, det skal være 5,5-10 meter fri takhøyde over banen i en treningshall og 10-20 meter for storhall. Tilføres luften fra taket, vil det kreve høye hastigheter for at luften skal komme ned til oppholdssonen, som igjen vil kreve mer energibruk til vifter. Ved langsiden oppholder trenere og tilskuere seg, mens på kortsidene står keeper. Ved å plassere tilførselsluften på vegg, må det sørges for at hastighetene på tilførselsluften ikke blir så stor at det medfører kaldtrekk. Det kan imidlertid tolereres noe mer trekk i en fotballhall i forhold til et kontor, da termisk komfort vektlegges mer på et kontor.

Lufthastigheter kan i noen sportsgrener påvirke spillet, som i badminton hvor lave lufthastighetsforskjeller kan være utslagsgivende. I fotballsammenheng derimot, er dette ikke et problem.

Av det som er observert i treningshaller, er det ikke mye tribuner eller benker. Ofte er det ordnet med plass for tilskuere på den ene langsiden. En mulighet for å hindre at tilskuerne eksponeres for høye tilluftshastigheter, er å tilføre luften på motsatt langside. Dette kan imidlertid medføre at tilluften ikke lenger er ren nok når den kommer frem til tilskuerne. Det kan også være en mulighet å tilføre luften under tribuner eller benker.

Er det en betydelig forurensningskilde i et rom, kan det være mer fornuftig å trekke av luft nær kilden heller enn å fortrenge forurensningene til et avtrekk som plasseres lenger unna.

Det er flere muligheter for avtrekk, da lufthastighetene rundt avtrekksventiler er lave og ikke vil føre til trekk [15]. Er forurensningene lettere enn luft, kan det være en god idé å plassere avtrekket høyt. Forurensninger med høyere tetthet en luft vil legge seg lavt, slik at det da kan være mer hensiktsmessig å plassere avtrekket lavt.

Den sammenlagt største forurensningen i fotballhaller er dekket. En avtrekksløsning lav på vegg eller i dekket kan derfor være en god løsning. Det finnes kanaler og ventiler som er ment for å være nedfelt i gulv. Dette er ikke den enkleste løsningen når gulvet består av kunstgress og granulatfyll, men implementeres det allerede i prosjekteringsfasen kan det være mulig.

9.4 Temperatur

Det har tidligere ikke vært noen krav til temperatur inne i en fotballhall. Man har sett at de fleste hallene er dimensjonert for å holde en temperatur lavere enn 15 °C. Da gjelder ikke energikravene i TEK17 og tanken er ofte at det holder kostnadene nede. Per dags dato skal en fotballhall ifølge Kulturdepartementet holde minst 12 °C for å få tippemidler, noe som i de fleste tilfeller er avgjørende for realisering. [70]

Når det kommer til termisk komfort, snakkes det ofte om temperaturgradient. I sittende rolig aktivitet, kan temperaturgradienten være 3 K/m [71]. Dette kan være en viktig faktor for tilskuere med lavt aktivitetsnivå. For spillerne med høy aktivitet er det ikke like relevant å snakke om termisk komfort, da alternativet er å spille ute i all slags vær og vind.

9.5 Reduksjon av forurensningskilden

Fra testforsøkene kan det ligne på at kunstgresset og granulatet er en vesentlig bidragsyter til svevestøvsnivået i begge de undersøkte hallene. Det aller beste tiltaket for å bedre luftkvaliteten i en fotballhall er å redusere forurensningskilden. Det lages kunstgressstyper som ikke trenger granulatfyll. Et slikt fotballdekke vil avgi betraktelig mindre emisjon enn et med granulatfyll, noe flere studier har konkludert med. [52, 55]

9.6 Styring av ventilasjonssystem

Riktig styring av ventilasjonssystemet kan redusere både størrelsen på aggregatet og energibruken. Man har sett fra testforsøkene at casehallene overskrider anbefalte verdier for svevestøv. Kilder fra litteratursøket viser til at dette kan være på grunn av gummigranulatet. Det er også sett fra litteraturstudiet at gummigranulatet emitterer andre forurensninger som VOC-gasser, men ikke vesentlige mengder CO₂.

Et ventilasjonssystem styres vanligvis ut fra driftstid, romtemperatur eller CO₂-konsentrasjon i rommet. Da man har sett at personbelastningen med tanke på luftmengdebehov er mye lavere enn behovet på grunn av materialbruk, kan det være fornuftig å styre ventilasjonen etter materialbelastningen. VOC-sensorer i avtrekket kan være en mulig løsning. Hvis ventilasjonen skal styres ved hjelp av VOC-sensorer, er det avgjørende at hovedforurensningene i hallen registreres av sensoren. Styring med VOC-sensor kan derimot virke mot sin hensikt hvis emisjonene fra dekket er konstant, da poenget er å regulere for ulike behov. Hvis VOC-emisjonene derimot øker når hallen er i bruk, kan løsningen fungere bra.

Det er sett at type brukssituasjon har mye å si for ventilasjonsbehovet, men i brukssituasjonene trening og kamp utgjør ventilasjonen for materialer mest. I en hall som hovedsakelig skal brukes til trening og kamp, kan det være tilstrekkelig å dimensjonere kun for en brukssituasjon da behovet var relativt likt. Da kan det styres med brukerstyrt VAV som reguleres ut fra bryter eller bevegelsessensor. Eventuelt kan det benyttes CAV-styring som er innstilt etter driftstid.

Det ble i 8.7 sett at det ikke utgjør noen forskjell for energibehovet hvis ventilasjonen styres med en CO₂-sensor som holder konsentrasjonen under 800 ppm, i forhold til en konstant luftmengde i og utenfor driftstid. Her vil blant annet den simulerte personbelastningen, luftmengdene for CAV-systemet og luftmengdeintervallet for VAV-reguleringen være viktige faktorer. VAV-reguleringen og sensorer, må i så fall kalibreres slik at systemet ikke kjører på maksimal effekt under hele driftstiden.

9.7 Kommentarer

Ventilasjonskanaler og ventiler må bygges for å være robuste, da systemet må tåle mekanisk påkjenning. Dette kan gjøres ved å velge rør og ventiler i bestandige materialer.

Ventilasjonsaggregatet kan plasseres i høyden på den ene kortsiden, for å utnytte ledig volum. Det må da sørges for sikker adkomst for service og vedlikehold.

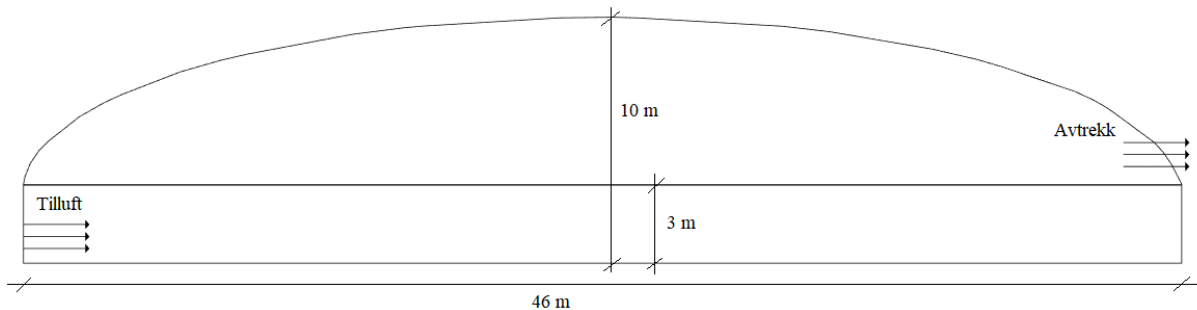
Det bør vektlegges at systemet er driftssikkert, enkelt i bruk og krever minst mulig vedlikehold. Drift- og vedlikehold i en fotballhall er gjerne dugnadsbasert, hvor det er mange som skal kjenne til hvordan systemet fungerer. I tillegg kan mer avansert utstyr og flere bevegelige komponenter kreve mer vedlikehold.

10 Ventilasjonsalternativer

Med ventilasjonsteori og forutsetninger for ventilering av en fotballhall som grunnlag, presenteres det fire ventilasjonsalternativer som kan være aktuelle. Alternativene vurderes etter gjennomførbarhet, ventilasjonseffektivitet og driftssikkerhet. Det gis prinsippskisser i 2D, men man kan tenke seg hallen i 3D hvor man har flere tilluft- og avtrekkspunkt i dybden.

10.1 Alternativ 1 – fortrenningsventilasjon

Alternativ 1 følger fortrenningsprinsippet, hvor skisse er vist i Figur 10.1. Tilluftsventiler plasseres ut fra veggen ved dekket og luft tilføres med en liten undertemperatur. Målet er at varme og forurensninger vil transporteres opp langs personer i hallen. Avtrekk plasseres på veggen like over oppholdssonen. Det kan være hensiktsmessig å plassere tilluftsventilene på den ene langsiden og avtrekksventilene på motsatt langside, for å redusere mulighetene for kortslutning av luftstrømmen.



Figur 10.1: Skisse av fortrenningsventilasjon i treningshall

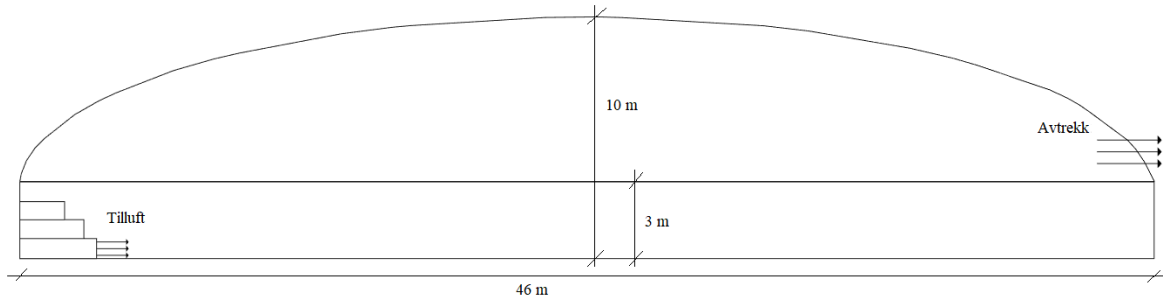
Generelt brukes fortrenningsventilasjon i lokaler med stor takhøyde. Man har sett i teorikapittelet at fortrenningsprinsippet baserer seg på at varme objekter transporterer forurensninger i øvre deler av rommet. I rom med stor takhøyde vil den vertikale temperaturgradienten i rommet bidra til denne effekten. Har man et system hvor fortrenningsprinsippet fungerer, oppnår man bedre ventilasjonseffektivitet enn ved omrøring. [15]

Fortrenningsventilasjon fungerer spesielt godt i rom hvor forurensninger tilføres rommet sammen med varme, som personer og prosesser. I en fotballhall er varmekilden hovedsakelig personer. Kunstgresset er en betydelig forurensningskilde, men den avgir ikke varme. Utfordringen vil være at varmekildene kan bli for svake i forhold til emisjonsstyrken til kunstgresset. Og om prinsippet skulle fungere, må forurensningen passere spillerne, og da kan eksponeringen av forurensningene øke.

Fortrenningsprinsippet forutsetter at temperaturen til tilførselslufta er lavere enn temperaturen i oppholdssonen, slik at luften brer seg utover gulvet. Dager hvor det er varmere ute enn inne, må luften kjøles før den tilføres hallen. [15]

For at konveksjonsstrømmene i vertikalretningen skal ha fri konveksjon, bør det ikke være andre sterkere luftstrømmer i rommet. Når hallen er i bruk for fotballformål, vil det være mye aktivitet som skaper en viss omrøring. Varmeavgivelsene vil da få en mer tvunget konveksjon. En mer ideell situasjon for fortrenningsprinsippet kan være hvis hallen benyttes for en konsert eller en utstilling, hvor personene er i ro. [25]

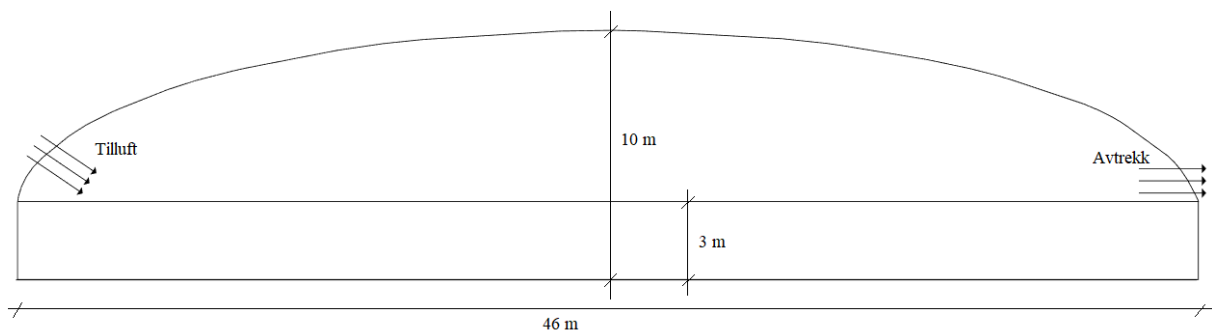
Selv om man kan tolerere mer trekk i en fotballhall i forhold til et kontor, kan tilføring av undertemperert luft medføre trekk, spesielt for tilskuere som har lav aktivitet. Dette kan løses ved å tilføre luften under tribuner, slik som vist i Figur 10.2. Løsningen gir mindre fleksibilitet med tanke på å flytte på tribuner og det kan føre til at tilskuerne ikke får tilstrekkelig mengde frisk luft.



Figur 10.2: Skisse av fortreningsventilasjon med tilluft under tribuner

10.2 Alternativ 2 – omrøringsventilasjon

Alternativ 2 følger omrøringsprinsippet. Som man så i 3.8.2 går dette ut på at man tilfører frisk luft som blandes med forurenset luft, også tar man ut en del av den blandingen slik at man får en fortykning. I Figur 10.3 er det gitt en enkel skisse av en treningshall med prinsipiell plassering av tilluft og avtrekk. Som man kan se er både tilluft og avtrekk plassert over oppholdssonen. Omrøring brukes i de fleste rom med balansert ventilasjon, og benyttes også i rom med store volum.



Figur 10.3: Skisse av omrøringsventilasjon i treningshall

Omrøringsventilasjon har den fordel med at prinsippet fungerer i de fleste tilfeller, og det kan også kombineres med romoppvarming. I motsetning til fortreningsventilasjon, er ikke omrøringsventilasjon avhengig av varmekilder for å fungere. [25]

En viss grad av omrøring i oppholdssonen vil uansett forekomme når det er aktivitet på banen. Ved å benytte dette prinsippet, vil man kunne utnytte omrøringen spillerne skaper til å fordele tilluften.

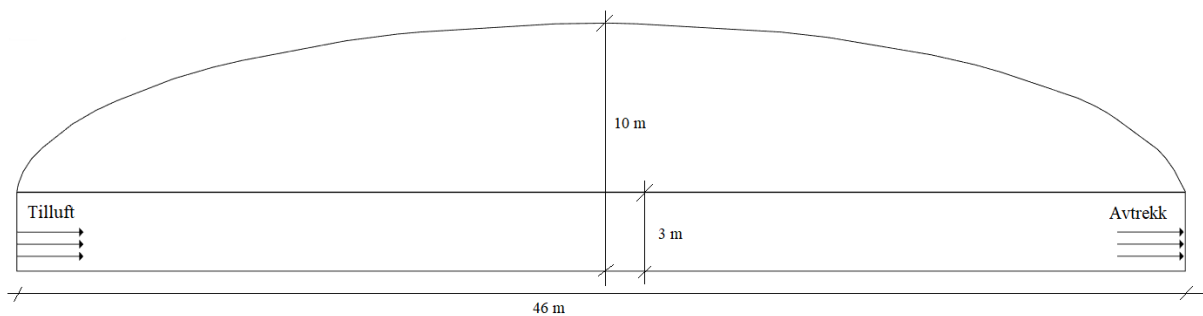
Tilluftsventiler kan for eksempel plasseres på begge langsidene for å få bedre omrøring. Man må imidlertid passe på at avtrekkene ikke plasseres for nærme tilluften. Det bør være gjennomførbart, da korteste side i treningshallen ikke er mindre enn 46 m.

Hovedutfordringen med omrøring i store rom er å få god nok luftsirkulasjon uten at det går på bekostning av termiske forhold i form av høye lufthastigheter. Blir det for dårlig omrøring fører dette til stagnasjonsområder og romluftens gjennomsnittsalder stiger. [72]

Omrøringsventilasjon har lavere effektivitet enn et fungerende system med fortrenningsventilasjon, men er mer driftssikker med tanke på at den ikke trenger varmekilder for å fungere. [15]

10.3 Alternativ 3 – stempeleffekt

Et tredje alternativ er å tilføre frisk undertemperert luft ved dekket, som ved fortrenningsprinsippet, men også plassere avtrekk nært bakken der forurensningskilden er. Hensikten er å oppnå en form for stempeleffekt ved å flytte luften i horisontalretningen. En prinsippskisse er gitt i Figur 10.4.



Figur 10.4: Skisse av "stempel"-ventilasjon i treningshall

Varme fra oppvarmingssystemet vil stige opp mot taket og avgi varme med termisk stråling ned mot banen. Romtemperaturen vil ligge et sted mellom tilluftstemperatur og temperaturen fra oppvarmingssystemet. Dette vil danne temperatursjiktning i vertikalretningen som hindrer tilluften å stige opp. En forutsetning for dette prinsippet vil være å oppnå stabil sjiktning, noe som kan være en utfordring når det er mye aktivitet i hallen. [25]

I prosjektoppgaven ble det sjekket tettheten til noen av stoffene som emitteres fra SBR- og TPE-granulat. Disse hadde høyere tetthet enn luft ved standardbetingelser. Det vil si ved null omrøring og stasjonære forhold, vil disse stoffene ligge ved bakken. Da kan det være hensiktsmessig å trekke av luften der forurensningen er størst, heller enn at forurensningene må transporteres til over oppholdssonen og dermed passere brukerne av hallen. [7]

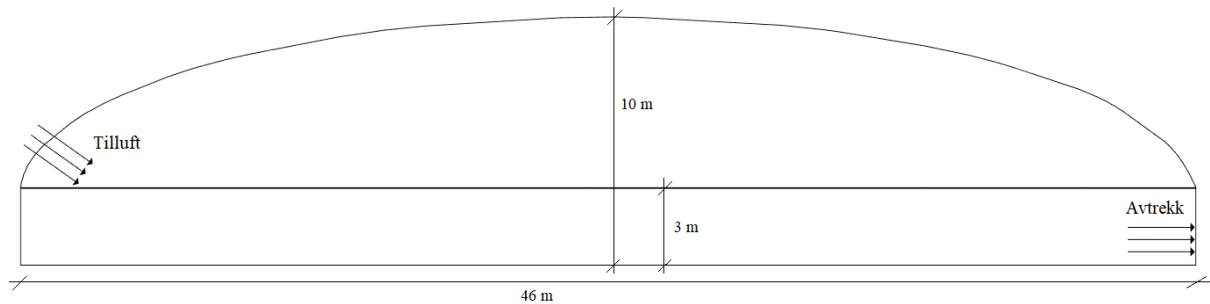
I likhet med alternativ 2, er man her heller ikke avhengig av varmekilder for at det skal fungere. Dette kan være viktig for å oppnå god nok ventilasjonseffektivitet, og dermed tilstrekkelig luftkvalitet i pustesonen i situasjoner hvor det er få personer i hallen.

Undertemperatur på tilluften kan medføre trekk, spesielt hos tilskuere som har et lavt aktivitetsnivå, dette kan løses på samme måte som man så i Figur 10.2. Undertemperaturen kan også føre til ineffektiv ventilasjon, ved at den rene luften spres langs golv og ikke når opp til pustesonen.

En utfordring med dette alternativet er å forutse hvordan luftstrømmene vil bli. Effekten av luftstrømmer i horisontalretningen vil blant annet variere med type bruk og temperaturnivåene inne og ute.

10.4 Alternativ 4 – omvendt fortrenningsventilasjon

Det fjerde forslaget er en form for omvendt fortrenningsventilasjon, som på mange måter er motsatt av det første forslaget. I stedet for å tilføre frisk luft ved dekket og avtrekk over oppholdssonen, tilfører man friskluft over oppholdssonen og trekker av ved dekket. Hensikten vil være å tilføre frisklufta dit den skal; til brukerne, og plassere avtrekk ved den største forurensningskilden; dekket. Prinsippskisse for løsningen er vist i Figur 10.5.



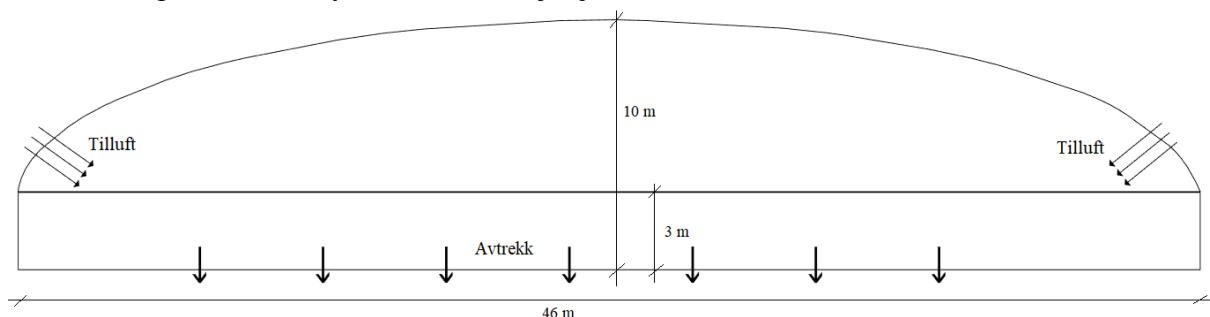
Figur 10.5: Skisse av omvendt fortrenningsventilasjon i treningshall

Med tilluft over oppholdssonen sikrer man frisk luft mot øvre del av oppholdssonen, som gir god luftkvalitet i pustesonen til brukerne. Det kan også plasseres tilluftsventiler på begge langsiden, for å oppnå en jevnere spredning av luften.

