Bacheloroppgave

NTNU
Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk

Even Boye Haarsaker Gjerde
Herman Storm Segtnan

Inneklima og ventilasjonsstrategier i fotballhaller

Bacheloroppgave i Maskin, VVS-teknikk
Veileder: Dag Rune Stensaas
Medveileder: Ole Øiene Smedegård
Mai 2026

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

Even Boye Haarsaker Gjerde
Herman Storm Segtnan

Inneklima og ventilasjonsstrategier i fotballhaller

Bacheloroppgave i Maskin, VVS-teknikk
Veileder: Dag Rune Stensaas
Medveileder: Ole Øiene Smedegård
Mai 2026

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for ingeniørvitenskap
Institutt for energi- og prosessteknikk

NTNU
Kunnskap for en bedre verden

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel
Inneklima og ventilasjonsstrategier i fotballhaller
Indoor Climate and Ventilation Strategies in Indoor Football Halls

Prosjektnr
EPT-V-2026-04

Forfattere
Even Boye Haarsaker Gjerde
Herman Storm Segtnan

Oppdragsgiver eksternt
SIAT - Senter for idrettsanlegg og teknologi (NTNU) /Medveileder: Ole Øiene Smedegård

Veiledere internt
Dag Rune Stensaas

Rapporten er ÅPEN/ ~~LUKKET~~

Dato levert
20.05.2026

Kort sammendrag: Denne oppgaven kartlegger inneklimaet i fem fotballhaller i Trondheimsområdet gjennom målinger av CO_2, temperatur, relativ luftfuktighet og partikkelkonsentrasjon i vintersesongen 2026. Hallene representerer ulike ventilasjonsprinsipper og driftsstrategier. Resultatene viser at mekanisk ventilasjon med kontinuerlig drift gir det mest stabile inneklimaet, og at inneklimaet styres av et samspill mellom bygningskropp, ventilasjonsprinsipp og driftsstrategi.
Short Abstract: This thesis investigates the indoor climate in five indoor football halls in the Trondheim area through measurements of CO_2, temperature, relative humidity, and particulate matter during the winter season of 2026. The halls represent different ventilation principles and operational strategies. The findings show that mechanical ventilation with continuous operation provides the most stable indoor climate, and that the indoor climate is governed by an interplay between building structure, ventilation principle and operational strategy.

Stikkord:
Fotballhall
Inneklima
Ventilasjon
Feltstudier

Keywords:
Indoor football halls
Indoor climate
Ventilation
Field studies

Forord

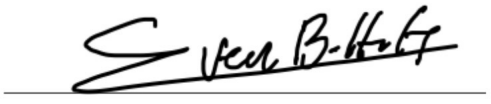
Denne bacheloroppgaven markerer slutten på en treårig utdanning ved Institutt for energi og prosessteknikk som del av bachelorstudiet Maskiningeniør med retning VVS. Oppgaven utgjør 22,5 studiepoeng og er gjennomført i vårsemesteret 2026.

Oppgaven ble valgt på bakgrunn av en felles interesse for idrettsbygg, med særlig fokus på fotballhaller. Høsten 2025 gjennomførte vi feltuke i regi av studiet, hvor det i løpet av dette arbeidet ble kartlagt ulike utfordringer knyttet til inneklima i slike bygninger. Det ble i sammenheng med dette avdekket kunnskapshull innenfor eksisterende litteratur på feltet, noe som ga grunnlag for å utarbeide en oppgave. Slik ble det opprettet forbindelse mellom oss og SIAT - Senter for idrettsanlegg og teknologi ved NTNU, som også er oppdragsgiver for denne oppgaven.

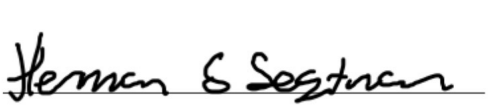
Gjennom oppgaven har kandidatene fått kjenne på både utfordringer og mestring gjennom utførelse av reelle praktiske forsøk og målinger. Vi håper oppgaven kan bidra til økt forståelse av hvordan ulike løsninger påvirker inneklima, og at oppgaven videre kan benyttes som kunnskapsgrunnlag for kommende nybygg av denne typen.

Vi ønsker å takke vår hovedveileder **Dag Rune Stensaas** for god støtte gjennom skriveprosessen, samt gode innspill til strukturering av oppgaven. Videre ønsker vi å takke medveileder ved SIAT, **Ole Øiene Smedegård**, for gode faglige innspill samt praktisk hjelp med måleutstyr og metodikk. Vi ønsker også å rette en takk til **Bjørn Åge Berntsen** som har vært en strålende praktisk tilrettelegger og motivator under hele oppgaven.

Kandidatene takker hverandre for godt arbeid, og anerkjenner innsatsen som har blitt lagt ned i oppgaven.



Even Boye Haarsaker Gjerde



Herman Storm Segtnan

Sammendrag

Fotball er Norges største organiserte idrett, og for å tilrette for fotballen som helårsaktivitet har fotballhaller fått en stadig viktigere rolle i utviklingen av nye anlegg. NFF Trøndelag la i begynnelsen av 2026 frem en anleggsplan for perioden 2026–2030, hvor det understrekes et tydelig behov for både nye anlegg og rehabilitering av eksisterende. Når flere haller skal bygges eller oppgraderes i årene som kommer, er det avgjørende å forstå hvordan tekniske løsninger og driftsstrategier påvirker inneklimaet i praksis. Dagens veiledere ivaretar i begrenset grad inneklimautfordringer knyttet til kunstgress i lukkede haller, og spesifikke krav fremstår per dags dato som for generelle.

Denne oppgaven kartlegger inneklimaet i fem eksisterende fotballhaller i Trondheimsområdet gjennom målinger av CO_2-konsentrasjon, temperatur, relativ luftfuktighet, duggpunkt og partikkelkonsentrasjon. Målingene er gjennomført i deler av vintersesongen 2026 ved hjelp av en håndholdt optisk partikkelteller, trådløse CO_2-sensorer og sensorer for fukt og temperatur. De fem hallene representerer ulike hallstørrelser, ventilasjonsprinsipper og driftsstrategier, og resultatene er sammenlignet for å avdekke sammenhenger mellom tekniske løsninger og inneklima.

Funnene viser at haller uten mekanisk ventilasjon har betydelig høyere CO_2-konsentrasjon og lengre regenereringstid etter aktivitet, samt gjennomgående høyere relativ fuktighet. Dette gir økt risiko for kondens og påfølgende sopp- og muggdannelse i bygningskroppen. Haller med mekanisk ventilasjon hadde også til dels høye CO_2-verdier ved høy belastning, men returnerte raskere til normalnivå. Partikkelmålingene tyder på at både grove og fine fraksjoner i hovedsak genereres innenfra ved aktivitet, og at mekanisk ventilasjon i undersøkt utforming ikke er tilstrekkelig for å fjerne disse fra oppholdssonen. Driftsstrategien fremstår som en av de viktigste forklaringsvariablene; kontinuerlig drift gir det mest stabile inneklimaet, mens manuell og fraværende styring gir vesentlig dårligere forhold.

Oppgaven konkluderer med at inneklima i fotballhaller styres av et samspill mellom bygningskropp, ventilasjonsprinsipp og driftsstrategi. Det finnes ingen enkeltløsning som passer alle anlegg, men balansert mekanisk ventilasjon kombinert med kontinuerlig drift gir det jevneste og mest forutsigbare inneklimaet i de undersøkte hallene. Videre arbeid bør rettes mot avtrekksløsninger nærmere spilleflaten, omluft med filtrering og kontrollerte forsøk på emisjoner fra kunstgress. Resultatene gir et nyttig kunnskapsgrunnlag for fremtidige byggherrer ved valg av tekniske løsninger.

Abstract

Football is Norway's largest organised sport, and in order to facilitate football as a year-round activity, indoor football halls have taken on an increasingly important role in the development of new facilities. At the beginning of 2026, the Norwegian Football Federation (NFF) Trøndelag presented a facility plan for the period 2026–2030, which highlights a clear need for both new construction and the rehabilitation of existing facilities.

As more halls are to be built or upgraded in the coming years, it is essential to understand how technical solutions and operational strategies affect the indoor climate in practice. Current guidelines address indoor climate challenges related to artificial turf in enclosed halls only to a limited extent, and specific requirements appear, at present, to be too general.

This thesis investigates the indoor climate in five existing football halls in the Trondheim area through measurements of CO_2-concentration, temperature, relative humidity, dew point and particulate matter concentration. The measurements were carried out during parts of the winter season of 2026 using a handheld optical particle counter, wireless CO_2 sensors, and sensors for humidity and temperature. The five halls represent different hall sizes, ventilation principles and operational strategies, and the results have been compared in order to identify relationships between technical solutions and indoor climate.

The findings show that halls without mechanical ventilation have significantly higher CO_2 concentrations and longer recovery times following periods of activity, as well as consistently higher relative humidity. This increases the risk of condensation and subsequent mould and fungal growth in the building structure. Halls with mechanical ventilation also exhibited, at times, elevated CO_2 levels under high occupancy, but returned more rapidly to baseline levels. The particle measurements indicate that both coarse and fine fractions are primarily generated from within the hall during activity, and that mechanical ventilation, in the configurations examined, is not sufficient to remove these particles from the occupied zone. The operational strategy emerges as one of the most influential explanatory variables; continuous operation provides the most stable indoor climate, whereas manual or absent control results in considerably poorer conditions.

The thesis concludes that the indoor climate in football halls is governed by an interplay between the building structure, the ventilation principle and the operational strategy. No single solution suits all facilities, but balanced mechanical ventilation combined with continuous operation provides the most uniform and predictable indoor climate among the halls examined. Further work should be directed towards extract solutions closer to the playing surface, recirculated air with filtration, and controlled experiments on emissions from artificial turf. The results provide a useful knowledge base for future developers when selecting technical solutions.

Innholdsfortegnelse

Rapport Bacheloroppgaven ii

Forord ii

Sammendrag iii

Figurliste ix

Tabelliste xi

1 Innledning 1

1.1 Bakgrunn . . . 1

1.2 Litteraturgrunnlag og kunnskapshull . . . 1

1.3 Problemstilling og forskningsspørsmål . . . 2

1.4 Avgrensninger . . . 2

1.5 Resultat og effektmål . . . 3

2 Teori 4

2.1 Fotballhaller . . . 4

2.1.1 Dimensjonerende størrelser . . . 4

2.1.2 Halltyper . . . 5

2.2 Kunstgress og ifyll . . . 6

2.2.1 System med SBR . . . 6

2.2.2 System med olivenstein . . . 7

2.2.3 System med cellulosebelagt sand . . . 7

2.2.4 Shockpad . . . 7

2.3 Inneklima . . . 8

2.4 Målbare inneklimaparametere . . . 9

2.4.1 Temperatur . . . 9

2.4.2 CO_2 . . . 9

2.4.3 Partikler og svevestøv . . . 10
2.4.4 Fuktighet, kondens og duggpunkt . . . 10
2.4.5 Radon og fuktsperre . . . 11
2.5 Ventilasjon . . . 11
2.5.1 Luftmengder . . . 11
2.5.2 Ventilasjonsprinsipper . . . 12
2.6 Energibruk . . . 18
2.6.1 Oppvarming . . . 18
2.6.2 Varmegjenvinner . . . 19
2.6.3 Driftsstrategier . . . 20

3 Metode **22**
3.1 Litteraturstudier . . . 23
3.2 Måleutstyr . . . 23
3.2.1 Aerotrak TSI . . . 23
3.2.2 Wireless CO_2-sensor . . . 24
3.2.3 Easylog EL-USB-2+ . . . 24
3.2.4 Kalibrering . . . 24
3.3 Måling . . . 26
3.3.1 Måleplan . . . 26
3.3.2 Easylog . . . 27
3.3.3 CO_2-målere . . . 27
3.3.4 Partikkelmålinger . . . 27
3.3.5 PC og basestasjon . . . 28
3.4 Databehandling og analyse . . . 29
3.4.1 **CO_2-målinger** - Analyse av data . . . 29
3.4.2 Temperatur, fuktighet og duggpunkt - Analyse av data . . . 29
3.4.3 Temperatur og duggpunkt - Analyse av data . . . 29
3.4.4 Relativ luftfuktighet - Analyse av data . . . 30
3.4.5 Partikkelmålinger - Analyse av data . . . 30

3.5 Usikkerhet og begrensninger . . . 32
3.5.1 Partikkelmålinger . . . 32
3.5.2 Utemålinger for temperatur, duggpunkt og relativ fuktighet . . . 33
3.5.3 CO_2-målinger . . . 33

4 Testobjekter **35**
4.1 Hall 1 . . . 35
4.2 Hall 2 . . . 36
4.3 Hall 3 . . . 37
4.4 Hall 4 . . . 38
4.5 Hall 5 . . . 40

5 Resultater **42**
5.1 Hall 1 . . . 42
5.1.1 CO_2-Målinger . . . 42
5.1.2 Temperatur og relativ luftfuktighet . . . 43
5.1.3 Partikkelmålinger . . . 45
5.2 Oppsummering av resultater Hall 1 . . . 47
5.3 Hall 2 . . . 49
5.3.1 CO_2-Målinger . . . 49
5.3.2 Relativ fuktighet og temperatur . . . 49
5.3.3 Partikkelmålinger . . . 51
5.4 Oppsummering av resultater hall 2 . . . 53
5.5 Hall 3 . . . 55
5.5.1 CO_2-Målinger . . . 55
5.5.2 Relativ fuktighet og temperatur . . . 56
5.5.3 Partikkelmålinger . . . 58
5.6 Oppsummering av resultater hall 3 . . . 60
5.7 Hall 4 . . . 61
5.7.1 CO_2-Målinger . . . 61

5.7.2 Relativ fuktighet, duggpunkt og temperatur 62
5.7.3 Partikkelmålinger 64
5.8 Oppsummering av resultater hall 4 66
5.9 Hall 5 68
5.9.1 CO2-Målinger 68
5.9.2 Relativ fuktighet og temperatur 69
5.9.3 Partikkelmålinger 71
5.10 Oppsummering av resultater hall 5 72