Man er ikke avhengig av varmekilder for å transportere forurensninger, da man trekker av forurenset luft nærmest mulig kilden [15]. Den omrøringen som uansett skjer ved bruk, vil kunne utnyttes.

Prinsippet kan være veldig avhengig av temperaturdifferansen mellom tilluften og romtemperaturen. Tilføres friskluften med en høyere temperatur enn romluften, kan det skje at luften flyter over oppholdssonen.

Det kan være en utfordring å få transportert så mye forurensninger til avtrekkene langs veggen, til at luftkvaliteten opprettholdes. En mulighet er å installere avtrekksventiler i dekket, slik som det noen plasser gjøres med tilluftsventiler ved fortrenningsventilasjon. Prinsippskisse er vist i Figur 10.6, med tilluftsventiler på begge langsiden og avtrekk i dekket. Dette er mest aktuelt ved bygging av nye haller, siden det må installeres under dekket. I dette tilfellet ville det vært mest praktisk med kunstgress uten granulat, slik at man lettere kan trekke av luft, og at avtrekket ikke fylles med granulat. På den andre siden vil granulatfritt kunne redusere forurensningskilden så mye at man kanskje fjerner behovet for avtrekk i dekket.



Figur 10.6: Skisse av omvendt fortrenningsventilasjon med avtrekk i dekket

10.5 Oppsummering av alternativene

I dette kapittelet vil alternativene oppsummeres og sammenlignes med fordeler og ulemper. Tabell 10.1 gir en oversikt av de presenterte alternativene med tilførsel- og avtrekks plassering. I Tabell 10.2 er det gitt en oversikt av de fordelene og ulempene man har sett på i kapitlene 10.1-10.4.

Tabell 10.1: Oppsummering av de presenterte ventilasjonsalternativene

	Alternativ 1	Alternativ 2	Alternativ 3	Alternativ 4
Prinsipp	<i>Fortrengning</i>	<i>Omrøring</i>	<i>Stempeleffekt</i>	<i>Omvendt fortrengning</i>
Tilluft	På vegg ved golv	Fra tak, så lavt som mulig	På vegg ved golv	Fra tak, så lavt som mulig
Avtrekk	På vegg over oppholdssonen	På vegg over oppholdssonen	På vegg ved golv	På vegg ved golv, evt. i dekket

Tabell 10.2: Fordeler og ulemper med alternativene

Alt.	Fordeler	Ulemper
1	<ul style="list-style-type: none"> – Passer i utgangspunktet bra for rom med stor takhøyde, da den kan utnytte den naturlige temperaturgradienten – Hvis den fungerer, gir den høy ventilasjonseffektivitet 	<ul style="list-style-type: none"> – Den største forurensningskilden avgir ikke varme → kan bli vanskelig å transportere forurensningen til over oppholdssonen – Kan gi kjølebehov fra ventilasjonsaggregatet – Aktivitet i hallen forstyrrer fortrennings-effekten – Hvis prinsippet fungerer, må forurensningene fra kunstgresset passere pustesonen til brukerne – Tilluft må tilføres med undertemperatur, som kan gi trekk – Kan ikke kombineres med romoppvarming
2	<ul style="list-style-type: none"> – God luftkvalitet i pustesonen til brukerne – Er ikke avhengig av varmekilder, noe som er begrenset i en fotballhall – Kan kombineres med romoppvarming – Kan utnytte omrøring fra aktivitet i hallen 	<ul style="list-style-type: none"> – Utfordring med å få god nok omrøring uten for høye hastigheter eller stagnasjonsområder – Lavere effektivitet enn fortrenningsventilasjon
3	<ul style="list-style-type: none"> – Er ikke avhengig av varmekilder noe som er begrenset i en fotballhall – Avtrekk der forurensningen er størst 	<ul style="list-style-type: none"> – Tilluft må tilføres med undertemperatur, som kan gi trekk – Kan ikke kombineres med romoppvarming – Utfordring å forutse hvordan luftstrømmene vil bli med ulik bruk og termiske forhold ute og inne
4	<ul style="list-style-type: none"> – God luftkvalitet i pustesonen til brukerne – Er ikke avhengig av varmekilder, noe som er begrenset i en fotballhall – Avtrekk der forurensningen er størst – Kan utnytte omrøring fra aktivitet i hallen 	<ul style="list-style-type: none"> – Prinsippet er svært avhengig av temperaturen på tilluften, i rommet og varmesystemet

11 Diskusjon

I innledningen ble det gitt noen forskningsspørsmål til hjelp for å finne svar på problemstillingen. Kapittelet vil drøfte resultater fra litteraturstudiet, spørreundersøkelsen og testforsøkene med mål om å besvare disse. I tillegg vil det drøftes hvilke av de presenterte ventilasjonsalternativene som vil være mest aktuell for fotballhaller.

11.1 Forurensninger

Høyt svevestøvnivå

Man så av Figur 6.8 at det totale svevestøvnivået i både T1 og T2 lå over anbefalte nivå. Det var også langt høyere enn nivået i Manglerudhallen, Valhall og Østfoldhallen, som det ble målt på i 2005. I testforsøkene ble det ikke analysert hvilke kjemiske stoffer svevestøvet består av, men uansett stoffer, er nivåene likevel så høye at de må reduseres for å få en akseptabel god luftkvalitet.

Svevestøvnivåene svarer til at luftkvaliteten i casehallene ikke er optimale. Årsaker har man sett kan være dekke, for lite luftskifte, manglende renholdsrutiner eller en blanding av disse. De mest relevante tiltakene for å bedre luftkvaliteten er reduksjon av forurensningskilden, øke luftskiftet og fastsette rutiner på renhold.

Luftkvaliteten påvirkes av granulatet

Fra litteraturstudiet så man at typer av granulat har ulik emisjonsstyrke. Målingene fra NILU i tre innendørs fotballhaller, viste at massekonsentrasjonen fra svevestøv var høyest i hallen med noen år gammelt SBR-granulat. Videre var nivået lik for hallene med TPE og nytt SBR. Resultatene fra prøvetakingen i denne oppgaven viste at massekonsentrasjonen i hallen med TPE er noe høyere enn den med SBR, henholdsvis 70 og 65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. PM_{10} -verdiene fra T1 og T2 var dobbelt så høy som resultatene fra hallene NILU undersøkte.

Selv om forskjellen mellom T1 og T2 var signifikante, vet man ikke nok til å konkludere med at forskjellen er på grunn av ulikt type granulat. Hallene er forholdsvis like, men ikke nok til at andre variabler er neglisjerbare. At T2 er 3 år nyere enn T1, kan være grunnen til at T2 kommer dårligere ut. Det kan også være hvor mye hallen har blitt luftet periodene før gjennomføring av testforsøkene. Forskjellen er imidlertid ikke veldig stor. Det viktigste er at det totale svevestøvet er langt over anbefalte grenseverdier.

I litteratursøket var det også gjennomført tester av kun kunstgresset, hvorav konklusjonen var at det emitterte mye mindre enn granulattypene. Det er derfor grunnlag til å si at granulatet vil påvirke luftkvaliteten, uansett hvilket granulat man benytter. Det beste for luftkvalitet vil derfor være å bruke granulatfritt dekke.

Bidrag og kilde til svevestøv

Selv om det totale svevestøvverdiene i T1 og T2 var i samme størrelsesorden, var det store forskjeller i hvilke partikkelstørrelser som bidro mest. I T1 kommer det største bidraget fra PM_{5-10} , mens i T2 er det $\text{PM}_{0,3-3}$ som dominerer.

Fra T1 kan svevestøvet komme utenfra, siden verdiene fra ute er høyere enn inne. Svevestøvet ute hadde også mest av de største partiklene, noe som styrker mulighetene for at et bidrag til

svevestøvet innendørs kan komme utenfra. I T2 ser man derimot at det er de minste som dominerer inne, men ute er det mest av de største. Dette medfører at det er liten sannsynlighet for at kilden kommer utenfra. I tillegg er svevestøvet ute mye lavere enn inne. Dette kan tyde på at kilden er inne. På bakgrunn av dette, ligner det på at svevestøvkilden er gummigranulatet, noe som man så i 5.2 at tidligere forskning også har funnet.

Økning i svevestøv når hallen er i bruk

Kurvene fra de kontinuerlige målingene av svevestøv viste at det totale svevestøvnivået økte mens hallen var i bruk. Det var de største partiklene som endret seg mest, mens de minste partiklene lå på et stabilt nivå over flere døgn. Grunnen til at det blir flere av de største partiklene i lufta mens hallen er i bruk, kan være både at allerede emittert støv som har lagt seg på bakken virvles opp, og at materialeemisjonen øker når det blir utsatt for kompresjon. Det stabile nivået av de minste partiklene kan forklares med at partiklene ikke rekker å falle ned på bakken i løpet av de timene hallen er i bruk. Det kan også være at partiklene er så lette at selv de naturlige luftstrømmene i hallen når den ikke er i bruk, er nok til at partiklene forblir svevende.

Hvilke svevestøvparkler som dominerer

Ved prosjektering av ventilasjonssystem for hallene, bør det tenkes gjennom hvilke svevestøvsørrelser som dominerer. I T2 kan det la seg gjøre å montere avtrekksventiler høyt oppe, siden majoriteten er de minste svevestøvparklerne. I T1 er det derimot PM₅₋₁₀ som dominerer. De vil falle raskere på bakken, og det er ikke sikkert at de i det hele tatt når opp til øvre deler av hallen. Hvilke størrelser som dominerer det totale svevestøvverdien kan også endre seg med tid. Det vil derfor være mest driftssikkert å trekke av forurensninger nært dekket.

Redusere forurensningskilden

Folkehelseinstituttet og Radiumhospitalet konkluderte i 2006 med at SBR-granulat ikke bør brukes på fotballbaner innendørs, likevel legges det stadig nye kunstgressbaner med SBR-granulat inne som ute.

Selv om det ikke er direkte helsefarlig å bli eksponert for SBR-granulat, er det enighet i litteraturen om at SBR emitterer mer enn TPE-granulat, men at granulatfritt emitterer klart minst. Dette gjør at bruk av SBR-granulat innendørs vil kreve et større ventilasjonsbehov enn andre granulat og granulatfritt dekke.

For å opprettholde god luftkvalitet bør man velge materialer som emitterer mindre enn det kommersielle SBR-granulatet (for eksempel kunstgress uten granulat) eller kompensere med økt ventilasjon. Avtrekk i dekket kan gi en tilstrekkelig kompensering, men det kan bli vesentlig dyrere. Velges granulatfritt kan behovet reduseres så mye at flere av de foreslåtte ventilasjonsalternativene vil fungere godt.

Nedbryting av granulat

I 5.2.3 ble det sett på at SBR-granulat nedbrytes over tid gjennom kjemiske og fysiske prosesser. Mange av faktorene som bidrar til nedbrytning er atmosfæriske forhold som granulatet ikke blir utsatt for ved bruk innendørs. Hvordan bruk av granulatet innendørs vil påvirke grad av nedbrytning og emisjon i forhold til bruk ute, vet man lite om. Det er likevel sett fra kapittel 5.2.1 at de høyeste svevestøvverdiene kom fra hallen med det eldste granulatet, som kan svare til at noen av de samme prosessene skjer selv om det er skjermet fra sollys, frost og gjørme.

Av faktorene man så fra Figur 5.2, vil mekanisk slitasje uansett forekomme i form av fotballspilling. Utendørs derimot, blir dekkene som ikke er utstyrt med undervarme, også utsatt for brøyting med tunge maskiner som kan øke slitasjen. Oppvarming og nedkjøling vil også forekomme, men ikke i like stor grad som ute. På varme sommerdager kan dekket bli utsatt for sterk oppvarming, og likedan på vinteren kan dekket bli fryst. Væting (i form av nedbør og vanning) og tørking skjer også i større grad ute med værvariasjonene og hyppigere vanning. Det er forekommer imidlertid også vanning i noen fotballhaller.

Emisjonstesting av dekket

Hvis grad av forurensning fra granulattyper ikke avtar på samme måte som andre materialer, vil det være lite hensiktsmessig å emisjonsteste mot ISO 16000-standarden som var gjort i studiet man så i 5.2.2. På den andre siden viste studiet at TVOC-emisjonene avtok betraktelig i løpet av 28 dager. En forklaring på dette kan være at materialet blir testet under stabile innklimaforhold. At dekket testes etter denne standarden kan gi misvisende resultater, da materialet ikke testes under forhold som det skal utsettes for. Det er en rekke påkjenninger for dekket, selv om det benyttes innendørs. Det bør derfor vurderes en annen metode for å emisjonsteste slike materialer, ved mer realistiske forhold.

Økonomi i valg av granulattype

Utbredelsen av SBR sammenhenger med at det er det billigste granulatet på markedet. Hvis det opprettes krav til luftkvalitet i innendørs fotballhaller, vil haller med SBR måtte ventileres mer, som vil øke driftskostnadene. Da kan TPE og granulatfritt bli mer konkurransedyktige i fotballhaller.

11.2 Eksponering og helseeffekter

Helsevurdering av dekket

Det ble sett fra kapittel 5.3 at gummigranulat kan avgi forbindelser som er helseskadelige ved visse konsentrasjoner. Likevel viste funnene fra litteraturstudiet at forventet konsentrasjon og eksponering, ikke vil medføre helserisiko. Svevestøvnivåene fra testforsøkene var imidlertid høyere enn anbefalte nivå, noe som øker eksponeringen. Da vil også risikoen for uheldige konsekvenser øke.

Økt eksponering innendørs

Det er vist at eksponeringen av emisjon fra kunstgress og kunstgressgranulat er større når det benyttes innendørs. Likevel er majoriteten av fotballhallene ikke utstyrt med ventilasjon. Fra målingene ser man at luftskiftet er mange ganger lavere enn det som er vanlig i øvrige bygninger. Det lave luftskiftet vil medføre en akkumulasjon av emisjonene. Ved installering av ventilasjon, øker man luftskiftet.

Merker ikke svevestøvet

Resultatene fra spørreundersøkelsen viste at brukerne jevnt over syntes luftkvaliteten var akseptabel, men testforsøkene viste at svevestøvnivåene var høye. Det kan svare til at brukerne ikke opplever svevestøvene, men det er ikke synonymt med at det ikke vil medføre negative helseeffekter.

Ingen krav til luftkvalitet

Hadde fotballhallen vært noens arbeidssted måtte man forholdt seg til arbeidstilsynets veiledning 444. Man kan stille spørsmålsteget ved mildere krav til luftkvalitet i en bygning hvor majoriteten er barn og unge, hvor noen oppholder seg mange timer i hallen i løpet av en uke. De er mer utsatt for utvikling av astma og allergi som kan fremprovoseres av blant annet svevestøv. I tillegg er de minste barna også betydelig nærmere dekket, som er vist å være en forurensningskilde.

11.3 Ventilasjon

Avtrekk nærme forurensningskilden

Fra teorien anbefales det å trekke av forurensninger nærmest mulig kilden, dette gjør at alternativ 3 og 4 kommer godt ut. Det poengteres også at man ventilerer for brukerne, slik at hvis ikke frisk luften kommer fram til brukerne har man ikke oppnådd ønsket funksjon. I den sammenheng kommer alternativ 2 og 4 best ut, ved at luften ikke passerer dekket før den når brukerne (som man har sett er en betydelig forurensningskilde).

Tettheten til forurensningene

Ved å gjøre målinger av TVOC ville man funnet hvilke stoffer som er til stede og deres egenskaper. Har mesteparten av stoffene høyere tetthet enn luft, hadde det vært en indikasjon på at fortrenningsventilasjon er gjennomførbart.

Svevestøv vil ved stasjonære forhold legge seg på bakken, men for de minste partiklene kan dette ta så lang tid at det i praksis ikke skjer. Man kunne målt hvor homogen svevestøvet er i hallen og også i vertikalretningen. Det naturlige å forutsi er at svevestøvkonsentrasjonen er høyest nærme dekket og avta i høyden, men med målingen ville man også fått hvor store forskjeller det er. Er svevestøvet godt blandet etter at hallen har vært i bruk noen timer, vil det ikke være usannsynlig å kunne trekke av forurensninger høyt oppe.

Lagdeling

Det ble i litteratursøket sett på selektiv ventilasjon, for å ventilere en felles sone ulikt ved hjelp av plassering av tilluft- og avtrekksventiler og utnyttelse av temperaturgradienten. Prinsippet er relevant for fotballhall fordi oppholdssonen har et større ventilasjonsbehov enn det øvrige volumet i hallen. I tillegg viste kapittel 9.1 at oppholdssonen utgjør henholdsvis kun 26 % og 14 % i treningshall og storhall. På den andre siden kan en lavtemperert hall og få interne varmekilder gi for liten temperaturgradient, for at prinsippet skal fungere optimalt.

Fra 5.1.3 økte luftskiftet når viftene var i bruk, men ikke så mye som forventet. Dette ble forklart med ufullstendig omrøring. Viftekapasitetene i T2 svarer også til at man skulle fått et mye høyere luftskifte enn det som ble beregnet ut fra CO₂-målingene. Begge disse tilfellene er eksempler på at plassering av viftene er avgjørende for hvor effektiv luftutskiftningen blir. Å gjøre korrekte vurderinger for hvordan luftdistribusjonen vil bli ved ulike plasseringer av vifter, vil være avgjørende for effektiviteten, luftmengdebehovet og dermed også energibehovet.

Ventilere for ulike brukssituasjoner

Det vil være viktig å vurdere hvilke brukssituasjoner det skal dimensjoneres for. Man så i kapittel 9.2 at ventilering for materialer utgjør størst ventilasjonsbehov, og at behovsforskjellen

mellom trening og kamp er liten. Skal hallen også kunne brukes til konserter, messer og lignende arrangement bør det prosjekteres inn. I casehallene har det typisk vært et par slike arrangementer i året. Det må vurderes om denne brukssituasjonen skjer ofte nok til at det skal dimensjoneres for det. En løsning kan være tilstrekkelig er å sørge for at luftkvaliteten er ideell ved start, slik at det tar lenger tid før luftkvaliteten blir dårlig.

En brukssituasjon som kanskje forekommer oftere er cup. Da er det gjerne høyere tetthet av både tilskuere og spillere. Hvor ofte en slik brukssituasjon forekommer, vil avhenge av lokasjon av hallen. Det vil kanskje arrangeres flere cuper i haller som har flere klubber og fotballag i området. Dette viser til at fotballhaller må bedømmes individuelt når det skal prosjekteres ventilasjon.

Bruksfrekvens og type aktivitet

Det ville vært nyttig å logget type aktivitet og brukstetthet i casehallene. Selv om hallene stort sett er booket like mange timer i løpet av en dag, er hypotesen at man ville sett både en lavere bruksfrekvens og færre brukere som er det samtidig i T2 enn i T1, da T2 ligger mer i utkanten.

Dimensjoneringstall

Hvilke dimensjoneringstall som bør benyttes for ventilasjon i en fotballhall, vil være avhengig av ventilasjonseffektiviteten. Denne vil igjen avhenge stort av hvilken ventilasjonsløsning som velges. Kunstgress kan ikke kategoriseres som et lavemitterende materiale, som etter dagens TEK-krav er $2,5 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{BRA}}$. Ved avtrekk i dekket, som ser ut til å gi den beste fortrengningen av forurensninger, kan imidlertid Kulturdepartementets veiledning for idrettshaller på $7 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{BRA}}$ være mer passende. Dette er riktignok kun anslag og det vil på bakgrunn av dette, ikke være nok grunnlag til å gi dimensjoneringsverdier for ventilasjon. Det er sett at arealet er så stort, at ventilasjon med hensyn på materialer vil utgjøre mesteparten av det totale behovet. Når det er stor forskjell mellom type materialer som benyttes, kan det være en mulighet å oppgi dimensjoneringstall per areal med de ulike materialene. Eksempelvis $10 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{dekke med SBR}}$ og $7 \text{ m}^3/\text{h}\cdot\text{m}^2_{\text{dekke uten granulat}}$. Skal hallen kunne holde store arrangement, vil ventileringen med hensyn på personbelastning øke, noe som i de tilfellene også bør tas med i dimensjoneringen.

Driftsrutiner og vedlikehold

Hvordan hallen driftes og vedlikeholdes vil ha mye å si for luftkvaliteten man oppnår. Her kommer rengjøring som et viktig punkt. I casehallene ble det ikke informert noe om renholdsrutiner av dekket. Det finnes utstyr som renser granulatet. Dette kan bidra til å ta bort mye av svevestøvet og andre forurensninger.

Lokasjon av fotballhallen

Installeres et ventilasjonsaggregat vil man kunne filtrere luft fra uteluften. Dermed blir utekilden tilnærmet eliminert. Lokasjon av hallen vil da være en vesentlig faktor for hvor ofte det bør byttes filter. En hall i tettbebygd strøk vil behøve hyppigere skift, enn en hall i utkanten.

11.4 Testforsøk

Antar homogen luft

Feilkilder for både målinger av svevestøv og CO₂-konsentrasjon er at det kun er målt på et sted i hallen. Man vet ikke hvor homogen lufta inne i hallen er. Dette er derfor en feilkilde, da man

i beregninger antar at konsentrasjonene er lik over hele hallen, basert på verdier fra det ene punktet. Man kunne fått et bilde på hvor homogen konsentrasjonene i luften var ved å målt forskjellige steder i hallen i korte tidsintervall. På den andre siden spiller det liten rolle om forholdene er bedre over oppholdssonen. Testforsøkene målte midt i oppholdssonen, slik at det er disse forholdene brukerne av hallen blir eksponert for.