6 Diskusjon **73**
6.1 Premisser for sammenligning 73
6.1.1 Halltyper, volum og bygningskonstruksjon 73
6.1.2 Aktivitetsnivå og bruksmønster 73
6.1.3 Måleperiode og værforhold 74
6.1.4 Drifts-og styringsstrategier som uavhengig variabel 74
6.2 CO_2-konsentrasjon og luftutskifte 74
6.3 Termisk miljø; temperatur og innetemperatur 75
6.4 Fuktighet, duggpunkt og kondensrisiko 76
6.5 Partikkelmålinger 78
6.6 Utvidet diskusjon 82

7 Konklusjon **85**

8 Forslag til videre arbeid **87**

9 Kilder **88**

A Vedlegg **92**
A.1 Partikkelmålinger - Omregning til massekonsentrasjon fra antallkonsentrasjon . 92
A.1.1 Eksempelberegning for $N_{0.3-0.5}$ for hall 1 - ingen aktivitet 92
A.2 Værdata 93
A.2.1 Hall 1 94

A.2.2 Hall 2 95
A.2.3 Hall 3 96
A.2.4 Hall 4 97
A.2.5 Hall 5 98

Figurliste

2.1 Visuell fremstilling av fortrengningsventilasjon 14
2.2 Visuell fremstilling av stempel ventilasjon 15
2.3 Visuell fremstilling av omrøringsventilasjon 16
2.4 Visuell fremstilling av diffusventilasjon 17
2.5 Oppvarming av fotballhall 19
3.1 Arbeidsflyt under arbeidet 22
3.2 Aerotrak TSI - Håndholdt partikkelmåler [30] 24
3.3 Kalibrering normalverdier 25
3.4 Kalibrering ekstremverdi 25
3.5 Bilde av kalibreringsgrafen 25
3.6 Plassering av CO_2 målere 26
3.7 Plassering av Easyloggere 26
3.8 Punkter for støvmåling 26
3.9 Plassering av basestasjon i hall 28
3.10 Eksempelbilde - Partikkelmåling 31
4.1 Hall 1 snitt 35
4.2 Hall 1 plan 35
4.3 Hall 2 snitt 36
4.4 Hall 2 plan 36
4.5 Hall 3 snitt 37
4.6 Hall 3 plan 37
4.7 Hall 4 snitt 39
4.8 Hall 4 plan 39

4.9 Hall 5 snitt 40
4.10 Hall 5 plan 40
5.1 CO_2-målinger - Hall 1 43
5.2 Temperatur - Hall 1 44
5.3 Relativ luftfuktighet - Hall 1 44
5.4 Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur - Hall 1 45
5.5 CO_2-målinger - Hall 2 49
5.6 Temperatur - Hall 2 50
5.7 Relativ luftfuktighet - Hall 2 50
5.8 Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur - Hall 2 51
5.9 CO_2-målinger - Hall 3 55
5.10 CO_2-målinger (Tilpasset intervall) - Hall 3 55
5.11 Temperatur - Hall 3 56
5.12 Relativ fuktighet - Hall 3 57
5.13 Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur- Hall 3 57
5.14 CO_2-målinger - Hall 4 61
5.15 CO_2-målinger (Tilpasset intervall) - Hall 4 62
5.16 Temperaturmålinger - Hall 4 62
5.17 Relativ luftfuktighet- Hall 4 63
5.18 Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur- Hall 4 64
5.19 CO_2-målinger - Hall 5 68
5.20 CO_2-målinger (Tilpasset intervall) - Hall 5 69
5.21 Temperatur - Hall 5 69
5.22 Relativ luftfuktighet - Hall 5 70
5.23 Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur - Hall 5 71
A.1 Figuren viser oppsett i excel og tilhørende pivottabell benyttet for omgjøring til massekonsentrasjon for alle haller 93
A.2 Værdata 12.02-17.02 , hentet fra seklima.met.no 94
A.3 Temperatur - Hall 1 94
A.4 Værdata 17.02-22.02 , hentet fra seklima.met.no 95

A.5 Temperatur - Hall 2 95
A.6 Værdata for området i perioden 20.02-25.02. 96
A.7 Temperatur - Hall 3 96
A.8 Værdata fra området i perioden 25.02-02.03 97
A.9 Temperaturmålinger - Hall 4 97
A.10 Værdata for området i perioden 13.03-17.03. 98
A.11 Temperatur - Hall 5 98

Tabelliste

2.1 Dimensjoner for halltyper: spilleflate og aktivitetsflate inkl. sikkerhetssone (NFF veileder fotballhaller 2022). [4] 4
2.2 Anbefalte minimum frihøyder (utdrag fra NFF veileder fotballhaller 2022). [4] 4
2.3 Sammendragstabell: CO_2-konsentrasjon og effekter 9
2.4 Overordnet sammenlikning av driftsstrategier for VVS-anlegg. 21
5.1 Partikkelmålinger – Hall 1. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 46
5.2 Partikkelmålinger – Hall 1. Lett aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdiene gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 46
5.3 Partikkelmålinger – Hall 1. Lett aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$. 47
5.4 Oppsummering – Hall 1. 48
5.5 Partikkelmålinger – Hall 1. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og lett aktivitet. Verdiene gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 48
5.6 Partikkelmålinger – Hall 2. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne. sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdiene gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 52
5.7 Partikkelmålinger – Hall 2. Moderat aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 52
5.8 Partikkelmålinger – Hall 2. Moderat aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$. 53
5.9 Oppsummering – Hall 2. 53

5.10 Partikkelmålinger – Hall 2. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og moderat aktivitet (9 målepunkter). Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 54

5.11 Partikkelmålinger – Hall 3. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 58

5.12 Partikkelmålinger – Hall 3. Aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 59

5.13 Partikkelmålinger – Hall 3. Lett aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$. 59

5.14 Oppsummering – Hall 3. 60

5.15 Partikkelmålinger – Hall 3. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og aktivitet. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 60

5.16 Partikkelmålinger – Hall 4. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier er gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 64

5.17 Partikkelmålinger – Hall 4. Aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 65

5.18 Partikkelmålinger – Hall 4. Lett aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$. 65

5.19 Oppsummering – Hall 4. 66

5.20 Partikkelmålinger – Hall 4. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og aktivitet. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 67

5.21 Partikkelmålinger – Hall 5. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdiene representerer differensierte målekanaler ($\Delta\#$) og er gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$. 72

5.22 Oppsummering – Hall 5. 72

6.1 Sammenlikning av CO_2 (ppm) på tvers av haller. 74

6.2 Sammenlikning av temperatur, fukt og kondensmargin ($\Delta T = T - T_d$) på tvers av haller. 76

6.3 Sammenligning av antallkonsentrasjon ved ingen aktivitet og aktivitet for de ulike hallene. Verdier gitt i $\times 10^6$ #/m^3. 79

6.4 Sammenligning av antallkonsentrasjon ved høy og lav aktivitet 79

6.5 Sammenligning av massekonsentrasjon ved lett aktivitet for de ulike hallene. Verdier gitt i $\mu g/m^3$. 82

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Fotball er Norges største organiserte møteplass som tilrettelegger for aktivitet for barn, unge og voksne. Aktiviteten gir grunnlag for at det vil foregå en økning i både antall anlegg, og kvaliteten på anleggene må være så god at disse kan benyttes i flere år fremover.

For å tilrettelegge for fotballen som helårsidrett har fotballhaller fått en stadig økende rolle i utviklingen, spesielt i regioner med krevende vinterforhold. NFF Trøndelag har lagt frem en anleggsplan for perioden 2026-2030, hvor det understrekes et tydelig behov for bygging av nye og gode idrettsanlegg. [1]

Rapporten viser til en kartlegging gjort i 2024, hvor funnene viser at samtlige anlegg i Trøndelag må rehabiliteres innenfor en tiårsperiode.[1] Krevende vinterforhold, brøyting og vedlikehold av utendørs baner på vinterstid forkorter levetiden til eksisterende anlegg. Dette understreker behovet for flere nybygg av denne typen.

Når flere haller skal bygges eller rehabiliteres i de kommende årene, er det derfor viktig å forstå hvordan valg av tekniske løsninger og driftsstrategier påvirker inneklimaet i praksis. Denne oppgaven tar utgangspunkt i målinger og teknisk kartlegging i et utvalg haller fra Trondheims-området.

Fra et VVS-teknisk perspektiv er fotballhaller interessante, da de ofte har stort bygningsvolum, høy og variabel personbelastning og begrensede rengjøringsmuligheter. I tillegg innføres det fra 2031 restriksjoner mot bruk av mikroplastholdige ifyll, som sannsynligvis vil fremme mer miljøvennlige, og ofte organiske ifyll. [2]

Byggets natur legger til grunn at støvproduksjon vil kunne være fremtredende og i enkelte tilfeller uheldig for luftkvalitet og komfort. I flere haller har det også blitt vanlig praksis med vanning av kunstgressdekket, som kan påvirke både fuktforhold og luftkvalitet i bygget. Disse forholdene kan skape VVS-tekniske utfordringer som nødvendigvis ikke fullt ut er ivaretatt i dagens veiledninger og praksis.

1.2 Litteraturgrunnlag og kunnskapshull

Gjennom litteraturstudier har det kommet fram at det finnes veiledere for prosjektering av idrettshaller [3], samt spesifikt for innendørs fotballhaller. [4] Likevel indikerer resultatene at

dagens veiledere i mindre grad ivaretar inneklimautfordringer knyttet til kunstgress i lukkede haller. I de gjennomgåtte kildene omtales i begrenset grad spesifikke krav for terskelnivåer for svevestøv, samt at anbefalte luftmengder basert på både emisjoner fra materialer/kunstgress-dekket eller personbelastning kan virke å være noe generelle. I praksis vil dette kunne medføre variasjoner i valg av løsninger mellom haller og i ytterste konsekvens gi løsninger og driftsstrategier som ikke er tilpasset faktisk belastning og bruksmønster.

1.3 Problemstilling og forskningsspørsmål

Oppgaven skal kartlegge inneklima med utgangspunkt i målinger i et utvalg eksisterende fotballhaller i Trøndelag, og gjennom praktisk måling og analyse avdekke sammenhenger mellom tekniske løsninger og inneklima. For å lettere kunne svare på problemstillingen har det blitt utarbeidet fire forskningsspørsmål som skal besvares.

Forskningsspørsmål

- Hva defineres som godt inneklima i en fotballhall?
- Hvilke ventilasjonsløsninger benyttes, og hvordan påvirker løsningen inneklima i fotballhallene?
- Hvordan påvirker drift av anleggene inneklimaet?
- Hvordan kan eksisterende løsninger tilpasses for å bedre inneklima ?

1.4 Avgrensninger

Oppgaven vil *ikke* vurdere eventuelle medisinske helseeffekter av inneklimaet. Oppgaven vil *ikke* omfatte prosjektering av nye/eksisterende anlegg, men beskrive eventuelle tiltak/ombygninger på et prinsipielt nivå hvor det er hensiktsmessig. Dette vil i praksis kun omfatte løsninger hvor grunnventilasjon mangler eller åpenbart er utilstrekkelig. Videre poengteres det at målingene gjelder de undersøkte hallene i måleperioden, og kan dermed antyde, men *ikke* bevise, overførbarhet til lignende haller.

1.5 Resultat og effektmål

Resultatmål

Oppgaven skal svare på problemstillingen ved å oppnå følgende resultatmål:

1. Etablere et datagrunnlag fra deler av vintersesongen for fem ulike fotballhaller med følgende parametere:
    - CO_2-konsentrasjon
    - Fukt, temperatur og duggpunkt
    - Partikkelkonsentrasjoner
2. Kartlegge eksisterende tekniske løsninger og deres påvirkning på inneklimaet
3. Belyse aktuelle problemstillinger knyttet til inneklima i fotballhaller

Effektmål

Det overordnede effektmålet for bacheloroppgaven er å bidra til økt kunnskap om hvordan inneklima i fotballhaller påvirkes av faktorer som fukt, temperatur, type innfyll og svevestøv. I forlengelse av dette håper gruppen å kunne bidra til en felles forståelse av hvilke løsninger og prinsipper som kan og bør benyttes for å forbedre inneklimaet i fotballhaller.

Til slutt håper gruppa at denne oppgaven kan fungere som et kunnskapsgrunnlag slik at fremtidige byggherrer for denne typen anlegg kan velge løsninger som både er bærekraftige og fungerer hensiktsmessig.

2 Teori

2.1 Fotballhaller

Fotballhaller er fra et VVS teknisk perspektiv en svært krevende bygningstype. Fotballhaller har stort luftvolum, stor takhøyde og variabel personbelastning i begge ender av skalaen. Kombinasjonen av kunstgressdekke med organisk eller syntetisk ifyll, begrenset rengjøring og vanning gjør forholdene for godt inneklima utfordrende.

2.1.1 Dimensjonerende størrelser

Størrelsen på fotballhaller varierer avhengig av banestørrelse og tiltenkt bruk. I henhold til NFFs veileder for fotballhaller er det standardiserte størrelser for 5-, 7-, 9-, og 11-erbaner. Det skilles mellom storhaller (11-er bane) og treningshaller (7-er eller mindre). En 11-erhall har krav om minimum 10 meters takhøyde over sidelinjen og ett minimumskrav på 20 meter over midtaksen. Tabell 2.1 og 2.2 viser definisjonene av bane-og hallstørrelser.

Tabell 2.1: Dimensjoner for halltyper: spilleflate og aktivitetsflate inkl. sikkerhetssone (NFF veileder fotballhaller 2022). [4]

Halltype	**Spilleflate (m)**	**Aktivitetsflate inkl. sikkerhetssone (m)**
Liten treningshall	30×50	36×56
Treningshall	40×60	46×66
Treningshall (større)	50×70	56×76
Storhall	64×100	72×110

Tabell 2.2: Anbefalte minimum frihøyder (utdrag fra NFF veileder fotballhaller 2022). [4]

Hall / banestørrelse	**Buekonstruksjon (min)**	**Flatt tak / alternativ (min)**
11-er hall	10 m over sidelinjer, 20 m over midtakse	–
Eksisterende 7-er (40×60/64)	5,5 m over sidelinjer, 10 m over midtakse	7 m (flatt tak)
Ny 7-er (30×50)	Samme som eksisterende 7-er	–
9-er hall (50×70)	7 m over sidelinjer, 14 m over midtakse	9 m (flatt tak)

Skal hallen være UEFA- godkjent 11-er bane må det være 21 meter over midtaksen. Disse dimensjonene gjør volumet som skal ventileres enormt stort. Videre er det også krav til sikkerhetssoner rundt banene. For 11-er baner er kravet 4 m på langsidene og 5 m bak kortlinjene. For 9-er og mindre banestørrelser er kravet til sikkerhetssonen 3 m rundt hele banen [4].