Utfordringer med testforsøk

Med flere testforsøk og gjerne over lengre tid, kunne man fått mer et mer representativt forurensningsnivå. Dette gjelder særlig i testobjekt 1, hvor begge testforsøkene ble avbrutt slik at man ikke fikk hele det tidsintervallet som var planlagt. I T1 fikk man derfor målinger over til sammen to døgn på to testforsøk, mens i T2 har man til sammen 4 døgn. Dette medfører et mer representativt gjennomsnitt for svevestøv og CO₂-konsentrasjon i T2.

Stor variasjon i luftskifte

De utregnede infiltrasjonene i testhallene varierte mye, noe som kan tyde på at det er stor usikkerhet til målingene. Det kan også være at luftskiftet faktisk endrer seg veldig mye fra en dag til en annen, men de termiske forholdene inne og ute endret seg lite og dermed forventet man mindre variasjoner i luftskiftet. Små variasjoner av luftskiftet vil utgjøre store forskjeller for infiltrasjonsluftmengdene på grunn av det store volumet av hallen. En luftskifteendring på 0,01 h⁻¹ vil utgjøre 2 500 m³/h, men per m²_{BRA} vil det igjen utgjøre lite.

Svevestøv og fuktig luft

Det var forventet at det var mindre svevestøv i omgivelsene med høyest relativ fuktighet, da støv binder seg til fukt. Inne i T2 ble det målt en relativ fuktighet på 80 % under det første testforsøket, og 60 % i det andre testforsøket. Det ser ikke ut til at denne forskjellen gir utslag for svevestøvnivåene, da det totale nivået i T2 var tilnærmet likt under begge testforsøkene.

11.5 Spørreundersøkelse

Valg av informasjonskanal

At spørreundersøkelsen ble delt på fotballagenes internsider, gjorde at den nådde mange. Informasjonskanalen kan også ha ført til at man ikke sett noen grunn til å svare. Hvis linken hadde blitt delt via e-port eller SMS direkte til hver bruker, kunne man kanskje fått flere til å avgi svar.

Digital spørreundersøkelse

Meningen med digital spørreundersøkelse var at respondentene skulle være anonyme. Dette kunne også latt seg gjøre ved å dele ut og samle inn spørreskjemaet før eller etter noen treninger. Det ble ikke stilt noen direkte personopplysninger, kun to indirekte (kjønn og alder). Med mange respondenter ville undersøkelsen likevel vært anonym. På denne måten kunne man kanskje fått inn flere svar.

Få respondenter

Det kom inn færre svar enn forventet, da mange hundre hadde tilgang til spørreundersøkelsen. Dette kan ha spilt en rolle for hvilke resultater man fikk. En respondent utgjør en betydelig prosentandel av totalen og påvirker derfor resultatet deretter. Har en respondent sendt inn svar to ganger, eller for eksempel besvart alle spørsmålene på den ene siden av skalaen vil dette

være utslagsgivende. Fra korrelasjonsanalysen ville man fått et mer korrekt og pålitelig resultat med flere respondenter. Blant annet i korrelasjonsanalyse mellom opplevd temperatur og luftkvalitet, gav resultatene fra T1 og T2 motsatt utslag. Hypotesen var at de som syntes det var kjølig også opplevde at luften var frisk, noe T1 forkastet og T2 validerte.

Usikkerhet i antall unike besvarelser

Siden undersøkelsen ble delt på internsidene til fotballagene, er det et ukjent antall som har hatt tilgang. Man vet imidlertid hvor mange ganger noen har trykt seg inn på linken og hvor mange som har fullført undersøkelsen. Antall ganger noen har trykt seg inn på linken, er nødvendigvis ikke antall personer. Man kunne trykke seg inn på linken inntil to ganger fra hver enhet.

Premiering

Det ble annonsert at en respondent fra hver spørreundersøkelse kunne vinne et gavekort på kr. 200,- hos den lokale sportsbutikken. Dette kan ha ført til at noen respondenter sendte inn et svar kun for å vinne, og dermed ikke tenkt så nøye gjennom hva de svarte.

11.6 Energibehov

Varmegjenvinning

Det er sett at implementering av ventilasjon vil øke energibehovet. På den andre siden kan det være den mest energieffektive måten å oppnå god luftkvalitet på, gitt at dimensjonerings-temperaturen i hallen er høyere enn ute. Da vil det imidlertid være viktig at ventilasjonsaggregatet har en varmegjenvinner. Mange treningshaller ventilerer med å åpne luker og porter, noe er uheldig siden man også slipper varme rett ut.

Lekkasjetall

Siden 2007 har krav til største lekkasjetall for enkeltkonstruksjoner ved 50 Pa trykkforskjell (n_{50}) vært 3 h^{-1} for alle bygninger. Og i standarden for passivhus skal n_{50} være $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$. Lekkasjetallet utregnet for casehallene er dermed mye lavere både i forhold til vanlige bygninger og passivhus. Infiltrasjonen til casehallene har usikkerheter med tanke på at de to måleseriene i hver hall ikke nødvendigvis er representative for gjennomsnittlig infiltrasjon, og trykkforskjellen er ikke kjent. Likevel er de utregnede verdiene gode estimat på at lekkasjetallet og dermed prosentvis infiltrasjonsvarmetap for casehallene er mye lavere enn for vanlige bygg. Hvis dette forholdet har mye å si for infiltrasjonen, vil dette medføre at en storhall vil ha enda lavere lekkasjetall enn en treningshall.

Sammenligning mot idrettsbygninger

Med de gitte inndataene for simulert energibehov i en treningshall fra kapittel 8, ble det totale energibehovet per oppvarmet bruksareal $27 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{år}$, som er godt innenfor kravet for idrettsbygninger. Spesifikk romoppvarming per år ble $15,8 \text{ kWh}$, noe som etter den parameteren ville oppfylt passivhuskravet. Dette argumenterer for at forskjellene i krav som settes til oppføring av en idrettsbygning i forhold til fotballhaller, gjør det lite hensiktsmessig å sammenligne energibehovet. Det kan gi mer mening å sammenligne en fotballhall mot ordinære idrettsbygninger om kravene blir mer like. Slik det er i dag derimot, bør fotballhaller vurderes etter en egen standard med strengere krav til oppvarming da temperaturen er mye lavere enn ordinære idrettsbygninger.

12 Konklusjon

Testforsøk i fotballhallene viste at svevestøvnivåene overskred anbefalte verdier. Man fant fra litteraturstudiet at gummigranulat emitterer vesentlig mer enn vanlige materialer for innendørsbruk. Det var også flere studier som viste at SBR-granulat har høyere emisjon enn TPE, mens granulatfritt kom klart best ut. Testforsøkene viste relativt like verdier i svevestøv, men bygningene og driftsforholdene hadde for mange variabler til å konkludere med at granulattypene emitterte likt. Tross høye svevestøvverdier, så man fra spørreundersøkelsen at brukerne jevnt over var fornøyd både med de termiske forholdene og luftkvaliteten.

Det vil være en avveining om kilden skal reduseres, ved å velge materialer som emitterer mindre, eller om det skal kompenseres med ekstra ventilasjon. Det viktigste vil uansett være å redusere brukernes eksponering for svevestøv og andre forurensninger.

Ventilasjonsløsning og dimensjonering bør vurderes for hver hall, da det er mange faktorer som vil være bestemmende for behovet. Det er likevel sett at fotballhaller er en bygningstype i stor vekst, spesielt i de nordiske landene. Da blir det også mer relevant å etterspørre en standard for luftkvalitet med veiledende dimensjoneringsverdier. Det foreslås at ventilasjon for personbelastning kan være lik som Kulturdepartementets veileder for idrettshaller, men for materialbelastning bør det gis egne dimensjoneringstall for ulike typer kunstgressdekker.

Gitt at materialer som kommersielt brukes til dekket forblir det samme, vil det mest aktuelle prinsippet for ventilasjon i innendørs fotballhaller være omvendt fortrengningsventilasjon. Avtrekk installeres ved forurensningskilden, og frisk luft tilføres oppholdssonen.

Implementering av omrøringsventilasjon kan likevel i mange haller bedre luftkvaliteten. Det er ansett som et rimelig og driftssikkert prinsipp. Dette kan være aktuelt for eksisterende haller, for å bedre luftkvaliteten med forholdsvis enkle tiltak.

Det ble ikke funnet noen studier som har sett på ventilasjon av innendørs fotballhaller. Det trengs derfor mer forskning som rettes spesifikt mot denne bygningstypen.

13 Forslag til videre arbeid

Ved videre arbeid knyttet til hvordan granulattyper påvirker luftkvaliteten, kan det være aktuelt med analyse av sammensetning av svevestøvet i ulike fotballhaller. Dette kan gi mer grunnlag til å svare for hvilke helseeffekter eksponering av svevestøv kan medføre. NILU sin undersøkelse av luftforurensning i fotballhaller undersøkte dette, men det var i 2005. Materialene som benyttes i dag kan være noe annerledes enn for 13 år siden. Det kan derfor være nyttig å gjenta en liknende undersøkelse.

Hvis det skal settes opp en ny fotballhall i nærmeste framtid, kan man se på muligheter for at hallen kan bli et pilotprosjekt med fokus på luftkvalitet. Da kan de ulike ventilasjonsalternativene testes i praksis. Dette vil bidra til validering, men også danne grunnlaget for ny kunnskap innenfor et tema som det ikke er gjort så mye forskning på.

Å sette krav til implementering av ventilasjon i fotballhaller for å søke om økonomiske midler, vil bidra til et økt ambisjonsnivå knyttet til luftkvalitet for denne bygningstypen. Dette kan blant annet være Kulturdepartementets nasjonale støtteordning for idrett og fysisk aktivitet «Anleggsregisteret». Norges fotballforbund vil også spille en viktig rolle for at fokuset på god luftkvalitet i fotballhaller skal bli en prioriteringspost.

Litteraturliste

1. Kvalheim, G., *E-postkommunikasjon*, A.O. Ressem, Editor. 2017: Norges fotballforbund.
2. Direktoratet for byggkvalitet, *Byggeteknisk forskrift (TEK17)*. 2017.
3. Norsk Standard, *Inneklimaparametre for dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk*, in *NS-EN 15251*. 2007.
4. Standard Norge, *NS3031:2016 Beregning av bygningers energiytelse, metode og data*, in *Calculation of energy performance of buildings method and data*. 2016: www.standard.no.
5. Direktoratet for arbeidstilsynet, *Best. nr. 444, Veiledning om klima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Arbeidstilsynet, 1991.
6. Standard Norge, *NS:3701 Kriterier for passivhus og lavenergibygninger, yrkesbygninger*. 2013.
7. Ressem, A.O., *Ventilasjon av fotballhaller*. 2017, NTNU.
8. Unisport. *Oppbygging av kunstgressbanen*. 2017 [cited 2018 30.01.]; Available from: <https://www.unisport.com/nb/oppbygging-av-kunstgressbanen>.
9. Andersen, L. and COWI, *Potensialet for og omfanget av utslipp av miljøgifter fra bruksfasen ved gjenvinningsformer som bruker gummigranulat fra kasserte bildekk*. 2012.
10. COWI and Miljø- og Fødevarerministeriet, *Kunstgræsbaner Kortlægningsrapport*. 2017: www.hoeringsportalen.dk.
11. Kvalheim, G., *Erfaring med bruk av kork- og kokosinnfyll*. 2014, Norges fotballforbund: www.badparkidrett.no.
12. Andersen, R., et al., *Kunstgressboka: bygging, drift og vedlikehold av kunstgressbaner*. 2015, Kulturdepartementet i samarbeid med Norges fotballforbund: www.regjeringen.no.
13. *SBR-granulate*. 2017 [cited 2018 15.03.]; Available from: http://spartonerprises.com/sparton_e/products/category/sbr.
14. *Granules en plastique verts de polymère*. 2017 [cited 2018 15.03.]; Available from: <https://fr.dreamstime.com/photo-stock-granules-en-plastique-verts-de-polym%C3%A8re-image33590030>.
15. Ingebrigsten, S., *Ventilasjonsteknikk*. 2017.
16. Heiler sport. *Naturkork*. 2016 [cited 2018 01.06.]; Available from: <https://www.heiler-sport.de/de/infill/naturkork.html>.
17. Aas, B., *Kommunikasjon*, A.O. Ressem, Editor. 2017: Kunstgress uten fyll.
18. Miljødirektoratet, *Kunstgressbaner og resirkulerte bildekk*. 2006: www.miljodirektoratet.no.
19. Skåret, E., *Ventilasjonsteknisk håndbok*. 2000: Norges byggforskningsinstitutt.
20. Mysen, M. and Peter G. Schild, *Behovsstyrt ventilasjon, DCV – krav og overlevering*. 2015: www.sintef.no.
21. Exhausto. *Styringsprinsipper*. [cited 2018 06.05.]; Available from: <https://www.exhausto.no/prosjektering/Working%20-%20Kontorventilasjon/Design%20af%20system/Styringsprinsipper>.
22. Jokl, M.V., *Evaluation of indoor air quality using the decibel concept based on carbon dioxide and TVOC*. Building and Environment, 2000.
23. Padfield, T., *Conservation Physics - Air exchange rate*. 2014: www.conservationphysics.org.
24. SINTEF Byggforsk, *552.351 Klimaanlegg: Fordeling av ventilasjonsluft i rom*. 1996: byggforsk.no.

25. SINTEF, et al., *ENØK i bygninger: effektiv energibruk*. 2007.
26. Wolkoff, P., *How to measure and evaluate volatile organic compound emissions from building products. A perspective*. Science of the Total Environment, 1999.
27. Jeng, H.A.C. and L. Yu, *Particulate Matter*. 2011.
28. Liang, J., *Particulate matter-9*. 2013: Elsevier Inc.
29. Folkehelseinstituttet, *Anbefalte faglige normer for inneklima*. 2015: www.fhi.no.
30. World Health Organization, *WHO Air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide*. 2005.
31. Krzyzanowski, M. and A. Cohen, *Update of WHO air quality guidelines*. Air Quality, Atmosphere & Health, 2008.
32. Dalland, O., *Metode og oppgaveskriving for studenter*. 5. utg. ed. 2012.
33. Løvås, G.G., *Statistikk for universiteter og høyskoler*. 2. utg. ed. 2004.
34. Marcin, K., *What is Strong Correlation? Teaching Statistics*, 2009.
35. Dockery, D.W., et al., *An association between air pollution and mortality in six US cities*. New England journal of medicine, 1993.
36. Miljødirektoratet and Folkehelseinstituttet, *Luftforurensning: Svevestøv*. 2017: www.miljodirektoratet.no.
37. Pegasor, *Pegasor AQTM Indoor Air Quality Monitor Operating Manual*. 2016.
38. TSI, *AEROTRAK™ Handheld Airborne Particle Counter*. 2011.
39. Lascar electronics, *EasyLog USB Software Guide*. 2016.
40. Melhus Fotball. *Bankhallen*. [cited 2018 16.04.]; Available from: <https://melhusfotball.no/bankhallen>.
41. Olsen, T. *Bare én uke til fotballhallen på Melhus åpner*. 2012 [cited 2018 16.04.]; Available from: <https://www.tronderbladet.no/sport/article6710011.ece>.
42. Vuku IL. *Vukuhallen*. 2013; Available from: http://www.verdal.kommune.no/Global/Politikk/2013/Vedlegg/ml130920_vukuhallen.pdf.
43. Pedersen, R., *Telefonkorrespondanse*, A.O. Ressem, Editor. 2018: Drift ved Vukuhallen.
44. Stokdahl, K. *Nye treningstilbud i Vukuhallen*. 2017 [cited 2018 01.06.]; Available from: <https://www.innherred.no/sport/2017/11/20/Nye-treningstilbud-i-Vukuhallen-15630757.ece>.
45. Calay, R.K., B.A. Borresen, and A.E. Holdø, *Selective ventilation in large enclosures*. Energy and Buildings, 2000.
46. Kulturdepartementet, *Veiledere: Idrettshaller. Planlegging og bygging*. 2016: www.regjeringen.no.
47. Rajagopalan, P. and M.B. Luther, *Thermal and ventilation performance of a naturally ventilated sports hall within an aquatic centre*. Energy and Buildings, 2013.
48. Bouhamra, W.S., A.S. Elkilani, and M.Y. Abdul-Raheem, *Predicted and measured air exchange rates*. ASHRAE journal, 1998.
49. Stathopoulou, O.I., et al., *An experimental study of air quality inside large athletic halls*. Building and Environment, 2008.
50. Dye, C., et al., *Measurement of air pollution in indoor artificial turf halls*. 2006.
51. International Organization for Standardization, *Determination of the emission of volatile organic compounds from building products and furnishing — Emission test chamber method*. 2006.
52. Moretto, R., *Environmental and health assessment of the use of elastomer granulates (virgin and from used tyres) as filling in third-generation artificial turf*. 2007: www.sfrecrepark.org.

53. Cheng, H., Y. Hu, and M. Reinhard, *Environmental and health impacts of artificial turf: a review*. Environmental science & technology, 2014.
54. Vidair, C., R. Haas, and R. Schlag, *Evaluation of Health Effects of Recycled Waste Tires in Playground and Track Products*. Office of Environmental Health Hazard Assessment of California Environmental Protection Agency. Sacramento, CA, 2007.
55. Plessner, T. and O. Lund, *Potential health and environmental effects linked to artificial turf systems-final report*. 2004.
56. Folkehelseinstituttet og Radiumhospitalet, *Artificial turf pitches – an assessment of the health risks for football players*. 2006.
57. Birkholz, D.A., K.L. Belton, and T.L. Guidotti, *Toxicological evaluation for the hazard assessment of tire crumb for use in public playgrounds*, in *Journal of the Air & Waste Management Association*. 2003.
58. European Chemical Agency (ECHA), *Annex XV Report: An evaluation of the possible health risks of recycled rubber granules used as infill in synthetic turf sports fields*. 2017.
59. Johns, D.M., *Initial evaluation of potential human health risks associated with playing on synthetic turf fields on Bainbridge Island*, in *Seattle, Washington: Windward Environmental LLC*. 2008.
60. Hofstra dr. U., *Environmental and Health Risks of Rubber Infill. Rubber Crumb from Car Tyres As Infill on Synthetic Turf*. 2007.
61. Cardno ChemRisk, *Review of the Human Health & Ecological Safety of Exposure to Recycled Tire Rubber found at Playgrounds and Synthetic Turf Fields*. Prepared for: Rubber Manufacturers Association, Washington, DC, 2013.
62. Lim, L. and R. Walker, *An Assessment of Chemical Leaching: Releases to Air and Temperature at Crumb-Rubber Infilled Synthetic Turf Fields*. 2009: New York State Department of Environmental Conservation.
63. Lazaridis, M., et al., *Inorganic and Carbonaceous Components in Indoor/Outdoor Particulate Matter in Two Residential Houses in Oslo, Norway*. Journal of the Air & Waste Management Association, 2008.
64. Rakkestad, K.E., et al., *Phthalate levels in Norwegian indoor air related to particle size fraction*. J Environ Monit, 2007.
65. Raaschou-Nielsen, O., et al., *Predictors of indoor fine particulate matter in infants' bedrooms in Denmark*. Environmental research, 2011.
66. Aas, K, *Luftkvalitet og karbondioksid (CO₂)*. 2014: www.inneklima.no.
67. Kulturdepartementet, *Veiledere: Målbok for idrettsanlegg*. 2015: www.regjeringen.no.
68. Standard Norge, *NS-EN 12193:2007 Lys og belysning, Idrettsbelysning*. 2016.
69. Philips, *Lighting world first: Philips breaks 200 lumens per watt barrier*. 2013.
70. Kulturdepartementet Avdeling for sivilsamfunn og idrett, *Bestemmelser om tilskudd til anlegg for idrett og fysisk aktivitet - 2017*. 2017: www.regjeringen.no.
71. Standard Norge, *ISO 7730:2005 Ergonomi i termisk miljø*. 2006: www.standard.no.
72. Bakken, G.A., *Hva skjer med ventilasjonens effektivitet?* 2013, Høgskolen i Oslo og Akershus.
73. Kvalheim G. (Norges fotballforbund), *E-postkommunikasjon*, A.O. Ressem, Editor. 2017: Kunstgressbaner i Norge.

Vedlegg A: Resultat av testforsøk

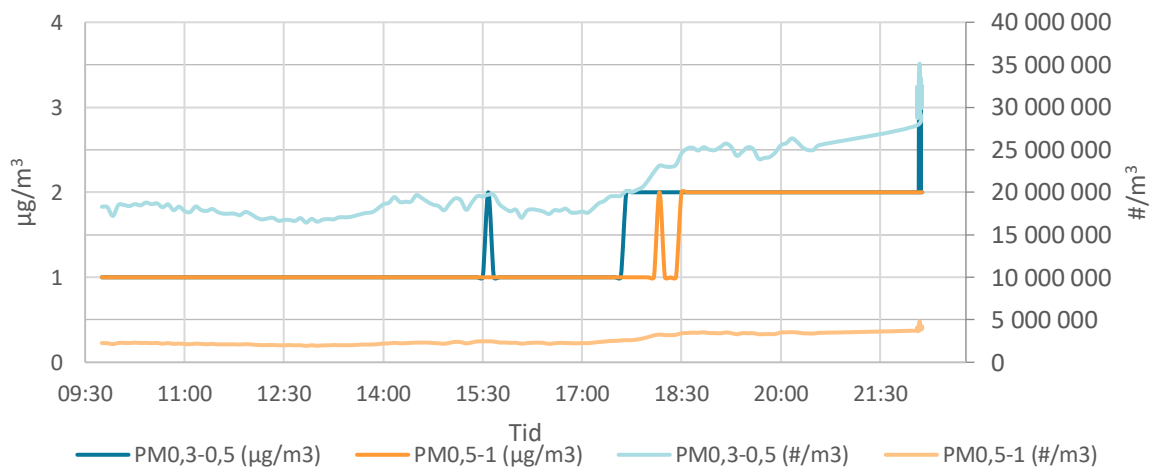
Hvert delkapittel i dette vedlegget representerer en måleserie i testobjekt 1 eller 2. For hver måleserie presenteres først svevestøv målinger fra inne i hallen, deretter svevestøvmålinger fra utenfor hallen, temperatur, relativ fuktighet og til slutt CO₂-konsentrasjon.

I diagrammene for svevestøv er det to y-akser, hvor de viser verdiene i henholdsvis $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og $\#/ \text{m}^3$. Kurvene med mørkest farge har enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Samme farge i lysere nyanse viser de respektive størrelsene i enheten $\#/ \text{m}^3$.

A.1 Testobjekt 1 – 1. mars

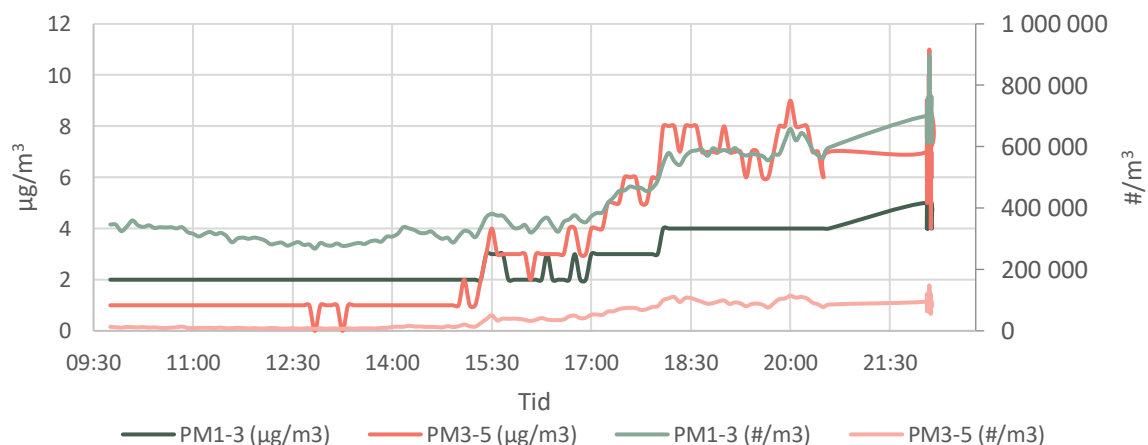
A.1.1 PM inne i T1

Figur 1 viser svevestøv i størrelsene PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} inne i T1 1. mars. Man kan se at massen av PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} er like, fra 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på starten av dagen, til 2-3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på kvelden. Det er derimot større forskjell i antall partikler per m³, med rundt 20 millioner av PM_{0,3-0,5} og rundt 2 millioner av PM_{0,5-1}.



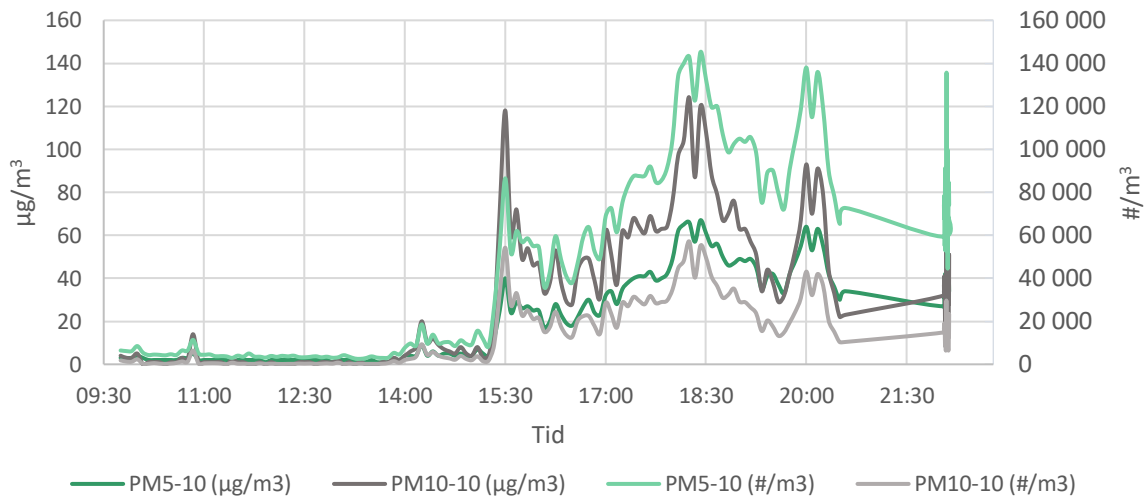
Figur 1: PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} inne i T1 01.03.18

De mellomste svevestøvparklene, som vist i Figur 2, har noe samme massekonsentrasjon som de minste på starten av dagen. Utover kvelden går massekonsentrasjonen betydelig opp for PM₃₋₅. I antall partikler per m³, ser man at de mellomste partiklene har en lavere verdi enn de minste.



Figur 2: PM₁₋₃ og PM₃₋₅ inne i T1 01.03.18

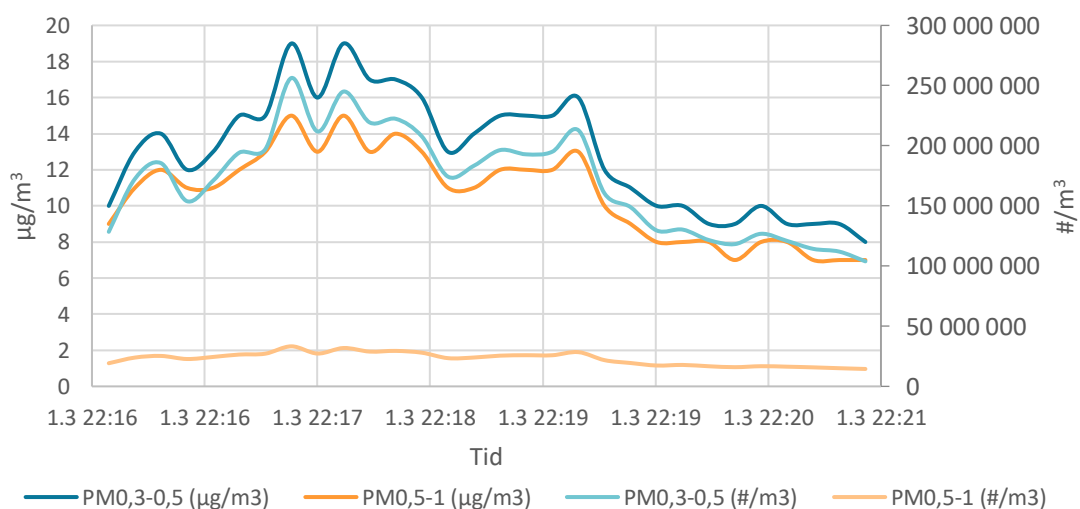
Figur 3 viser svevestøv i størrelsene PM_{5-10} og PM_{10-10} . På starten av dagen er PM -verdiene lave, mens de utover ettermiddagen øker betraktelig. (dette kan skyldes at hallen er i bruk)



Figur 3: PM_{5-10} og PM_{10-10} inne i T1 01.03.18

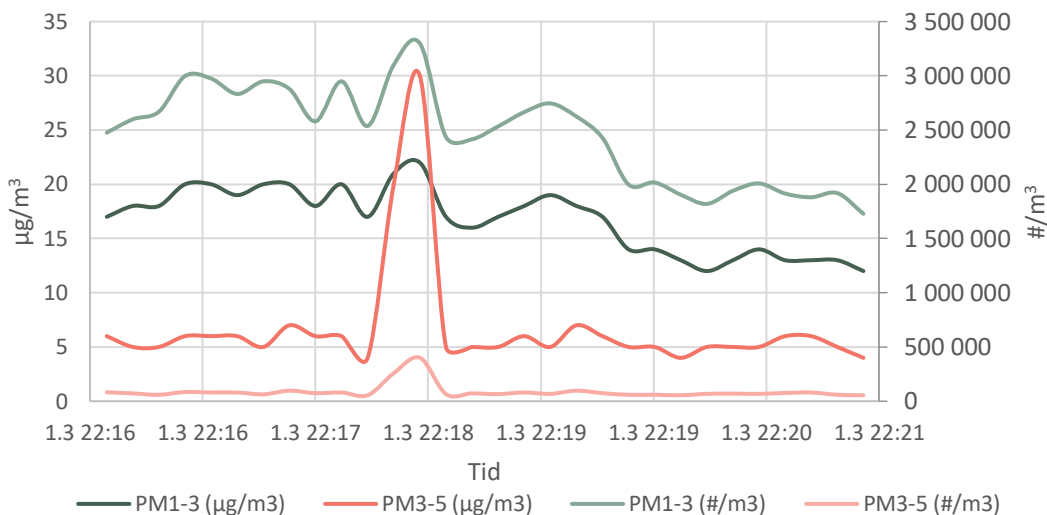
A.1.2 PM utenfor Testobjekt 1

I Figur 4 er svevestøvverdier fra utenfor T1 plottet. For de minste PM -størrelsene, er massekonsentrasjonen i størrelsesorden $10-18 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Til sammenligning så man at innendørsverdien var $1-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$. (hva dette skyldes kan være biltrafikk, målingene ute er tatt over et mye kortere tidsrom, som gjør at den mye høyere verdien kan ha vært nærmest en øyeblikksverdi)



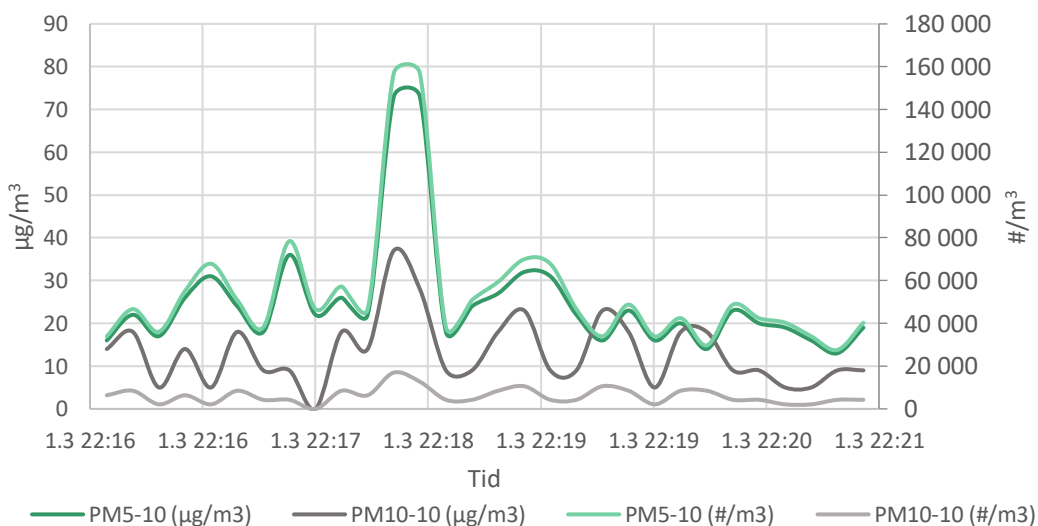
Figur 4: $PM_{0,3-0,5}$ utenfor T1 01.03.18

Figur 5 viser svevestøv målinger fra utenfor T1. PM_{1-3} -verdien er rundt $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$, mot den tilsvarende innendørsverdien på $2-4 \mu\text{g}/\text{m}^3$. I antall partikler er verdien for PM_{1-3} og PM_{3-5} mer enn 100 ganger lavere enn de minste verdiene. (målt i kort tidsperiode, ved vei med biler som passerer, det kan påvirke målingene).



Figur 5: PM1-3 og PM3-5 utenfor T1 01.03.18

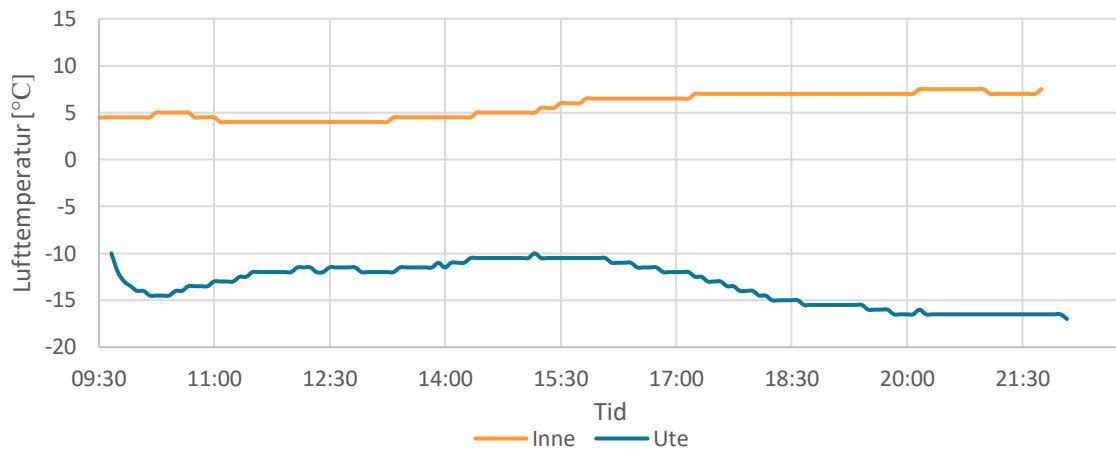
Figur 6 viser PM5-10 og PM10-10 fra utenfor T1 1. mars. Her ser man at PM5-10-verdien ligger på 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, og PM10-10 på 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. De respektive innendørsverdiene er 0-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 0-100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



Figur 6: PM5-10 og PM10-10 utenfor T1 01.03.18

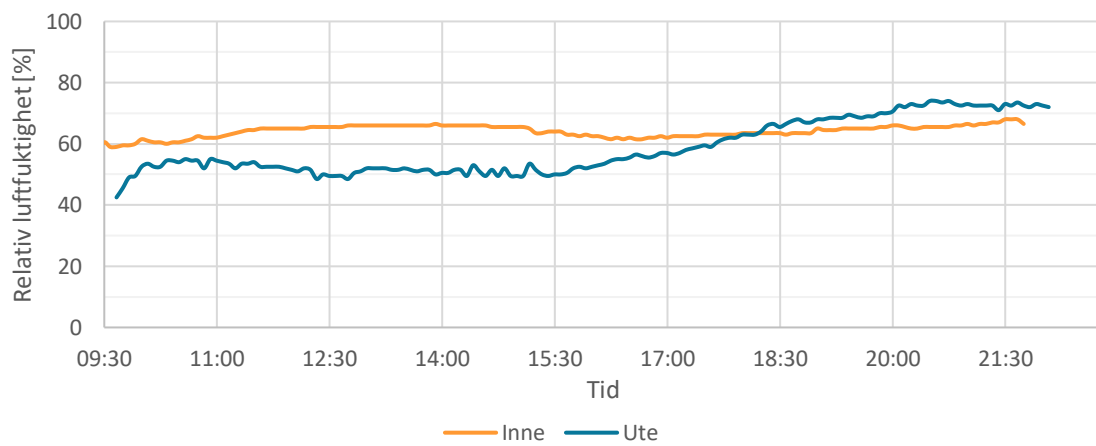
A.1.3 Temperatur og relativ fuktighet inne sammenlignet med ute

Figur 7 viser lufttemperaturen inne og utenfor hallen under måleperioden. Utetemperaturen varierer fra -10 °C til -15 °C, mens innetemperaturen ligger stabilt på 5 °C.



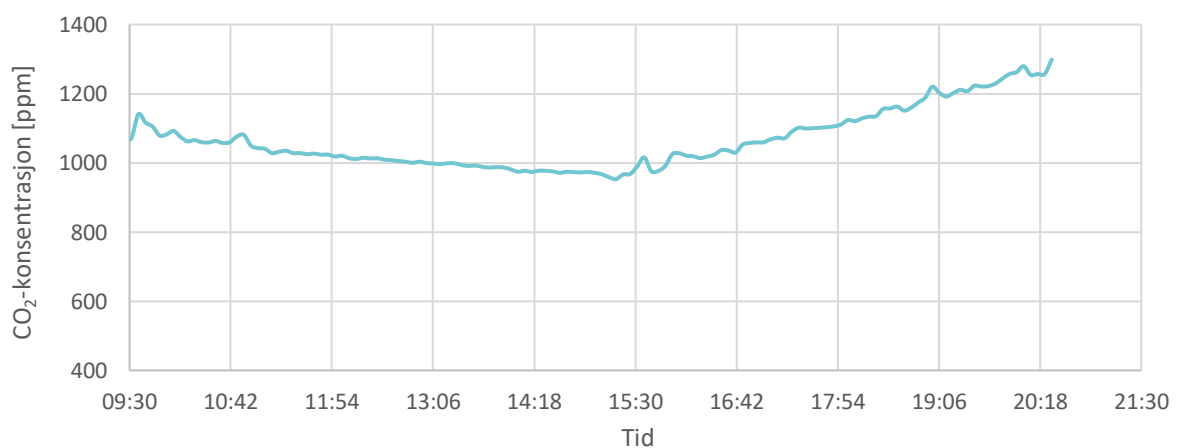
Figur 7: Lufttemperatur inne og utenfor T1 01.03.18

I Figur 8 er den relative luftfuktigheten inne og utenfor T1 plottet. Den relative fuktigheten utendørs øker mot kvelden fra 50-70 %, mens den er stabilt 60 % inne.



Figur 8: Relativ luftfuktighet inne og utenfor T1 01.03.18

A.1.4 CO₂-konsentrasjon

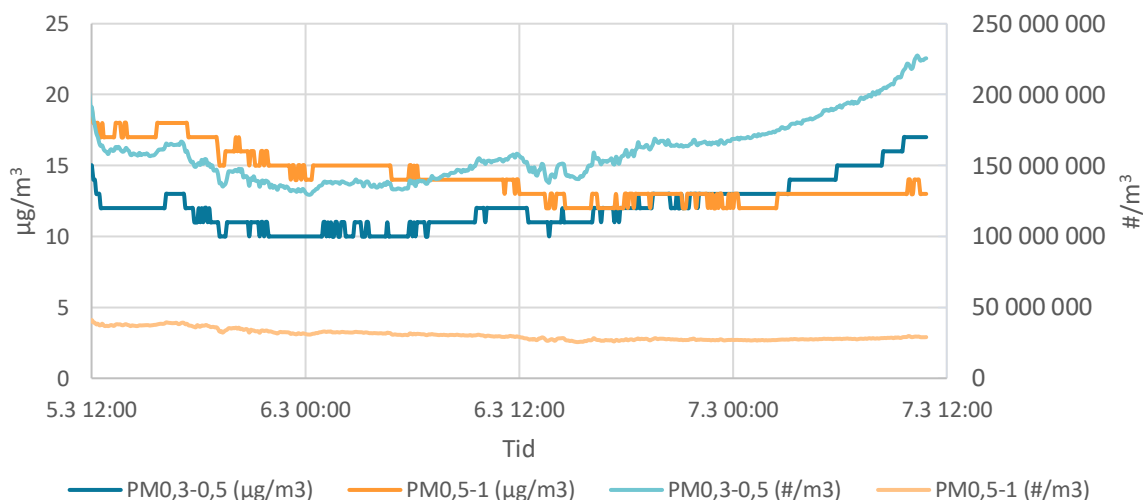


Figur 9: CO₂-konsentrasjon i T1 01.03.18

A.2 Testobjekt 2 – 5.-7. mars

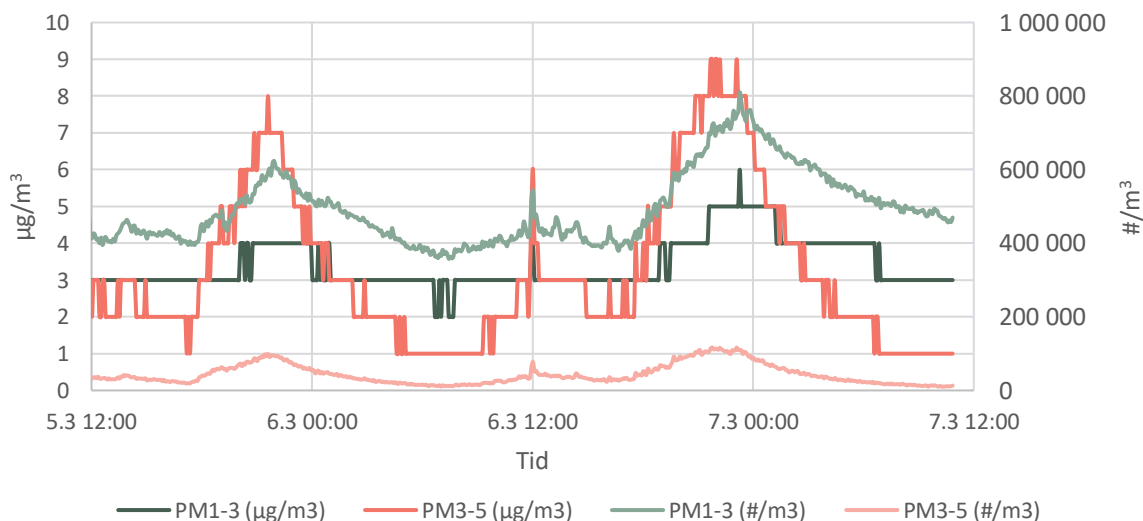
A.2.1 PM inne i Testobjekt 2

I Figur 10 er det plottet $PM_{0,3-0,5}$ og $PM_{0,5-1}$ fra inne i T2 5.-7. mars. Verdiene er i størrelsesorden 10-20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Antall partikler av $PM_{0,3-0,5}$ er stabilt på 25 millioner gjennom hele måleperioden, mens $PM_{0,5-1}$ varierer i området 130-200 millioner.