2.1.2 Halltyper

Fotballhaller kan gjerne deles inn i to hovedkategorier; Enkle, med lette konstruksjonsmaterialer (Isolerte dukhaller, overbygde lager/garasje), eller mer avanserte faste bygg med mer robuste konstruksjonsmaterialer og tilhørende tekniske anlegg [4].

De mer avanserte hallene kan videre deles inn i tre konstruksjonskategorier:

- Stålhall med sandwich-kledning
- Fast konstruksjon med betong eller tre-elementer
- Overtrykkshaller

Disse skiller seg fra hverandre i konstruksjonsprinsipp, isoleringsevne og mulighet for tekniske installasjoner.

Stålhaller med sandwich-kledning

Stålhaller med sandwich-kledning er den vanligste konstruksjonen for nye bygg. De produseres som prefabrikkerte elementer og monteres raskt på stedet. Kledningen består av to stålplater med isolasjon mellom. Dette gir god termisk ytelse. Stålhaller kan bygges med fritt spenn uten søyler, noe som egner seg i fotballhaller.

Fast konstruksjon

Fast konstruksjon av betong eller tre er den mest permanente og kostnadskrevende løsningen. Idrettshaller i trekonstruksjon bygges som regel med limtre som bærende konstruksjon og massivtre der gulv, vegger og tak settes sammen [5]. Konstruksjonen gir god isoleringsevne og lang levetid. Dette egner seg godt for anlegg som skal integreres i eksisterende bygg eller når hallen skal ha flere bruksområder. Faste konstruksjoner gir også de beste forutsetningene for integrering av tekniske installasjoner [4].

Overtrykkshall

Overtrykkshaller, også kalt dukhaller er anlegg med svakt overtrykk som holder duken oppe. Disse er raske og billige å sette opp. Ulempen med slike haller er at de er krevende å ventilere

kontrollert fordi en hver åpning i konstruksjonen påvirker trykkbalansen som holder konstruksjonen oppe. Isolasjonsevnen er også generelt lavere enn for faste konstruksjoner.

2.2 Kunstgress og ifyll

Kunstgressbaner kan sees på som et totalsystem som deles inn i fire komponenter:

- **Kunstgressfibrene:** Består av de grønne fibrene og den svarte matten disse er sydd fast til.
- **Dempematte (shockpad):** Ligger under kunstgresset og skal absorbere støt og gjøre det mer skånsomt for knær, ledd og fall for spillere.
- **Stabiliserende ifyll:** Dette er typisk sand. Legges nederst i kunstgresset for å stabilisere gresset og holde ytelsesifyllet på riktig sted.
- **Ytelses ifyll:** Ligger øverst i gresset og er med på å forbedre egenskapene til spilleflaten. Dette har typisk vært SBR (gummigranulat), men er i nyere tid byttet ut med organisk ifyll.

Kunstgress kan deles inn i fire generasjoner. Disse generasjonene markerer markant forbedring/endring i gresset. Kunstgress ble ikke brukt på fotballbaner før generasjon tre kom. Dette gresset er utviklet spesielt for idretter hvor brukeren kommer i kontakt med gresset for at de skal unngå brannsår [6]. Generasjon tre gress som er dominant er kunstgress med sand og syntetisk ifyll (gummi granulat). Etterhvert som hallene og banen skal over på naturlig ifyll er det generasjon fire gress som er det naturlige valget. Dette er gress uten ifyll men med lite lag sand. Her kompenserer konstruksjonen og sammensetningen av gresstrå for mangelen på ifyll [7]. I denne oppgaven ser vi på anlegg med SBR, olivensten og cellulosebelagt sand.

2.2.1 System med SBR

System med SBR som ifyll har ett gress laget av polyetylen. Siden tidlig 2000 tallet er det dette systemet som er generasjon tre av kunstgress som har vært primærvalget for kunstgressdekke. Dette dekket har ett stabiliserende lag med sand nederst før det benyttes støtdempende ifyll også kalt SBR. SBR er gamle bildekk som er kuttet opp til granulat [6].

Hvis kunstgressbanen har støtdempende lag under gresset er strålengden ofte 40-45 mm lange. Er det derimot ikke lagt støtdempende matte under gresset må strålengden være 55-60 mm for å gjøre plass til nok SBR for å oppfylle kravene til støtdemping [8].

2.2.2 System med olivenstein

Kunstgressanlegg som bruker olivenstein krever en annen oppbygning enn SBR-systemer. Ved feil oppbygning kan spilleflaten bli glatt, hard og vanskelig å spille på. Under selve gresset er det viktig med en god shockpad for å gjøre flaten spillbar. Teknologien som gjør det mulig å bruke olivenstein som ifyll kom først i 2016. Systemet benytter et tolags gressfiber av polyetylen, der det ene fiberet er kort og skaper fyll i matten, mens det andre er lengre og krøller seg over de korte stråene. Ifyllet fyller opp rommet mellom de korte stråene [7].

Olivenstein-systemer bruker sand som stabiliserende bunnsjikt og olivenstein som ytelses-ifyll øverst. Grunnen til at det legges et lag med olivenstein er ikke for økt støtdemping, men for å redusere friksjon mellom flate og spiller. Dempingen må løses gjennom shockpad [9]. Ifyllets egenskaper må alltid vurderes i sammenheng med øvrige systemkomponenter som fiberkonstruksjon, shockpad, vanning og eventuell undervarme. Den totale systemoppbygningen har avgjørende betydning for hvordan banen fungerer i praksis [10].

2.2.3 System med cellulosebelagt sand

Vanlig sand har ujevn overflate som sliter på kunstgresset og kan gi spillere skrubbsår ved fall og taklinger. Cellulosebelegget som legges rundt sandkornene jevner ut disse skarphetene, noe som beskytter gresset og samtidig øker komforten for spillerne. Cellulosebelagt sand består av 98% spesialbehandlet sand, og gir gode forhold for både spillersikkerhet og spilleopplevelse. Systemet benyttes i FIFA-godkjente anlegg for både bredde og elite [8].

I motsetning til olivensteinsystem er det ikke behov for et todelt ifyll. Ved bruk av cellulosebelagt sand utgjør dette det eneste ifyllet. Som for olivensteinsystemer er støtdemping nødvendig, ettersom ifyllet bidrar lite til dette. For at en kunstgressbane skal være godkjent til bruk, må den gjennom sertifisering etter enten FIFA Quality eller Nordic Standard. Begge standarder krever støtdemping mellom 55-70%

2.2.4 Shockpad

En plasstøpt dempematte anses å ha en levetid på 2–3 fibergenerasjoner, tilsvarende 20–30 år. Den økte investeringskostnaden dekkes inn gjennom lang levetid. Felles for alle dempematter er at de er perforert for å opprettholde systemets totale krav til vanngjennomstrømning [7].

Prefabrikkerte shockpads produseres typisk av XPE-skum (kryssbundet polyetylen). XPE er et gjenvunnet materiale med lang levetid og gode drenerende egenskaper. Materialet gir optimal

støtabsorbering og er en miljøvennlig og bærekraftig løsning [11].