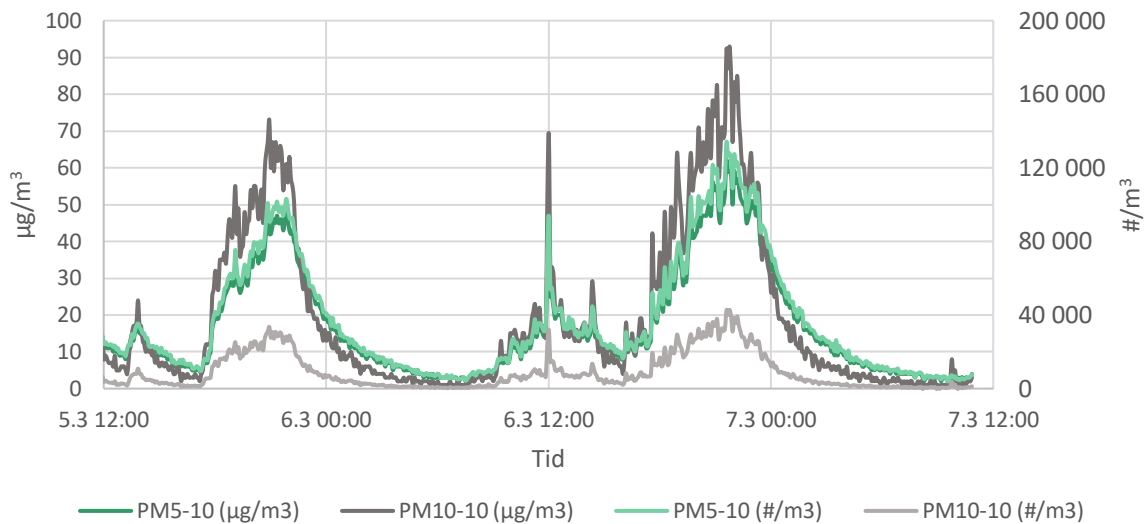
Figur 10: $PM_{0,3-0,5}$ og $PM_{0,5-1}$ i T2 05.-07.03.18

Svevestøv i størrelsene PM_{1-3} og PM_{3-5} er plottet i Figur 11. PM_{1-3} -verdien varierer mellom 2-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 4-8 hundretusen partikler per m^3 . For PM_{3-5} varierer verdien i spranget 1-9 og 0-100 tusen. Det man kan se av kurvene, er at de er lavest på morgenen og høyest på kvelden.



Figur 11: PM_{1-3} og PM_{3-5} i T2 05.-07.03.18

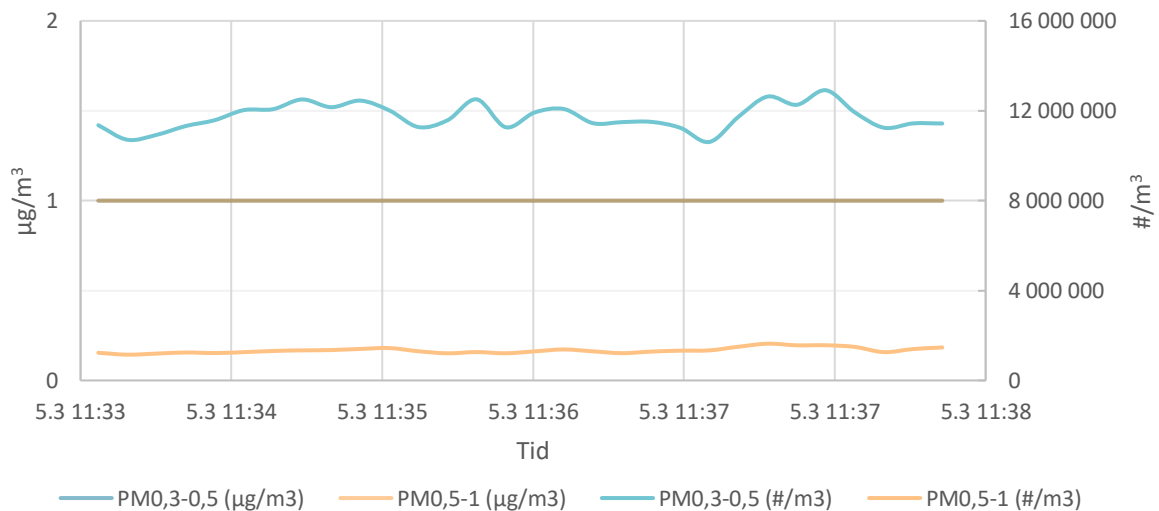
De største målte svevestøvpartiklene, PM_{5-10} og PM_{10-10} , er plottet i Figur 12. PM_{5-10} ligger i området 0-60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 0-120 000 $\#/m^3$. PM_{10-10} -verdien varierer mellom 0-90 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 0-40 000 $\#/m^3$.



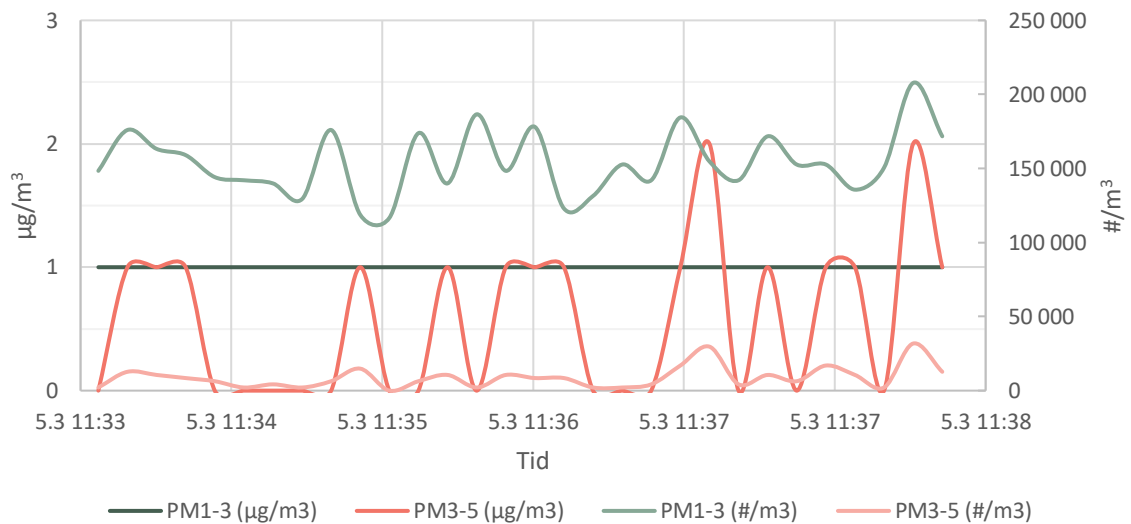
Figur 12: PM5-10 og PM10-10 i T2 05.-07.03.18

A.2.2 PM utenfor Testobjekt 2

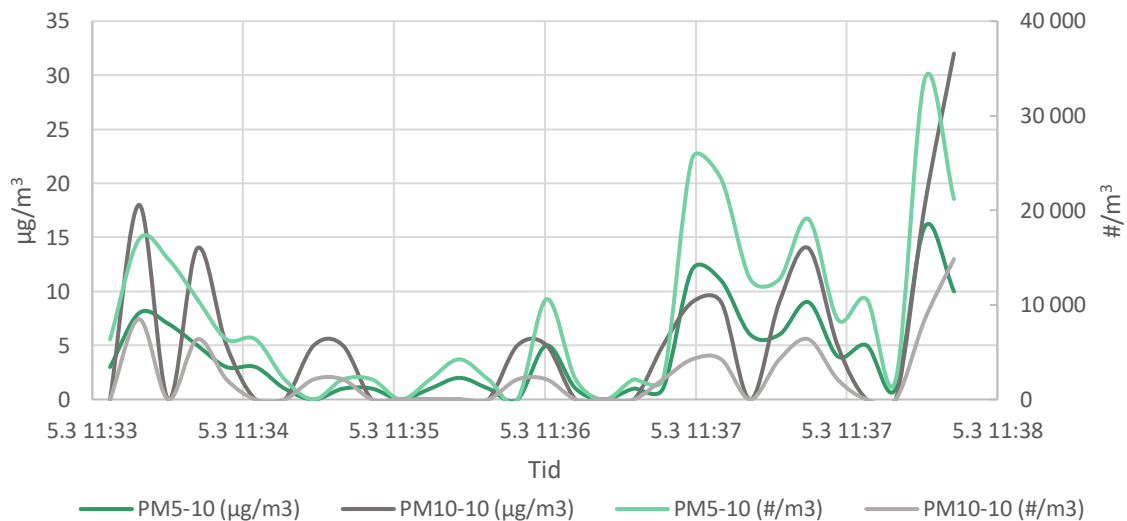
Figur 13, Figur 14 og Figur 15 viser svevestøvmålinger tatt utenfor T2 i et tidsrom på 10 minutter. Det er flest partikler blant de minste størrelsene, men høyere massekonsentrasjon blant de største. 12 millioner partikler per m³ av PM_{0,3-0,5}, som gir en massekonsentrasjon på 1 µg/m³. For PM₁₀₋₁₀ er verdiene 0-20 µg/m³ og 0-5 000 #/m³.



Figur 13: PM0,3-0,5 og PM0,5-1 utenfor T2 05.-07.03.18



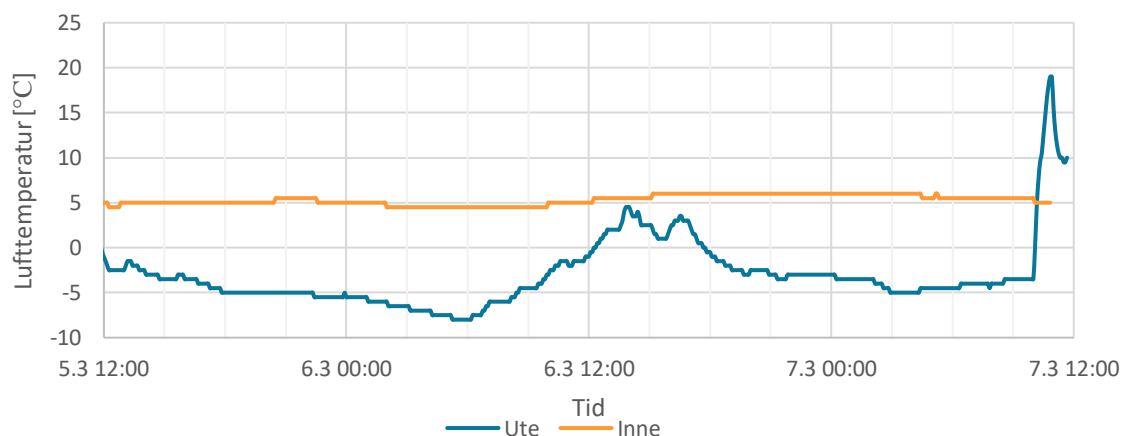
Figur 14: PM1-3 og PM3-5 utenfor T2 05.-07.03.18



Figur 15: PM5-10 og PM10-10 utenfor T2 05.-07.03.18

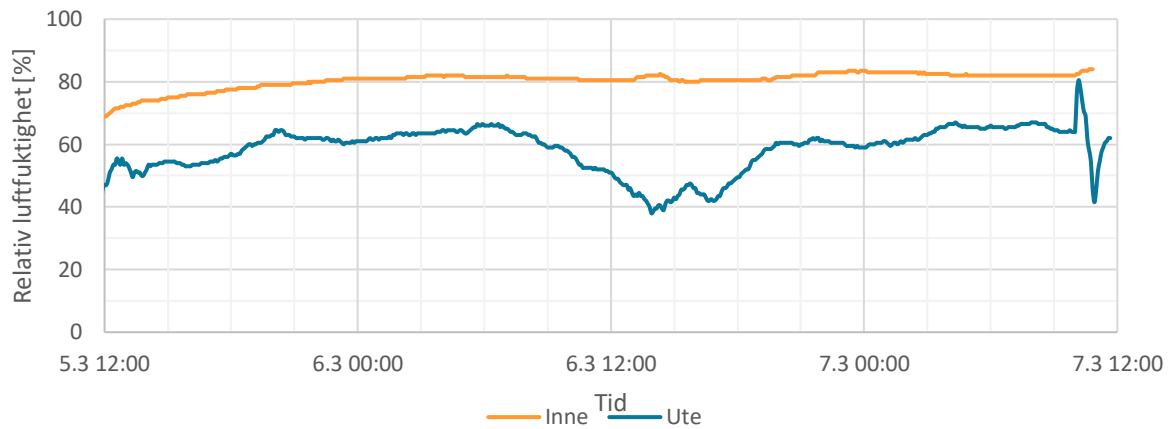
A.2.3 Temperatur og relativ fuktighet inne sammenlignet med ute

I Figur 16 og Figur 17 sammenlignes lufttemperatur og relativ luftfuktighet inne i hallen med tilsvarende utendørsverdi. Man kan se at både temperaturen og fuktigheten inne ligger på et stabilt nivå gjennom hele måleperioden, selv om uteforholdene endrer seg.



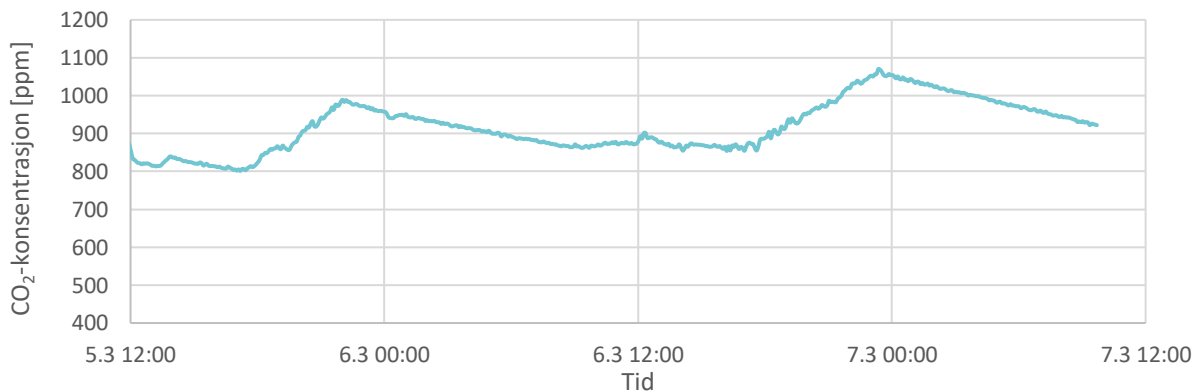
Figur 16: Lufttemperatur inne og utenfor T2 05.-07.03.18

Innetemperaturen er 5 grader, når middeltemperaturen ute er -5. Den relative fuktigheten inne er 80 %, mens den utenfor hallen er 40-60 %. Man ser at utelufta blir tørrere når utetemperaturen stiger.



Figur 17: Relativ luftfuktighet inne og utenfor T2 05.-07.03.18

A.2.4 CO₂-konsentrasjon

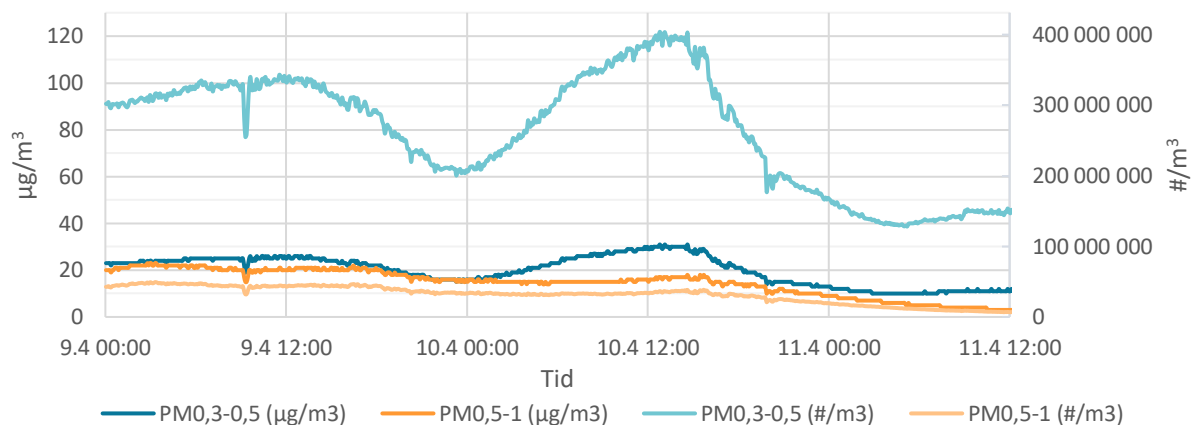


Figur 18: CO₂-konsentrasjon 05.-07.03.18 i T2

A.3 Testobjekt 2 9.-11. april

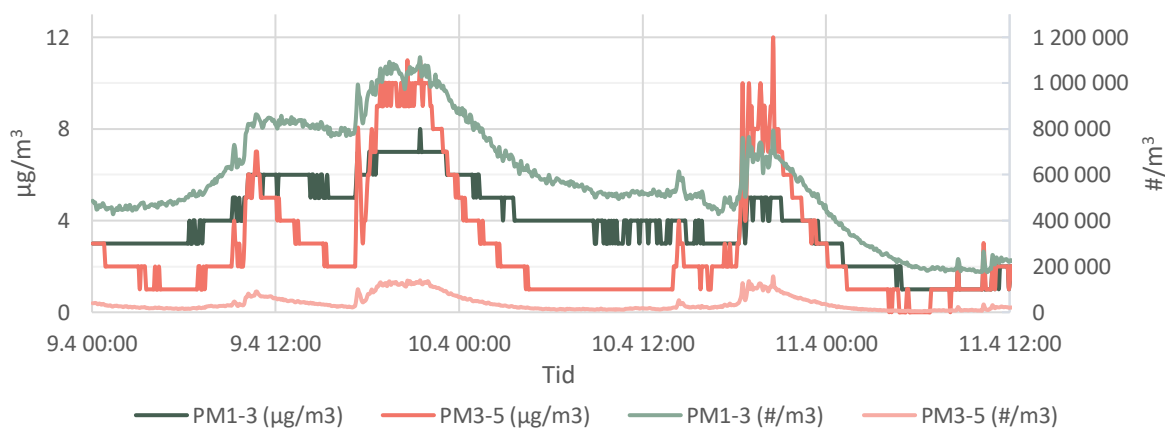
A.3.1 PM inne i T2

Figur 19 viser PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} målt inne i T2 i tidsrommet 09.-11. april. PM_{0,3-0,5} varierer mest gjennom måleperioden, med 10-20 µg/m³ og 130-400 millioner #/m³. PM_{0,5-1} varierer i spranget 5-22 µg/m³ og 10-46 millioner #/m³. Her ser man at kurvene for massekonsentrasjon og antall partikler svinger likt. Det kan imidlertid observeres at svevestøvtoppene skjer rundt kl. 12 på dagen, og er lavest ved midnatt.



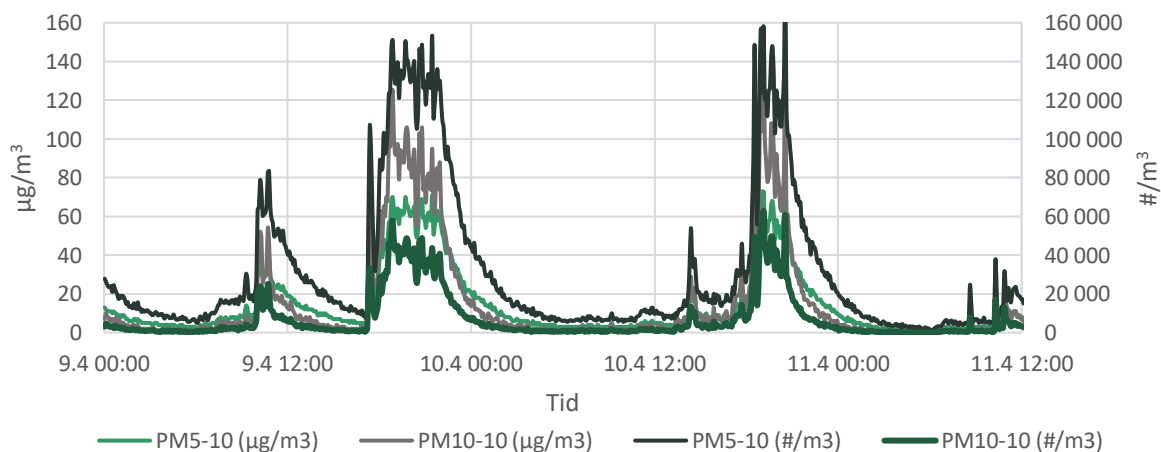
Figur 19: PM0,3-0,5 og PM0,5-1 i T2 09.-11.04.18

Figur 20 viser PM_{1-3} og PM_{3-5} , hvor begge har svingninger hvor toppene skjer ettermiddag/kveld. I tillegg ser man en noe lavere topp kl. 12 den ene dagen. PM_{1-3} måler $1-8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $180\,000-1\,000\,000 \text{ #}/\text{m}^3$, mens PM_{3-5} viser $0-12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $20\,000-120\,000 \text{ #}/\text{m}^3$.