2.3 Inneklima

Inneklima er et sammensatt begrep som beskriver den samlede miljøkvaliteten innendørs. Begrepet omfatter flere ulike bestanddeler som til sammen danner det vi oppfatter som innemiljø [12]. I faglitteratur brukes det syv hovedfaktorer innenfor samlebegrepet inneklima:

- **Termisk miljø:** bestemmes av lufttemperatur, vertikal temperaturgradient, strålingstemperatur, lufthastighet og luftfuktighet. Opplevelsen av det termiske miljøet påvirkes også av personlige faktorer som bekledning, oppholdstid, aktivitetsnivå og sinnstilstand.
- **Atmosfærisk miljø:** bestemmes av luftas innhold av gasser, lukter, kjemiske stoffer og partikler, og omtales ofte som luftkvalitet. Opplevelsen av atmosfærisk miljø påvirkes også av lufttemperatur og luftfuktighet.
- **Akustisk miljø:** bestemmes av lydtrykknivå for ulike frekvenser, etterklangstid, lavfrekvent støy og infralyd. Opplevelsen påvirkes også av hva rommet brukes til.
- **Aktinisk miljø:** også kalt strålingsmiljø, og bestemmes av belysningsnivå, dagslysnivå, lyskildenes fargeegenskaper samt blending og flimring fra lysrør. Radiobølger, elektriske felt og radioaktiv stråling hører også til dette miljøet.
- **Mekanisk miljø:** omfatter ergonomi, sittestilling, apparater og hjelpemidler i omgivelsene.
- **Estetisk miljø:** handler om hvorvidt man opplever omgivelsene som pene og trivelige, og er preget av store individuelle forskjeller.
- **Psykososialt miljø:** den mellomenneskelige faktoren i innemiljøet. Mistrivsel med personer i omgivelsene kan direkte påvirke hvordan man oppfatter det termiske miljøet.

Innenfor ventilasjonsteknikk rettes fokuset primært mot det termiske, atmosfæriske og akustiske miljøet, da disse i størst grad kan måles og påvirkes gjennom tekniske installasjoner. Det er likevel viktig å understreke at opplevelsen av inneklima også påvirkes av fysiologiske faktorer som alder og kjønn, samt psykologiske faktorer som dagsform og velvære. Et godt inneklima kan derfor defineres som et innemiljø der de målbare parameterne holder seg innenfor anbefalte grenseverdier, og der flest mulig brukere opplever miljøet som komfortabelt. Dette skal være i tråd med kravene i NS-ISO 7730, NS-EN 15251 og gjeldende norske forskrifter som TEK17 og Arbeidstilsynets veiledning 444 [12].

2.4 Målbare inneklimaparametere

Dette avsnittet har til hensikt å beskrive generelle målbare verdier for godt inneklima, basert på eksisterende litteratur og forskrifter.

2.4.1 Temperatur

Anbefalt temperatur for en isolert fotballhall er spesifisert til 12°C [4]. Videre blir dette også nevnt i bestemmelser for tilskudd til anlegg for idrett og fysisk aktivitet. For å kunne motta spillemidler til bygging av fotballhall må hallen være isolert så temperaturen ikke faller under 12°C. Dette er ikke et krav, men ansees som praksis ettersom spillemidler ofte er nødvendig for å kunne realisere bygget økonomisk. [6].

2.4.2 CO_2

Karbondioksid (CO_2) er en fargeløs gass som naturlig finnes i atmosfæren med en konsentrasjon på cirka 420 PPM. Innendørs produseres CO_2 primært gjennom menneskets utånding, og konsentrasjonen øker i takt med antall personer og aktivitetsnivå i rommet. CO_2 gir i seg selv ikke helseskader i de konsentrasjonene som normalt forekommer i bygninger, men benyttes som en indikator på luftutskiftningen. Et høyt CO_2 nivå indikerer at luftutskiftningen er for dårlig med tanke på personbelastningen i rommet [13].

Folkehelseinstituttet har satt 1000 PPM som norm for oppholdsrom. Denne verdien bør dermed ikke overskrides [13]. Tabell 2.3 viser effektene av ulike CO_2-konsentrasjoner.

Tabell 2.3: Sammendragstabell: CO_2-konsentrasjon og effekter

CO_2-nivå (ppm)	**Effekter**
$<$1000	Harmløs, ingen signifikant effekt på helse eller ytelse [14]
1000-2000	Milde symptomer; Hodepine, redusert konsentrasjon og kognitiv ytelse [15]
2000-5000	Signifikant reduksjon av kognitiv evne; søvnighet og redusert velvære [15]
$>$5000	Klare fysiologiske responser og redusert kognitiv funksjon; langvarig eksponering kan være helseskadelig [16]

I idrettshaller med høy personbelastning og intensiv fysisk aktivitet vil CO_2 produksjonen per

person være betydelig høyere enn i rom med stillesittende aktivitet. Dette skyldes økt pustefrekvens og utåndingsvolum ved høyere aktivitet. Dette stiller ekstraordinære krav til ventilasjonssystemets kapasitet og styring. TEK-17 angir at CO_2 kan benyttes som indikator på forurensning fra personer. Ved høyere aktivitetsnivå enn lett aktivitet må ventilasjonen endres tilsvarende [17].

2.4.3 Partikler og svevestøv

Svevestøv er en samlebetegnelse for luftbårne partikler. Partiklene klassifiseres etter størrelse, hvor de mest brukte er PM10 og PM2,5. Partikler som har størrelsen PM10 er mindre enn 10μm i diameter og PM2,5 er mindre enn 2,5μm. PM-størrelsene defineres videre ved at PM_{10} er alle partikler mindre enn 10 μm, og $PM_{2.5}$ er alle partikler mindre enn 2.5 μm [18].

Helserisikoen forbundet med svevestøv er i hovedsak knyttet til de som er 10μm eller mindre. Disse er inhalerbare og kan komme ned i de nedre luftveiene [18]. FHI har satt en maksverdi for svevestøv på størrelsen PM10 til 30μg/m^3 og 15μg/m^3 for PM2,5 over en 24 timers periode [19]. Partikler som kommer fra forbrenning er dominerende for de fine og ultrafine fraksjonene. Disse dominerer om vinteren nært trafikkerte veier [19].

I fotballhaller er det ofte mekanisk generert svevestøv som dominerer. Disse forekommer sannsynligvis fra ifyllet og kunstgresset [20]. Ved aktivitet virvles disse opp fra spilleflaten, dette kan gi forhøyede verdier i oppholdssonen. Studier på befolkningen har vist sammenheng mellom kortvarig eksponering til PM10 og PM2,5 og forverring av sykdom [19]. Studiet viser at det er de minste partiklene som har størst potensiell helserisiko.

For fotballhaller er det relevant å skille mellom partikler som tilføres utenfra via tilluften, og partikler som genereres innendørs. Ifyll, kunstgressfibre, spillere og rengjøring bidrar til innendørs forurensning. Et effektivt ventilasjonsanlegg med filtrering av tilluften vil redusere tilførselen av partikler fra uteluften, men vil ikke ha effekt på partikler som oppstår som følge av aktivitet på banen.