Figur 20: PM_{1-3} og PM_{3-5} i T2 09.-11.04.18

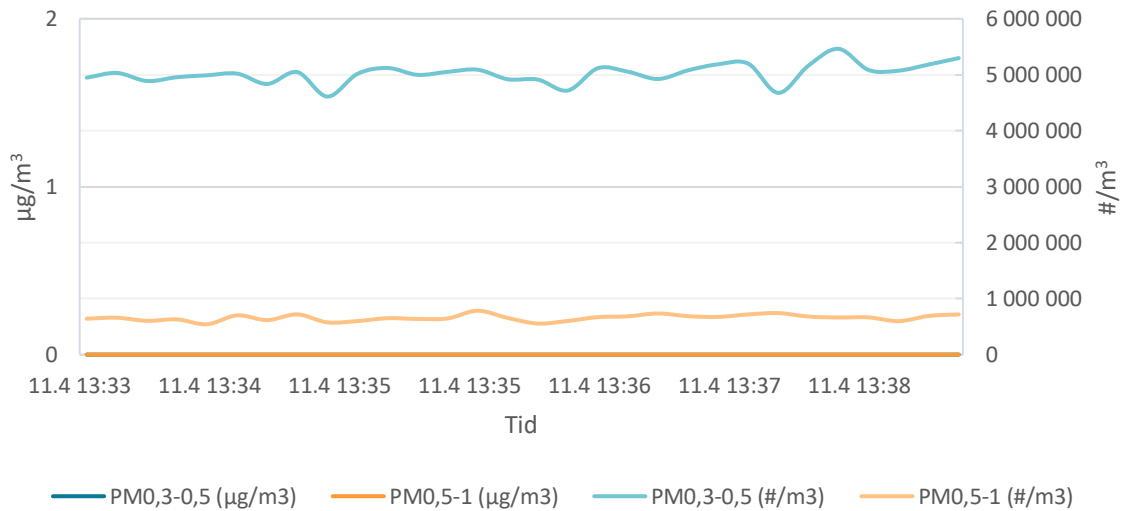
Svevestøv i størrelsene PM_{5-10} og PM_{10-10} er vist i Figur 21. For disse svevestøvstørrelsene er også toppunktene på ettermiddag/kveld. En lavere topp vises også kl. 12 den ene dagen, slik man så i Figur 20.



Figur 21: PM_{5-10} og PM_{10-10} i T2 09.-11.04.18

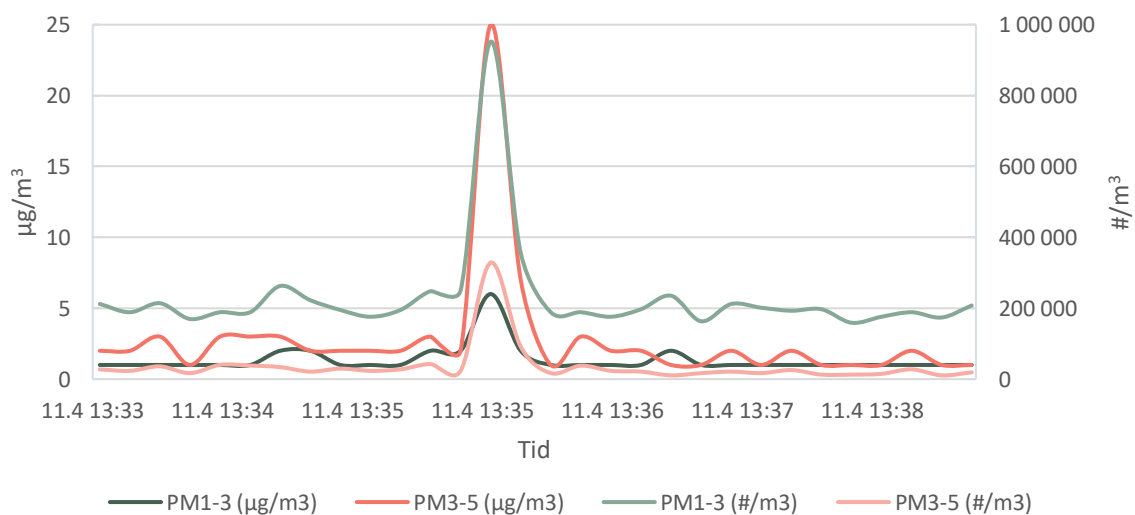
A.3.2 PM utenfor testobjekt 2

Figur 22 viser svevestøv i størrelsene $PM_{0,3-0,5}$ og $PM_{0,5-1}$ som man kan se er stabile gjennom måleperioden på 10 minutter. I massekonsentrasjon utgjør målingene tilnærmet $0 \mu\text{g}/\text{m}^3$, men i antall partikler henholdsvis $700\,000 \text{ \#}/\text{m}^3$ og $5\,000\,000 \text{ \#}/\text{m}^3$. Nøyaktigheten til måleinstrumentet er en desimal, det vil si at massekonsentrasjonen viser 0 hvis den er under $0,45 \mu\text{g}/\text{m}^3$.



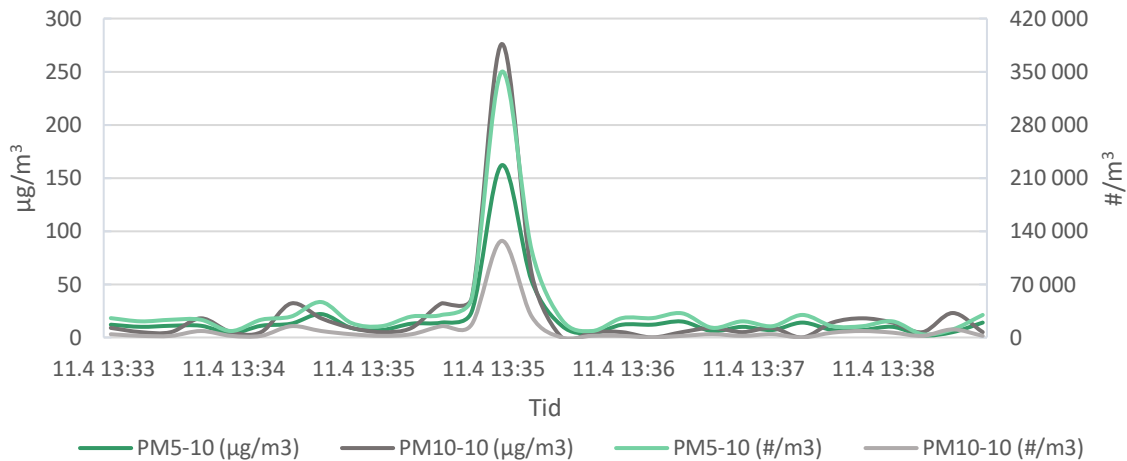
Figur 22: $PM_{0,3-0,5}$ utenfor T2 09.-11.04.18

Svevestøvmålinger av PM_{1-3} og PM_{3-5} er vist i Figur 23. Bortsett fra en høy topp midt under målingene, ligger nivåene stabilt. PM_{1-3} på $1-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $200\,000 \text{ \#}/\text{m}^3$, og PM_{3-5} som ligger på $2-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $20\,000 \text{ \#}/\text{m}^3$. Den høye toppen kan skyldes at et vindkast har gitt en høy momentanverdi.



Figur 23: PM_{1-3} og PM_{3-5} utenfor T2 09.-11.04.18

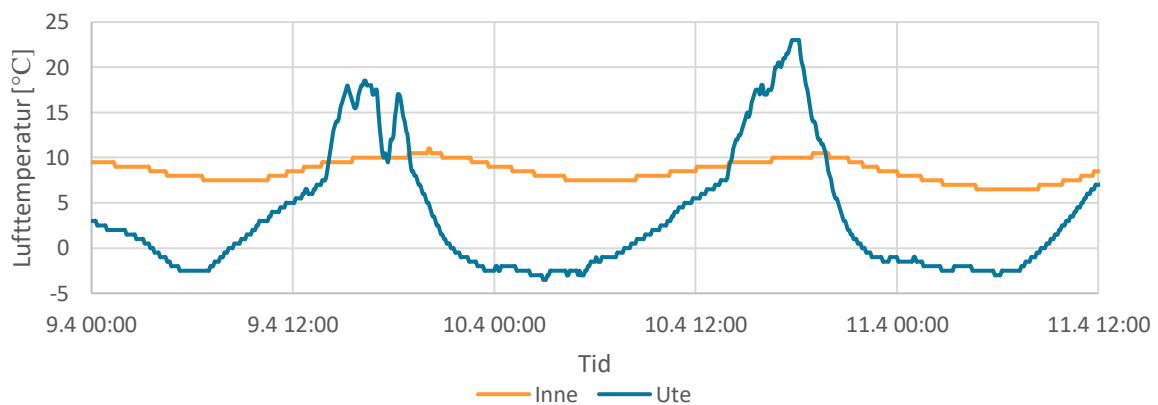
Figur 24 viser svevestøvverdier av PM_{5-10} og PM_{10-10} fra utenfor T2. I likhet med Figur 23, ser man også på disse kurvene en topp på samme sted. Hvis man ser bort fra den ene toppen, er målingene stabile. Begge størrelsesområdene ligger i området $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ og $30\,000 \text{ \#}/\text{m}^3$.



Figur 24: PM5-10 og PM10-10 utenfor T2 09.-11.04.18

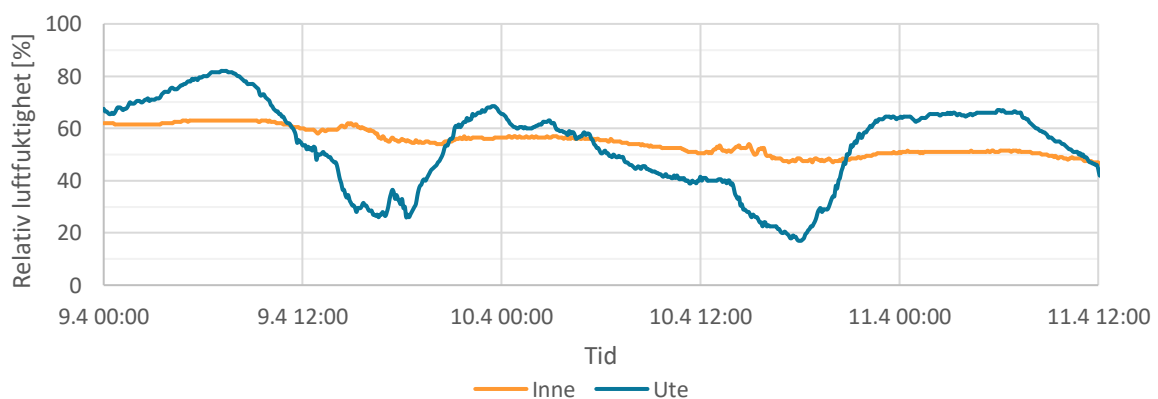
A.3.3 Temperatur og relativ fuktighet inne sammenlignet med ute

Figur 25 viser lufttemperatur fra inne i T2, sammenlignet med like utenfor hallen. Man kan se at utetemperaturen har tydelige døgnsvingninger fra -4 til 22 °C, mens innetemperaturen ligger stabil i området 7 – 10 °C.



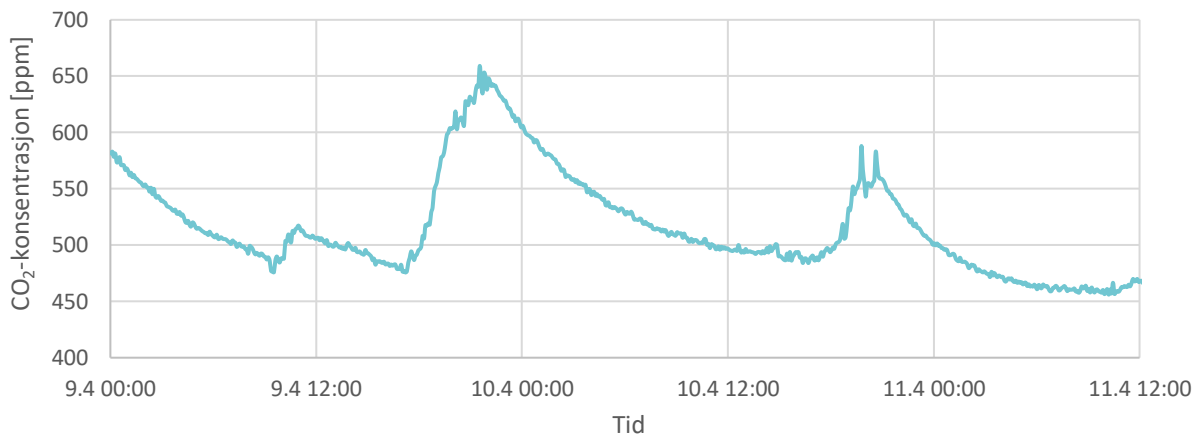
Figur 25: Lufttemperatur inne og utenfor T2 09.-11.04.18

Figur 26 viser den relative fuktigheten både inne og utenfor hallen. Her ser man at innendørsforholdene er vesentlig mer stabile enn uteforholdene som tilsynelatende har døgnsvingninger.



Figur 26: Relativ luftfuktighet inne og utenfor T2 09.-11.04.18

A.3.4 CO₂-konsentrasjon

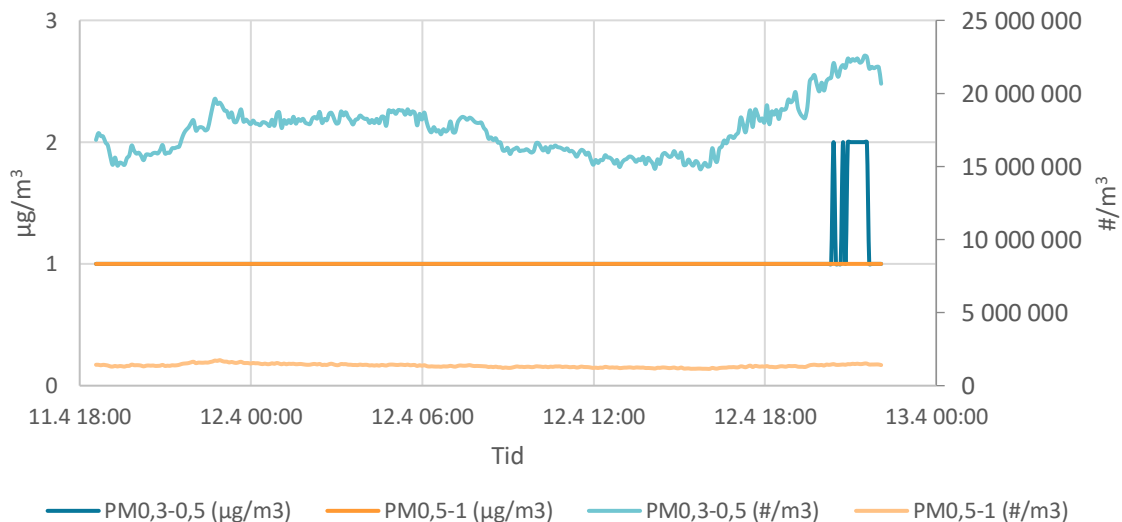


Figur 27: CO₂-konsentrasjon i T2 09.-11.04.18

A.4 Testobjekt 1 11.-12. april

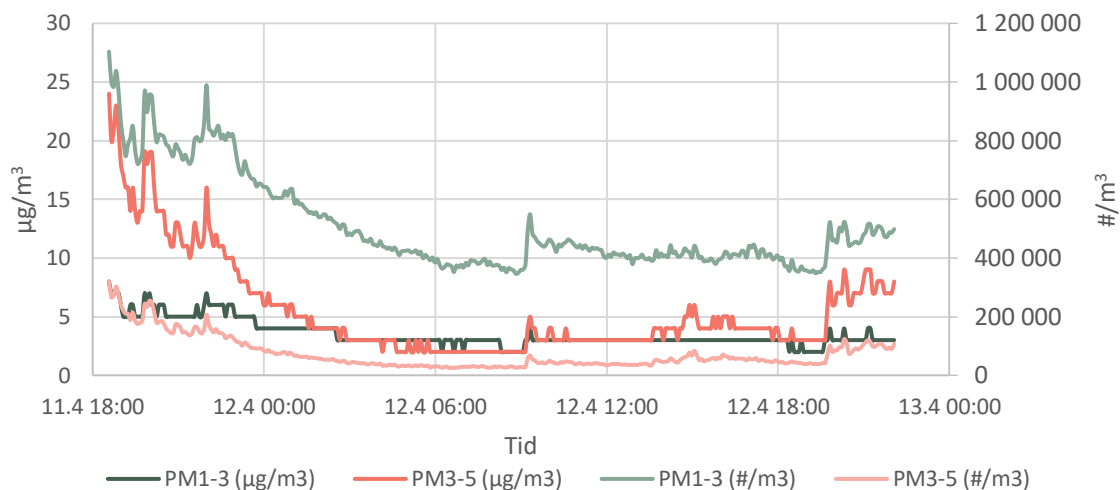
A.4.1 PM inne i Testobjekt 1

Figur 28 viser PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} i T1 11.-12. april. Man ser at massekonsentrasjonen er 1-2 µg/m³ for begge størrelsene. PM_{0,3-0,5} ligger på 15-22 millioner partikler per m³, mens PM_{0,5-1} ligger på 1,3 million #/m³.



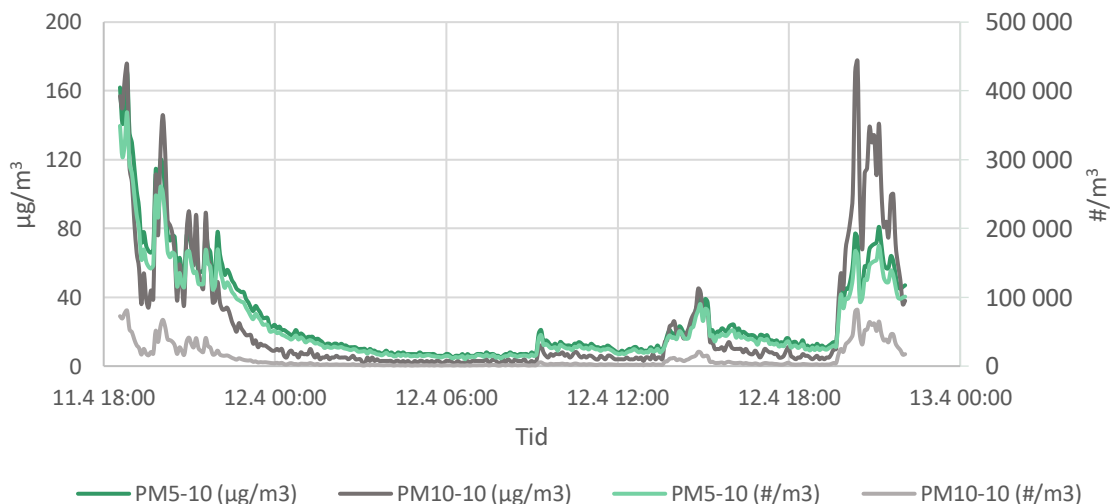
Figur 28: PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} i T1 11.-12.-04.18

Figur 29 viser PM₁₋₃ og PM₃₋₅. Massekonsentrasjonen til PM₁₋₃ er 3-5 µg/m³, og 10-25 µg/m³ for PM₃₋₅. I antall partikler er verdien for PM₁₋₃ 400 000 - 1 000 000 #/m³, og 25 000 – 200 000 #/m³.



Figur 29: PM1-3 og PM3-5 i T1 11.-12.04.18

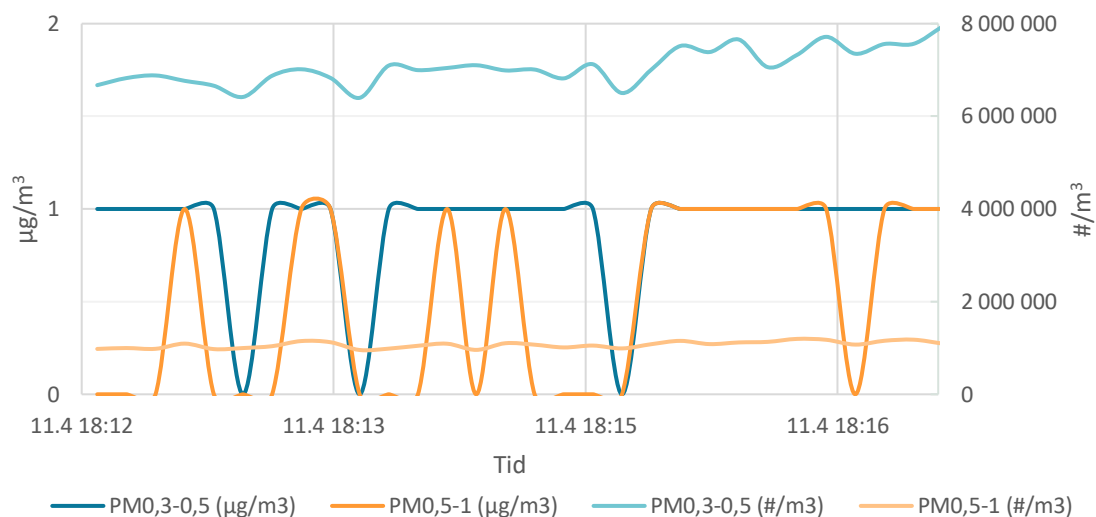
Kurvene i Figur 30 viser PM₅₋₁₀ og PM₁₀₋₁₀ fra inne i T1. Her kan man se tydelige toppunkter på ettermiddag/kveld, mens verdiene på natten og tidlig på dagen er lave. PM₅₋₁₀ er i området 0-160 µg/m³ og 16 000 – 320 000 #/m³. For PM₁₀₋₁₀ måler tilsvarende verdier 0-170 µg/m³ og 13 000 – 65 000 #/m³.