2.4.4 Fuktighet, kondens og duggpunkt

Relativ luftfuktighet angir mengden vanndamp i luften som en prosentandel av den maksimale mengden luften kan holde ved en gitt temperatur. Duggpunkt er den temperaturen luften må kjøles ned til for at vanndampen skal kondensere. På overflater som har lavere temperatur enn luftens duggpunkt vil det dannes kondens.

Relativ luftfuktighet bør helst ligge mellom 40-60%. For lav luftfuktighet kan gi tørre øyne og

svelg, mens for høy luftfuktighet kan bidra til problemer med lukt, mugg og bygningsskader [21]. Veksten av allergifremkallende støvmidd hemmes ved en luftfuktighet på cirka 45% [22], og en relativ luftfuktighet på over 70% kan være tilstrekkelig for muggvekst [23].

I fotballhaller er det ikke unaturlig at fuktbelastningen kan være betydelig. Spillere avgir fukt gjennom svetting og pust. Det er heller ikke uvanlig at kunstgress vannes jevnlig som tilfører mer fukt til luften. Vedvarende fukt og vekst av muggsopp på overflater innendørs eller i bygningskonstruksjonen må unngås [24].

For å vurdere risikoen for kondens er differansen mellom lufttemperaturen og duggpunktstemperaturen (ΔT) en sentral indikator. Typiske steder som har stor risiko for kondens er vegger, takbjelker og tekniske installasjoner. Jo mindre ΔT, desto høyere er risikoen for kondens på de kalde overflatene. I haller med stor fuktbelastning og uten tilstrekkelig luftutskiftning kan ΔT komme under 1°C. Når ΔT er så lav vil minimal avkjøling av en overflate utløse kondens. Dette vil kunne innebære store kondensproblemer i fotballhaller der veggene er tynne og temperaturen svinger i løpet av døgnet.

2.4.5 Radon og fuktsperre

I tillegg til fuktighet som produseres av spillere eller kommer fra eventuell vanning av kunstgresset, kan fukt fra grunnen også være en mulig kilde. TEK17 §13-10 sier: "*Rundt bygningsdeler under terreng og under gulvkonstruksjoner på bakken, skal det treffes nødvendige tiltak for å lede bort sigevann og hindre at fukt trenger inn i konstruksjonene*"[25]. Veileder for fotballhaller går ikke i detalj på fuktsikring, men understreker at eventuelle krav til radonsperre skal avklares med lokale bygningsmyndigheter [4]. I praksis kan i enkelte løsninger radonsperre også fungere som en fuktsperre og således hindre fuktinntrenging fra grunnen [26].

2.5 Ventilasjon

2.5.1 Luftmengder

Det finnes to ulike veiledere som omtaler hvilke luftmengder som bør legges til grunn under dimensjonering. Veileder for fotballhaller [4], viser til både TEK17 og veileder for idrettshaller [3].

Veileder for idrettshaller, som omhandler idrettsbygg generelt, anbefaler en luftmengde på 150 m^3/h pr person, i tillegg til en luftmengde på 7 m^3/h per m^2 for å dekke for emisjoner.

Enkel utregning for en typisk storhall er gjort nedenfor:

$$Q = A \cdot l_{em} + n \cdot l_p \tag{2.1}$$

Hvor A er areal av spilleflaten, l_{em} er luftmengde pr m^2, n er antall personer og l_p er luftmengde per person.

Dette vil i praksis medføre at en fotballhall med en typisk 11er-bane med størrelse 68x105 m vil måtte ventilere 49980 m^3/h, kun for å dekke emisjonstap. Med en personbelastning på 50 utøvere, vil dette tallet være 58980 m^3/h.

TEK17 kapittel 13-3 angir at tilførsel av friskluft på grunn av personbelastning med lett aktivitet er 26m^3 per time per person. Videre skal det ventileres 2,5 m^3/h per m^2 for å kompensere for emisjoner fra materialer, produkter og installasjoner når rommet er i bruk. Når rommet ikke er i bruk kan 0,7 m^3/h per m^2 benyttes, dersom materialene er lavemitterede [5]. Med den samme personbelastningen for en standard 11-er bane vil den totale luftmengden være 17850 + 1300. Samlet sett vil dette være 19150 m^3/h.

Tilsvarende øvelse er gjort for treningshaller, med en standard spilleflate på 40x60 m, for 50 personer.

Med TEK-17 sine krav skal det tilføres 6000 m^3/h for emisjoner og 1300 m^3/h for personbelastning. Med veileder for idrettshall sitt dimensjoneringsgrunnlag gir dette 16800 m^3/h og 7500 m^3/h for personbelastning.

Samlet for treningshaller blir forskjellen henholdsvis 7300 mot 24 300 m^3/h.

2.5.2 Ventilasjonsprinsipper

Videre i oppgaven benyttes det standardisert fargekoding for å indikere lufttilførsel, avtrekk og varmetilførsel. Blå piler representerer tilluft, røde piler representerer avtrekk og oransje piler representerer tilførsel av varme.

Naturlig ventilasjon

Naturlig ventilasjon er ventilering av bygg ved hjelp av naturlige effekter, primært oppdrift og vind. Her benyttes fri uteluft som tilluft uten mekanisk tilførsel, filtrering eller mengderegulering [12].

Ved naturlig ventilering er det to drivkrefter: temperaturforskjell (stack-effekten) og vindtrykk

(kryssventilasjon). Varm luft er lettere enn kald luft og stiger derfor oppover. Dette skaper trykkforskjeller inne i bygget som driver luftstrømmene. Når inne- og utetemperaturen er ulik, skapes det et nøytralt plan. Dette er et høydenivå der trykkforskjellen er lik null. Under dette planet siver kald, tyngre luft inn, mens varm, lett luft stiger opp og ut. Jo større temperaturforskjell det er mellom luften som kommer inn og den som går ut, jo mer sirkulasjon oppstår i luften. Luftmengden kan beregnes som en funksjon av temperaturforskjell, tyngdeakselerasjon og høydeforskjellen mellom åpningene [27].

Vindtrykk kan også bidra til omrøring i bygget. Vind skaper overtrykk på vindsiden og undertrykk på lesiden av bygget. Denne trykkforskjellen driver luft gjennom bygget fra den ene siden til den andre, og omtales gjerne som kryssventilasjon. Hvor stor denne sugeeffekten blir, avhenger av vindtrykkskoeffisienten, som er dimensjonsløs og avhenger av byggets form, vindretning og omgivelser [27].