Figur 30: PM5-10 og PM10-10 i T1 11.-12.04.18

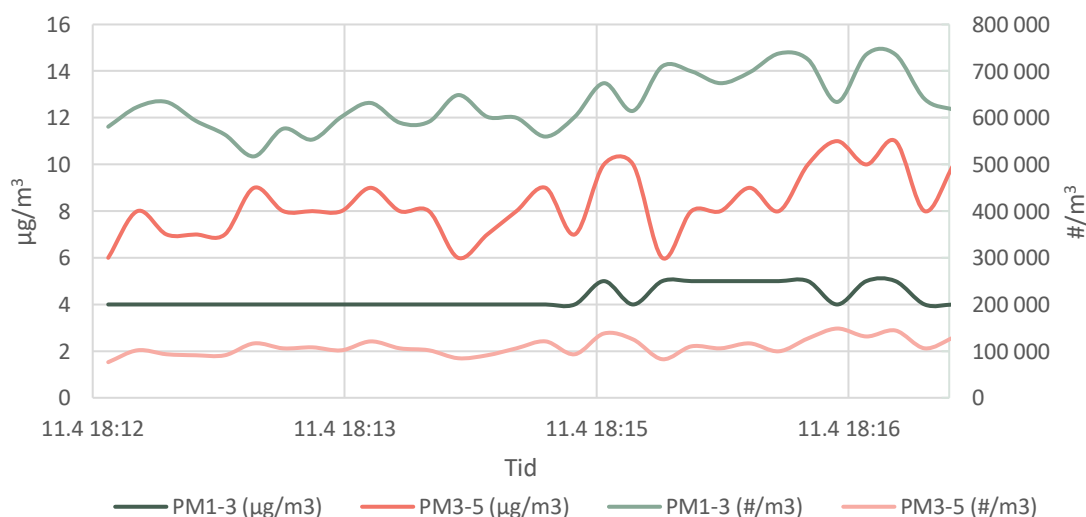
A.4.2 PM utenfor testobjekt 1

Utenfor T1 11.-12. april målte PM_{0,3-0,5} og PM_{0,5-1} 0-1 µg/m³. Dette utgjorde 6,4-8 millioner partikler per m³ for PM_{0,3-0,5} og 1 million #/m³ for PM_{0,5-1}.



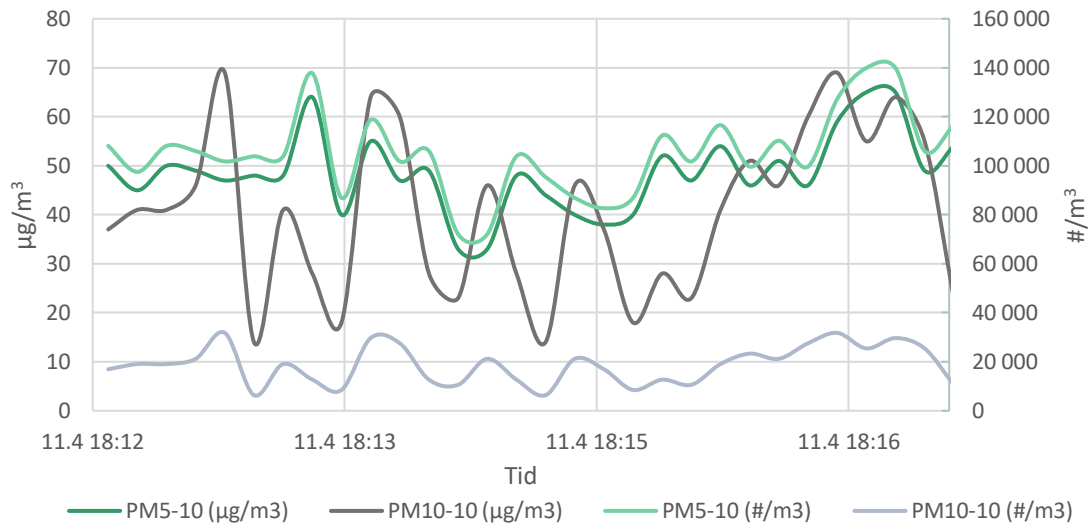
Figur 31: PM0,3-0,5 og PM0,5-1 utenfor T1 11.-12.04.18

I Figur 32 ser man at massekonsentrasjonen for PM_{1-3} og PM_{3-5} utenfor T1 i gitt periode, er henholdsvis 4-5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 6-10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I antall partikler er verdien 500 000-750 000 $\#/ \text{m}^3$ og 100 000-150 000 $\#/ \text{m}^3$ for de respektive størrelsene.



Figur 32: PM0,5-1 og PM1-3 utenfor T1 11.-12.04.18

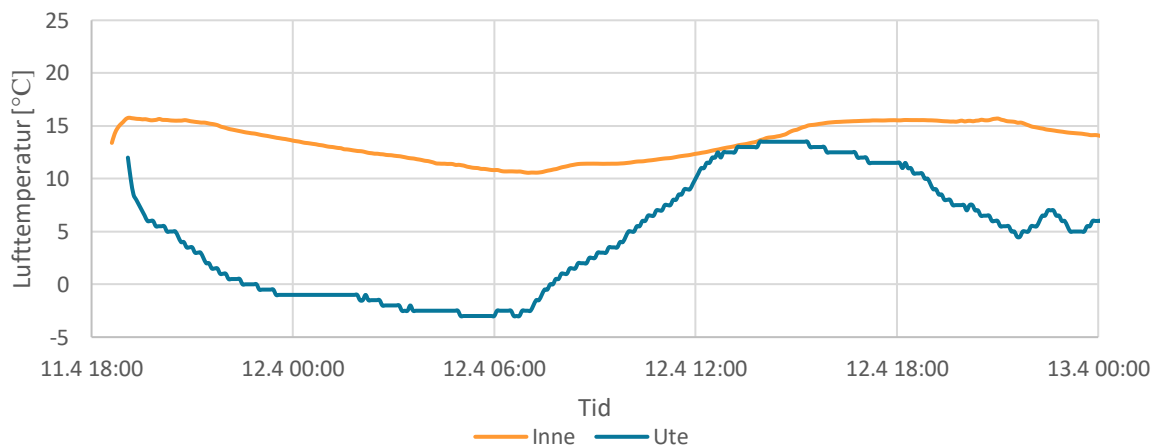
PM_{5-10} og PM_{10-10} fra utenfor T1 er plottet i Figur 33. I massekonsentrasjon er verdiene henholdsvis 33-65 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og 14-70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, eller i antall partikler 70 000-140 000 $\#/ \text{m}^3$ og 6 000-30 000 $\#/ \text{m}^3$.



Figur 33: PM5-10 og PM10-10 utenfor T1 11.-12.04.18

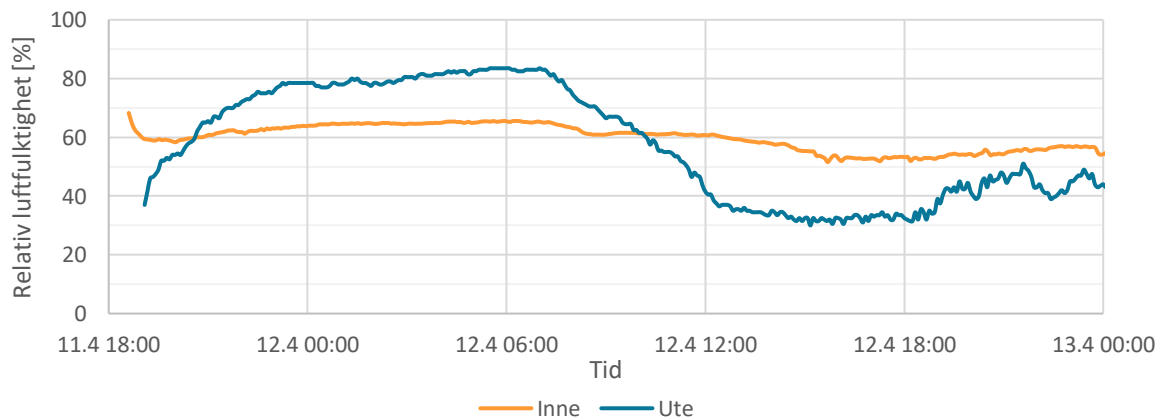
A.4.3 Temperatur og relativ fuktighet inne sammenlignet med ute

Figur 34 viser inne- og utetemperaturen fra T1 11.-12. april. Innetemperaturen varierer i området 10-15 °C, mens utetemperaturen varierer fra -3 til 14 °C.



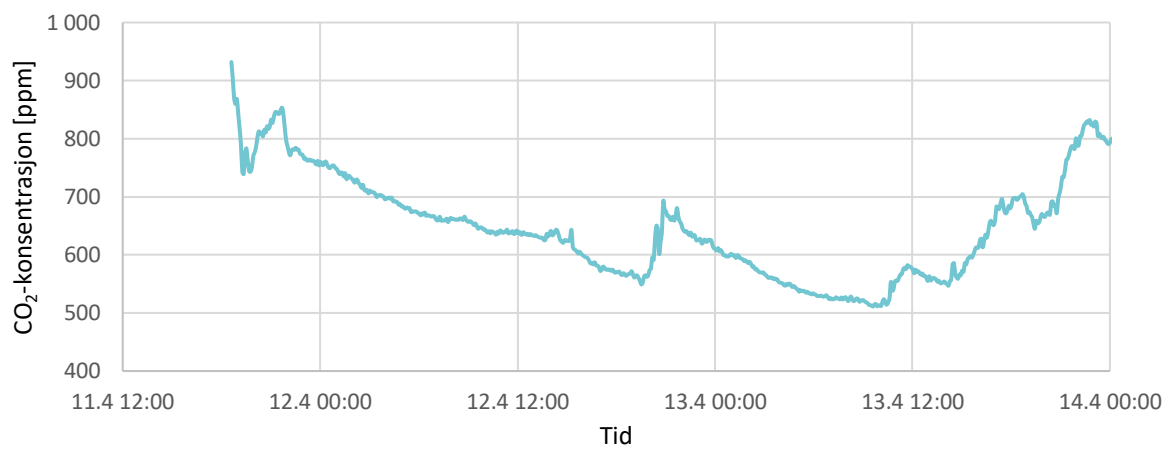
Figur 34: Lufttemperatur inne og utenfor T1 11.-12.04.18

Relativ luftfuktighet inne og utenfor T1 er vist i Figur 35. Inne ligger luftfuktigheten på 50-60 %, men ute varierer den fra 30 til 80 %.



Figur 35: Relativ luftfuktighet inne og utenfor T1 11.-12.04.18

A.4.4 CO₂-konsentrasjon



Figur 36: CO₂-konsentrasjon i T1 11.-13.04.18

Vedlegg B: Spørreundersøkelsen



Testobjekt

Page 1

Informasjonsside

Bakgrunn og formål:

Bakgrunn for spørreundersøkelsen er å finne ut hvordan brukere av fotballhallen opplever luftkvaliteten og temperaturforholdene. Studiet gjennomføres som en masteroppgave ved NTNU Institutt for Energi- og prosesseteknikk, i samarbeid med Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT).

Utvalget er de som benytter eller besøker fotballhallen. Deltakelse i undersøkelsen er frivillig.

Hva innebærer deltakelse i studien?

For å delta i undersøkelsen, fyller du ut et elektronisk spørreskjema. Spørsmålene vil omhandle hvordan du opplever inneklimaet i fotballhallen.

Hva skjer med informasjonen om deg?

Det er frivillig å delta i undersøkelsen. Alle svar behandles konfidensielt, og datamaterialet anonymiseres ved prosjektslutt, senest ved utgangen av juni 2018. Det er bare masterstudent og veileder som har tilgang til datamaterialet. Resultatene vil bli framstilt slik at ingen enkeltpersoner kan gjenkjennes.

Frivillig deltakelse:

Det er frivillig å delta i studien, og du kan når som helst avbryte utfyllingen av spørreundersøkelsen og dermed ikke delta.

Dersom du har spørsmål til studien, ta kontakt med:

Masterstudent
Astrid Oline Ressem
tlf. 415 06 734
aoressem@stud.ntnu.no

Veileder for prosjektet er professor Hans Martin Mathisen, hans.m.mathisen@ntnu.no.

Studien er meldt til Personvernombudet for forskning, NSD - Norsk senter for forskningsdata AS.

Samtykke til deltakelse i studien:

Ved å fylle ut og sende inn spørreundersøkelsen, regnes det som samtykke til deltakelse i studien.

Generelt

Vennligst besvar alle spørsmålene i én økt. Bryter du av underveis, vil du ikke kunne komme tilbake til dine svar. Du samtykker i å delta i undersøkelsen ved å svare på spørsmålene og sende dem inn ved å klikke på «Ferdig» på siste side.

- Hvor gammel er du?
 - Under 10 år
 - 10-15 år
 - 16-20 år
 - 21-25 år
 - Over 25
- Hvor ofte er du i fotballhallen?
 - Mindre enn 1 gang i uken
 - 1-2 ganger i uken
 - 3-4 ganger i uken
 - Mer enn 4 ganger i uken
- Hvilken rolle har du i fotballhallen?
 - Spiller
 - Trener
 - Annet, kommenter

Temperaturforhold

- Hvordan har du opplevd temperaturen i fotballhallen ...

	Hett +3	Varmt +2	Litt varmt +1	Nøytral 0	Litt kjølig -1	Kjølig -2	Kaldt -3
... de fire siste ukene?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... når det er plussgrader ute?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
... når det er kaldere enn -10°C?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

- Påvirker utetemperaturen hvordan du kler deg under trening i hallen?
 - Ja
 - Nei
 - Vet ikke
 - Ikke relevant, trener ikke i hallen

Luftkvalitet

6. Hvordan opplever du luftkvaliteten i hallen?

- Luften kjennes frisk
- Luften kjennes litt frisk
- Luften kjennes akseptabel
- Luften kjennes litt dårlig
- Luften kjennes dårlig

7. Kjenner du en lukt når du er i hallen?

- Ja
- Nei
- Vet ikke

Lukt

8. Opplevs lukten annerledes en stund etter at man kommer inn i hallen?

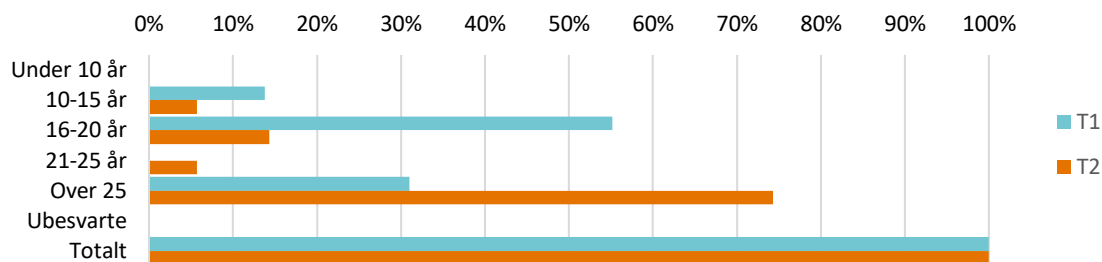
- Ja, den blir sterkere etter en stund
- Ja, den blir svakere etter en stund
- Nei
- Vet ikke

9. Kan du si noe om hvor du tror lukten kommer fra?

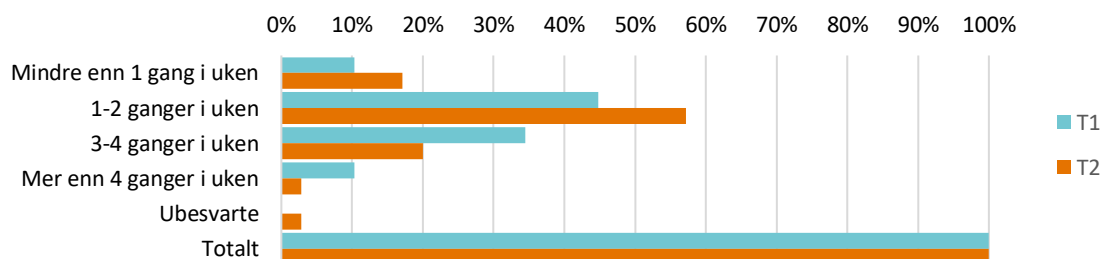
- Kunstgresset
- Svette
- Oppvarmingsanlegget
- Annet, kommenter

Vedlegg C: Resultater av spørreundersøkelse

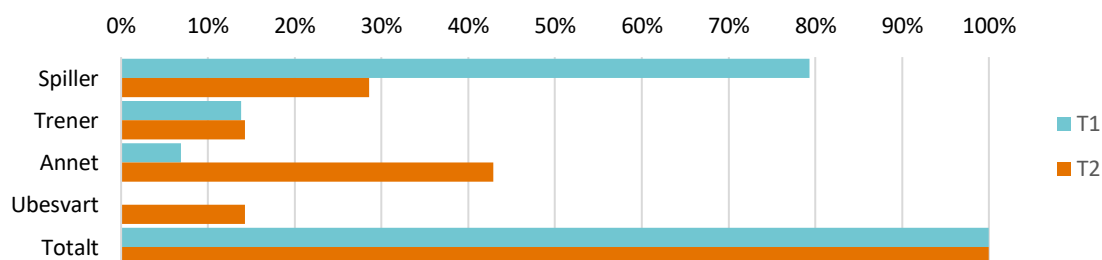
Hvor gammel er du?



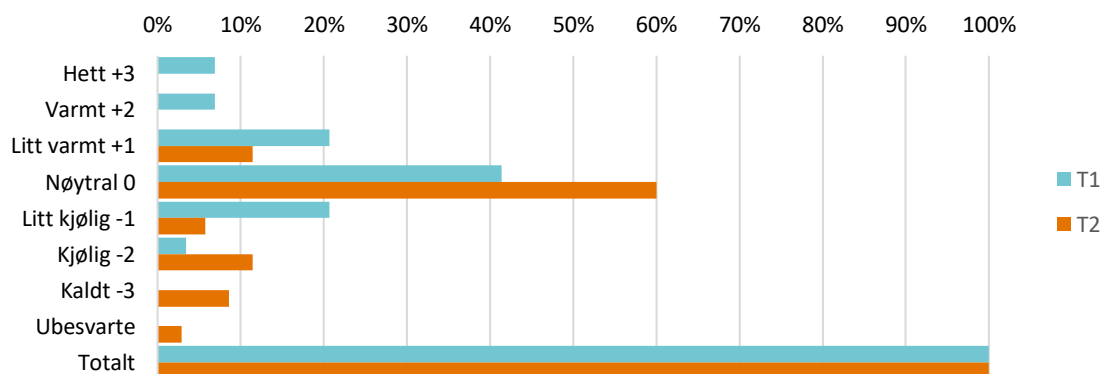
Hvor ofte er du i fotballhallen?



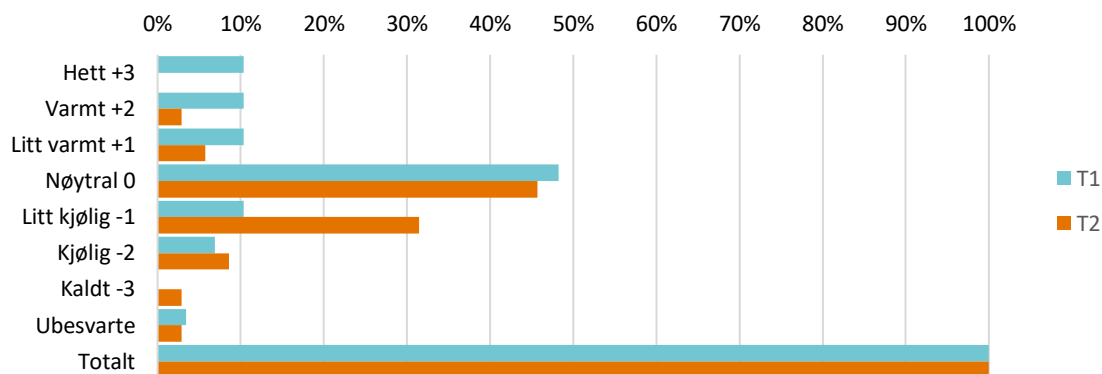
Hvilken rolle har du i fotballhallen?



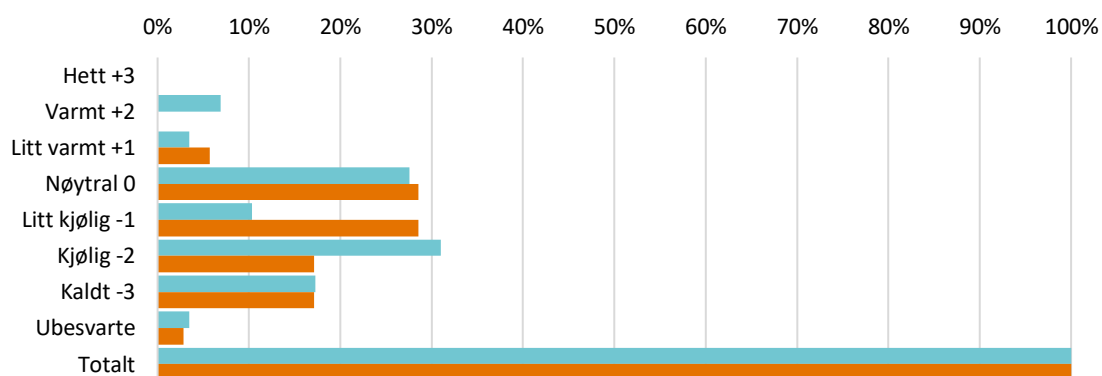
Hvordan har du opplevd temperaturen i fotballhallen de fire siste ukene?



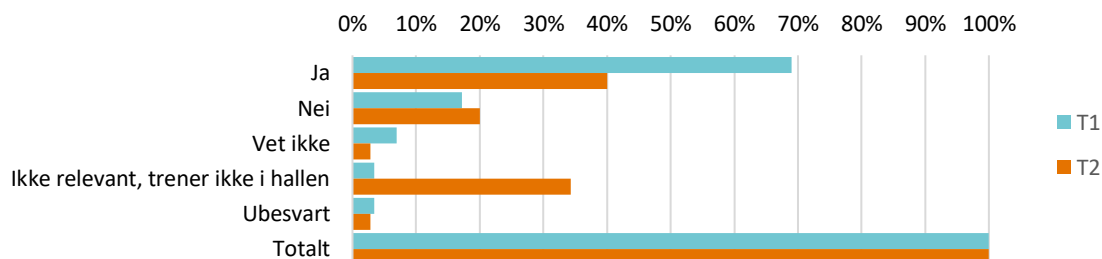
Hvordan har du opplevd temperaturen i fotballhallen når det er plussgrader ute?



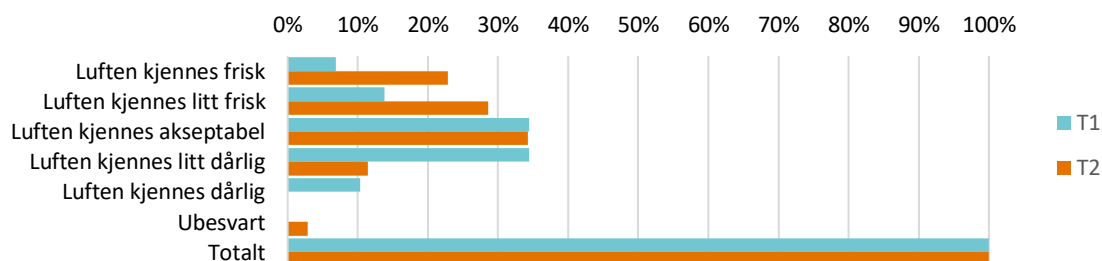
Hvordan har du opplevd temperaturen i fotballhallen når det er kaldere enn -10 °C ute?



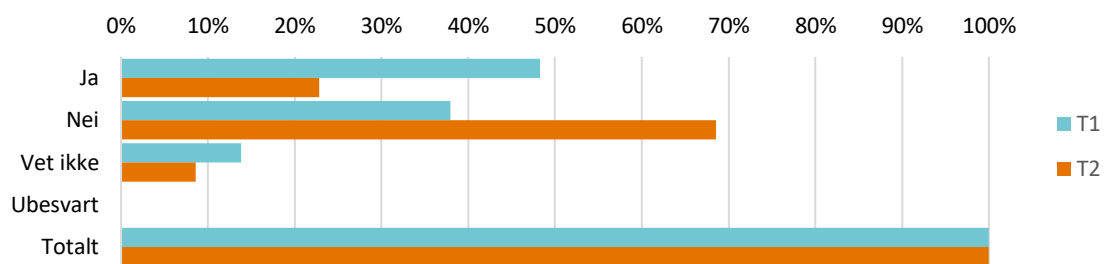
Påvirker utetemperaturen hvordan du kler deg under trening i hallen?



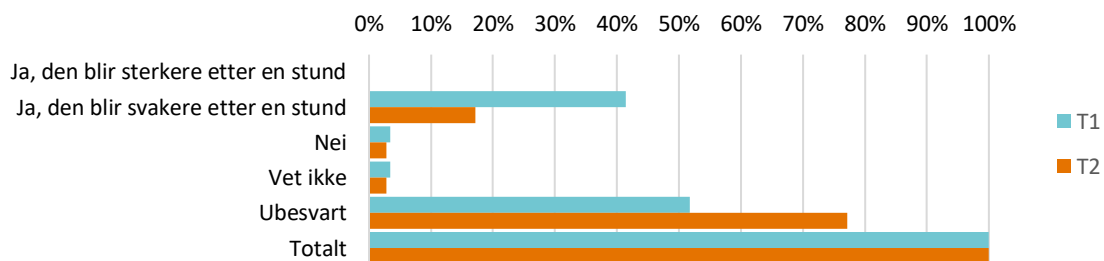
Hvordan opplever du luftkvaliteten i hallen?



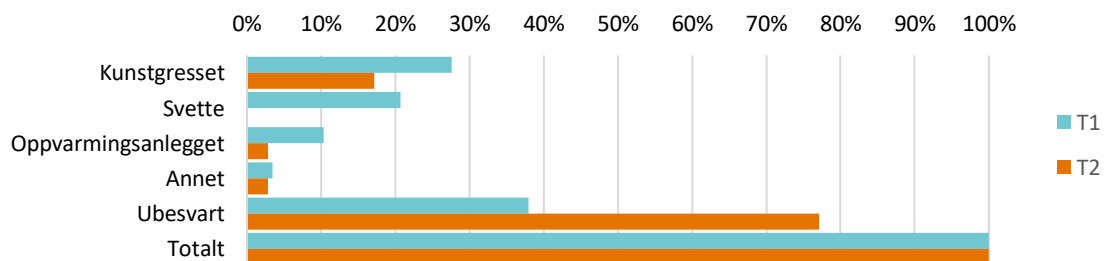
Kjenner du en lukt når du er i hallen?



Oppeves lukten annerledes en stund etter at man kommer inn i hallen?



Kan du si noe om hvor du tror lukten kommer fra?



Vedlegg D: Oversikt over fotballhaller i Norge

I tabellen under er det gitt en oversikt over fotballhallene i Norge. Listen er gitt av Norges fotballforbund [73].

Kommune	Sted	Bygge- år	Rehab	Storhall	Trenings- hall	Leverandør	Under- varme	PAD
Agder fotballkrets								
Vennesla		2016			20x35		Nei	Nei
Kristiansand	Sørlandshallen	2004	2008	64x102		PST	Nei	Ja
Kristiansand	Vigørhallen	1996			25x40	PST	Nei	Nei
Kvinesdal	Sarons Dal	1997			34x52	PST	Nei	Nei
Lyngdal	Fibo Trespohallen	2005			50x70	Syntec	Nei	Nei
Lyngdal	Lyngdal	2016			20x30		Nei	Nei
Farsund	Lista Flyhangar	2007			35x42	PST	Nei	Nei
Akershus fotballkrets								
Enebakk	Flatebyhallen	1998	2014		40x60	Unisport	Nei	Nei
Skedsmo	LSK Hallen	2006		68x105				
Buskerud Fotballkrets								
Drammen	Drammen	2011			30x40	Unisport	Nei	Ja
Nedre Eiker	Mjøndalshallen	2001	2012		44x67	Unisport	Nei	Nei
Modum	Vikersundhallen	2014			40x70	Unisport	Nei	Ja
Kongsberg	Skrimsletta	2012			40x60	Unisport	Nei	Nei
Ringerike	Hønefoss	2011			30x40	Unisport	Nei	Nei
Finnmark fotballkrets								
Alta	Finnmarkshallen	1996	2006	64x100		Bresco	Nei	Ja
Hammerfest	Hammerfesthallen	2002			40x60	Bresco	Nei	Nei
Nordkapp	Nordkapp Flerbrh	2009			40x60	Unisport	Nei	Ja
Porsanger	Porsangerhallen	1995	2007		40x60	Unisport	Nei	Nei
Sør- Varanger	Barentshallen	2004		47x90		Bresco	Nei	Nei
Vadsø	Varangerhallen	1997	2012		40x60	Desso	Nei	Nei
Hordaland fotballkrets								
Bergen	Vestlandshallen	2000	2006/14	68x105			Nei	Nei
Fjell	Straume	2014		60x100			Nei	Nei
Lindås	Knarvik	2002			40x70		Nei	Nei
Hålogaland								
Andøy	Norlandiahallen	2016			40x60	IPAS	Nei	Ja
Bø	Straume Fotballh				40x64		Nei	Nei
Hadsel	Vesterålshallen	1998	2011		40x64	Desso	Nei	Nei
Hadsel	Hadselhallen	2016			40x60		Nei	Nei
Narvik	Narvikhallen	2004			40x60	Polytan	Nei	Nei
Øksnes	Morild Fotballhall	2009			40x60	Desso	Nei	Nei
Sortland	Blåbyhallen	2007		64x100		Desso	Nei	Nei
Vågan	Kong Øysteins Hall	1998	2012		40x60	Unisport	Nei	Nei

Kommune	Sted	Bygge- år	Rehab	Storhall	Trenings- hall	Leverandør	Under- varme	PAD
Gratangen	Gratangshallen				40x60			
Harstad	Hålogalandshallen	2012			40x60	Polytan	Nei	Ja
Harstad	Seaworkshallen				30x50		Nei	Nei
Harstad	Krafthallen	2009			40x64	Polytan	Nei	Ja
Indre Østlandet fotballkrets								
Nord-Fron	Kvamshallen	2010			35x55	PST	Nei	Nei
Etnedal	Etnedalshallen	2011			35x55	Desso	Nei	Nei
Nord-Aurdal	Valdres Storhall	2015		68X105		Unisport	Nei	Ja
Vestre Toten	Raufosshallen	1987	1999/08	68x105		Desso	Nei	Nei
Ringsaker	Moelv, Limtrehallen	2006			40x64	PST	Nei	Nei
Hamar	Vikingskipet	1993	2006 KG	64x100		Unisport	Nei	Nei
Elverum	Rolfshallen	1990	2010 KG		25x45	Desso	Nei	Nei
Kongsvinger	Kongsvingerhallen	1999	2007	64x100		Unisport	Nei	Nei
Trysil	Nybergsundhallen	2003			30x60	Desso	Nei	Nei
NFF Vestfold								
Kongsberg	Hvittingfosshallen	2006			30x50	Domo Sport	Nei	Nei
Horten	Nykirkehallen	2016			36x61	Unisport	Nei	Nei
RE	Ramnes Meny Arena KG	2010			40x60	Polytan	Nei	Tja
Tønsberg	FIX Arena	2015		52x95		Unisport	Nei	Ja
Sandefjord	Sandarhallen	2017			40x60	Saltex		
NFF Østfold								
Fredrikstad	Østfoldhallen	2004	2007/13	68x105		Bresco	Nei	Ja
Ås	Åshallen	2012			40x60	Desso	Nei	Nei
Nordland Fotballkrets								
Alstadhaug	Helgelandshallen	1995	2009		40x60			
Bodø	Nordlandshallen	1992	2011	68x105			Nei	Ja
Brønnøy	Torghatten Arena	2012		60X90		Unisport	Nei	Ja
Fauske	Fauske storhall	2015		64x100		Unisport?	Nei	Ja
Hemnes	Bjerka Kaldhall	2012			25x45		Nei	Nei
Meløy	Meløy Fotballhall	2010			40x64	Unisport	Nei	Ja
Rana	Stålhallen	2011		68x105		Unisport		
Vefsn	Mosjøhallen	1995			40X60	Desso	Nei	Nei
Vega	Gladstad IP	1999			25x45		Nei	Nei
Nordmøre og Romsdal Fotballkrets								
Averøy	KHF-hallen	2014			36x48	Prosjektor AS		
Eide	Eidehallen	2001			40x64			
Fræna	Brynhallen				20x40			
Kristiansund	KFK-hallen	2012			20x40			
Kristiansund	Nordvesthall1	2005	2014		40x64			
Molde	Træffhallen	2007			50x50			
Molde	Akerhallen	2006	2013		40x60	Unisport		

Kommune	Sted	Bygge- år	Rehab	Storhall	Trenings- hall	Leverandør	Under- varme	PAD
Sunndal	Amfihallen	2013			40x60	Unisport		
Sunndal	Ålvundfjordhallen	2011			20x40			
Oslo Fotballkrets								
Oslo	Ferdhallen	2014			40x60	Saltex	Nei	Nei
Oslo	Manglerudhallen	2004	2014		57x92	Saltex	Nei	Ja
Oslo	Valhall	1998	2016	68x105		Fieldturf	Nei	Ja
Ski	Follohallen	2013			30x50	PST	Nei	Nei
Bærum	Sandvika 7-er	2005			40x60	Bresco	Nei	Nei
Bærum	Telenor Arena	2008	2014	68x105		Unisport	Nei	Ja
Bærum	Bærum Idrettspark	2013			40x60	Mondo	Nei	Nei
Rogaland Fotballkrets								
Haugesund	Vardhallen	2000			40x60	Sport Surf.	Nei	Nei
Haugesund	Haugarhallen	2008				Sport Surf.	Nei	Nei
Karmøy	Avalsnes Hall	2011			40x60	Sport Surf.		
Karmøy	Vedavåg	2015		65x110		Unisport	Nei	Ja
Klepp	Kåsenhallen	2013			38x58	Polythan	Nei	Nei
Randaberg	Randaberg Arena	2011		68x105			Nei	Nei
Sola	Havdur IL	2016			60x40	Sport Surf	nei	nei
Stavanger	Viking FK Jåttå	2009			30x50		Nei	Nei
Strand	Ryfylkehallen	2005			50x69	Polythan	Nei	Nei
Time	Brynehallen	2005			45x70	Polythan	Nei	Nei
Sogn og Fjordane Fotballkrets								
Vågsøy	Skavøypollen	2004	2014		40x60	Sport Surf.	Nei	Ja
Flora	Florahallen	2006			40x60	Bresco	Nei	Ja
Lærdal	Sognahallen	1997	2012	64x104		Syntec	Nei	Ja
Sunnmøre Fotballkrets								
Giske	Vigrahallen	2013			40x60	Unisport	Nei	Nei
Haram	Nordøyhallen	2011			40x60	Unisport	Nei	Ja
Haram	Brattvåghallen	2011			40x60	Unisport	Nei	Ja
Hareid	Hareidhallen	2015			40x60	Sport Surf	Nei	Ja
Sandøy	IP Husehallen	2008			40x60	Bresco	Nei	Ja
Ulstein	Høddvoll	2003	2010		40x60	Bresco	Nei	Nei
Volda	Mørehallen	2014			40x60	Unisport	Nei	
Ørsta	Ørsta IL	2013			40x60	IPAS	Nei	
Ålesund	Sunnmørshallen	1998	2010	64x102		Unisport	Ja	Nei
Ålesund	Spjelkavikhallen	2006			35x55	PST	Nei	Nei
Telemark Fotballkrets								
Bamble	Skjærgårdshallen	2002			26x72	Syntec	Nei	Ja
Bø	Telemarksh.	1995	2007	64x96		Polytan	Nei	Ja
Troms Fotballkrets								
Lyngen	Lyngseidet	1995			40x60	Bresco	Nei	Nei
Tromsø	Skarphallen	1995	2008	64x100		Desso	Nei	Ja
Tromsø	Hamna Skole	2011			40x60	Bresco	Nei	Ja

Kommune	Sted	Bygge- år	Rehab	Storhall	Trenings- hall	Leverandør	Under- varme	PAD
Tromsø	SIF-bobla	2009			40x60	Bresco	Nei	Nei
Tromsø	Storelvahallen	2008	2017		40x60	Pro Turf	Nei	Ja
Målselv	BOIF-hallen	2015		68x105		CC Gress	Nei	Ja
Berg	Senjahallen	2006			40x60	Desso	Nei	Ja
Lenvik	Midt Tromshallen	2010			40x60	Desso	Nei	Nei
Salangen	Astafjordhallen	2005			40x60	Polytan	Nei	Ja
Trøndelag Fotballkrets								
Namsos	Namsoshallen	2001			40x60	Desso	Nei	Nei
Meråker	Meråkerhallen	2001	2015		40x60	Sportsurface	Nei	Nei
Leksvik	Vanvikan Fot hall	2009			40x60			
Verdal	Vukuhallen	2015			40x60	Unisport	Nei	Nei
Frøya	Frøya Storhall	2016		64x100		Unisport/Saltex	Nei	Ja
Bjugn	Fosenhallen	2007			40x60	Bresco	Nei	Nei
Meldal	Storåshallen	2015			40x60	IPAS	Nei	Nei
Melhus	Bankhallen	2012			40x64	Unisport	Nei	Ja
Malvik	Abrahallen	2000	2011	68x105		Unisport	Nei	Nei
Selbu	Selbu hallen	2015			40x60	Polytan	Nei	Nei
Rindal	Rindalshallen	2015			40x64	Unisport	Nei	Ja
Tynset	Nytrømohallen	2015			40x60	Unisport	Nei	Ja
Totalt antall fotballhaller					28	96		

Vedlegg E: Inndata fra SIMIEN

I tabellen under er det gitt en liste over inndata for beregning av energibehov i SIMIEN.

Diverse inndata	
Bygningskategori	Idrettsbygg
Klimasted	Oslo
Breddegrad	59° 55'
Lengdegrad	10° 45'
Årsmiddeltemperatur	6,3 °C

Inndata	
Beskrivelse	Verdi
Areal yttervegger [m ²]	1 130
Areal tak [m ²]	3 414
Areal Gulv [m ²]	3 220
Areal vinduer og ytterdører [m ²]	0
Oppvarmet bruksareal (BRA) [m ²]	3 220
Oppvarmet luftvolum [m ³]	24 848
U-verdi yttervegger [W/m ² K]	0,27
U-verdi tak [W/m ² K]	0,27
U-verdi gulv [W/m ² K]	0,13
Normalisert kuldebroverdi [W/m ² K]	0,06
Normalisert varmekapasitet [Wh/m ² K]	21
Lekkasjetall (n ₅₀) [1/h]	0,09

Driftsbetingelser	
Beskrivelse	Verdi
Driftstid kjøling [h]	0
Driftstid ventilasjon [h]	0
Driftstid Belysning [h]	8
Driftstid utstyr [h]	3
Oppholdstid personer [h]	3
Effektbehov belysning i driftstiden [W/m ²]	0
Effektbehov utstyr i driftstiden [W/m ²]	0
Varmetilskudd utstyr i driftstiden [W/m ²]	0
Effektbehov varmtvann på driftsdager [W/m ²]	0
Varmetilskudd personer i oppholdstiden [W/m ²]	3
Total solfaktor for vindu og solskjerming	0
Gjennomsnittlig karmfaktor vinduer	0
Solskjermingsfaktor	1

Vedlegg F: Risikovurdering

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

Enhet: Institutt for Energi- og prosesssteknikk

Dato: 28.02.18

Linjeleder: Therese Løvås

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): Astrid Oline Ressem (student), Hans Martin Mathisen (veileder)

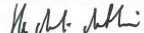
(Ansv. veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

Kort beskrivelse av hovedaktivitet/hovedprosess: Masteroppgave Astrid Oline Almlie Ressem. Ventilasjon av fotballhall.

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 aktivitetene i kartleggingskjemaet under. Risikovurdering trenger ikke å fylles ut.

Signaturer: Ansvarlig veileder: 

Student: 

ID nr.	Aktivitet/prosess	Ansvarlig	Eksisterende dokumentasjon	Eksisterende sikringstiltak	Lov, forskrift o.l.	Kommentar
01	Testforsøk i hall	Astrid Ressem	Ingen	Ingen		

NTNU	Risikovurdering	Utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2603	22.03.2011	
HMS		Godkjent av	Erstatter		
		Rektor		01.12.2006	

Enhet: Institutt for Energi- og prosesssteknikk


Dato: 28.02.18

Linjeleder: Therese Løvås

Deltakere ved kartleggingen (m/ funksjon): Astrid Oline Ressem (student), Hans Martin Mathisen (veileder)

(Ansv. Veileder, student, evt. medveiledere, evt. andre m. kompetanse)

Risikovurderingen gjelder hovedaktivitet: Masteroppgave Astrid Oline Almlie Ressem. Ventilasjon av fotballhall.

Signaturer: Ansvarlig veileder: 

Student: 

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)		
01	Måle temperatur, RF, svevestøv og CO ₂ .	Ingen	1	A	A	A	A	A1	

NTNU	Risikovurdering	Utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2603	22.03.2011	
HMS		Godkjent av		Erstatter	
		Rektor		01.12.2006	

Sannsynlighet vurderes etter følgende kriterier:

Svært liten 1	Liten 2	Middels 3	Stor 4	Svært stor 5
1 gang pr 50 år eller sjeldnere	1 gang pr 10 år eller sjeldnere	1 gang pr år eller sjeldnere	1 gang pr måned eller sjeldnere	Skjer ukentlig

Konsekvens vurderes etter følgende kriterier:

Gradering	Menneske	Ytre miljø Vann, jord og luft	Øk/materiell	Omdømme
E Svært Alvorlig	Død	Svært langvarig og ikke reversibel skade	Drifts- eller aktivitetsstans > 1 år.	Troverdighet og respekt betydelig og varig svekket
D Alvorlig	Alvorlig personskade. Mulig uferhet.	Langvarig skade. Lang restitusjonstid	Driftsstans > ½ år Aktivitetsstans i opp til 1 år	Troverdighet og respekt betydelig svekket
C Moderat	Alvorlig personskade.	Mindre skade og lang restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 mnd	Troverdighet og respekt svekket
B Liten	Skade som krever medisinsk behandling	Mindre skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 uke	Negativ påvirkning på troverdighet og respekt
A Svært liten	Skade som krever førstehjelp	Ubetydelig skade og kort restitusjonstid	Drifts- eller aktivitetsstans < 1 dag	Liten påvirkning på troverdighet og respekt

Risikoverdi = Sannsynlighet x Konsekvens

Beregn risikoverdi for Menneske. Enheten vurderer selv om de i tillegg vil beregne risikoverdi for Ytre miljø, Økonomi/materiell og Omdømme. I så fall beregnes disse hver for seg.

Til kolonnen "Kommentarer/status, forslag til forebyggende og korrigerende tiltak":

Tiltak kan påvirke både sannsynlighet og konsekvens. Prioriter tiltak som kan forhindre at hendelsen inntreffer, dvs. sannsynlighetsreducerende tiltak foran skjerpet beredskap, dvs. konsekvensreducerende tiltak.

NTNU	Risikomatrix	utarbeidet av	Nummer	Dato	
		HMS-avd.	HMSRV2604	08.03.2010	
HMS/KS		godkjent av		Erstatter	
		Rektor		09.02.2010	

MATRISSE FOR RISIKOVURDERINGER ved NTNU

KONSEKVENNS	Svært alvorlig	E1	E2	E3	E4	E5
	Alvorlig	D1	D2	D3	D4	D5
	Moderat	C1	C2	C3	C4	C5
	Liten	B1	B2	B3	B4	B5
	Svært liten	A1	A2	A3	A4	A5
		Svært liten	Liten	Middels	Stor	Svært stor
		SANNSYNLIGHET				

Prinsipp over akseptkriterium. Forklaring av fargene som er brukt i risikomatriksen.

Farge	Beskrivelse
Rød	Uakseptabel risiko. Tiltak skal gjennomføres for å redusere risikoen.
Gul	Vurderingsområde. Tiltak skal vurderes.
Grønn	Akseptabel risiko. Tiltak kan vurderes ut fra andre hensyn.