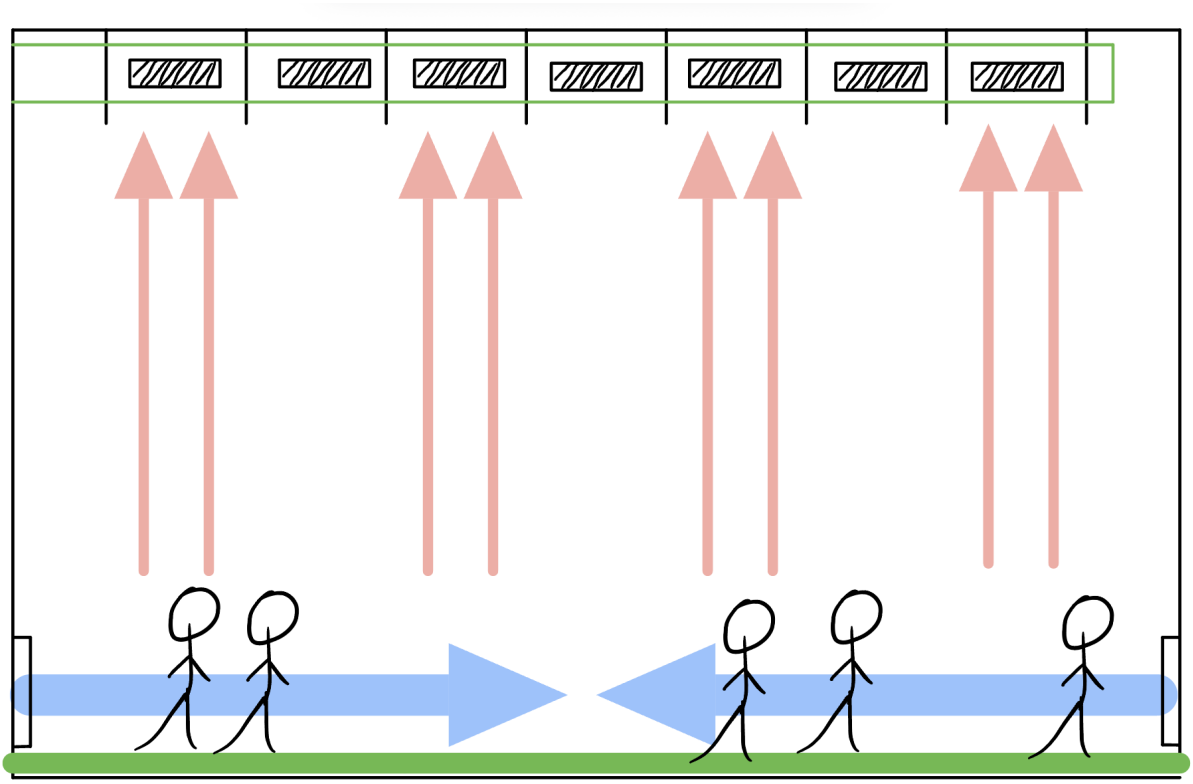
For bygningstyper hvor støv, avgasser og fukt produseres nede ved gulvflaten, er oppdriftsventilering særlig relevant. Oppdriften kan fremprovoseres med varmelementer i gulvet, som kan bidra til mer konstant luftutskiftning i driftsperioden. Naturlig ventilasjon benyttes gjerne der investeringskostnadene for mekaniske anlegg er uønsket høye, men gir til gjengjeld begrenset mulighet for styring og regulering av luftmengder [12].

Mekanisk ventilasjon

Mekanisk ventilasjon baserer seg på vifter som tilfører og/eller trekker ut luft. Viftene er ofte koblet til et kanalsystem og pakket inn i et aggregat. Ved mekanisk ventilasjon er det viktig å opprettholde trykk og balanse. En tilluftsvifte vil skape trykkøkning i rommet dersom det ikke finnes tilstrekkelig vei for den overflødige luften. Slik trykkdifferanse kan benyttes bevisst, blant annet for å hindre luftsmitte mellom rom. I normaltilfeller er det derimot ønskelig med balansert ventilasjon, der tilført luftmengde tilsvarer avtrekket [12].

Mekanisk ventilasjon gir mulighet til å holde inneklimaet på et tilnærmet konstant nivå uavhengig av værforhold, og muliggjør varmegjenvinning fra brukt luft. Ulempene er at anleggene krever plass til aggregater og kanalføringer, samt at feil prosjektering eller installasjon kan gi støy fra kanalnettet. Energibruken til aggregatdriften er høyere enn ved naturlig ventilasjon, men dette kan ofte kompenseres gjennom lavere oppvarmingskostnader [12]. De ulike formene for mekanisk ventilasjon er: fortrenging, omrøring og diffusventilering.

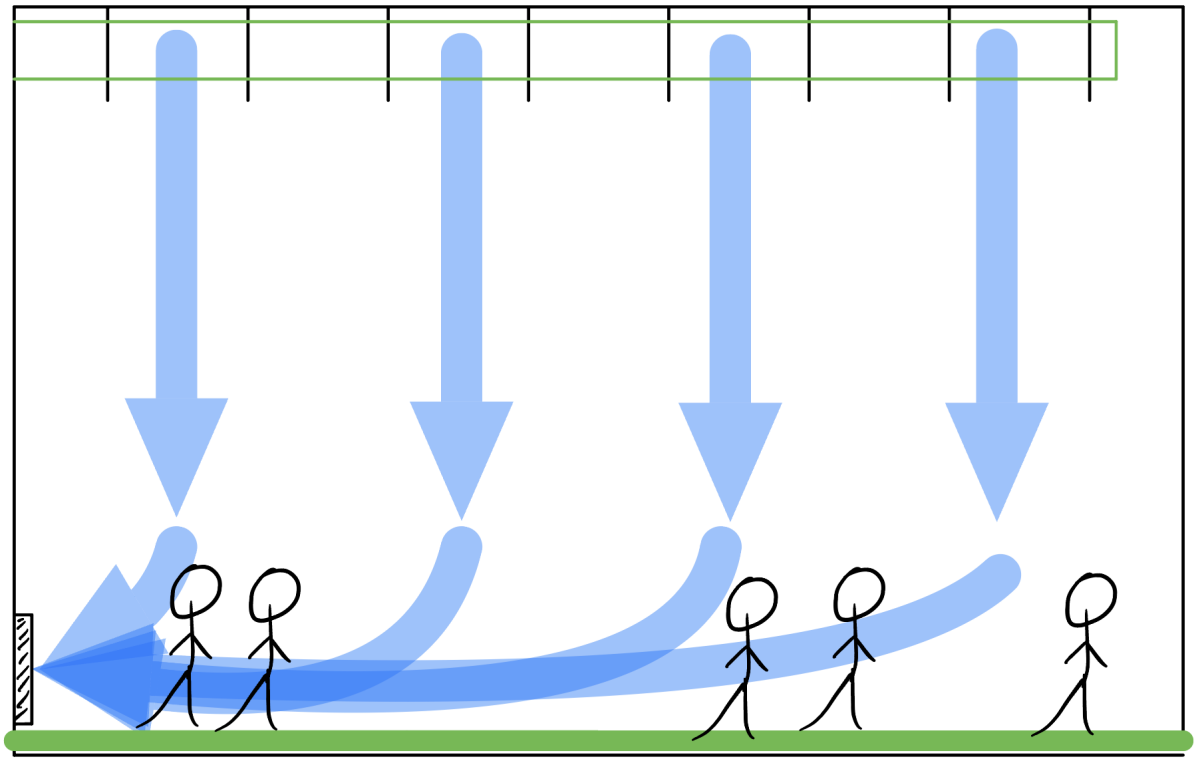
Fortregningsventilasjon



Figur 2.1: Visuell fremstilling av fortrengningsventilasjon

Ved tradisjonell fortregningsventilasjon tilføres frisk luft ved en lavere temperatur enn romtemperaturen, og innblåsingen skjer ved gulvnivå. Fordi den tilførte luften er kaldere enn luften som allerede befinner seg i rommet, legger den seg nederst. Etterhvert som det tilføres ny, kaldere luft, presses den eksisterende luften oppover. Avtrekket plasseres derfor høyt i rommet [12].

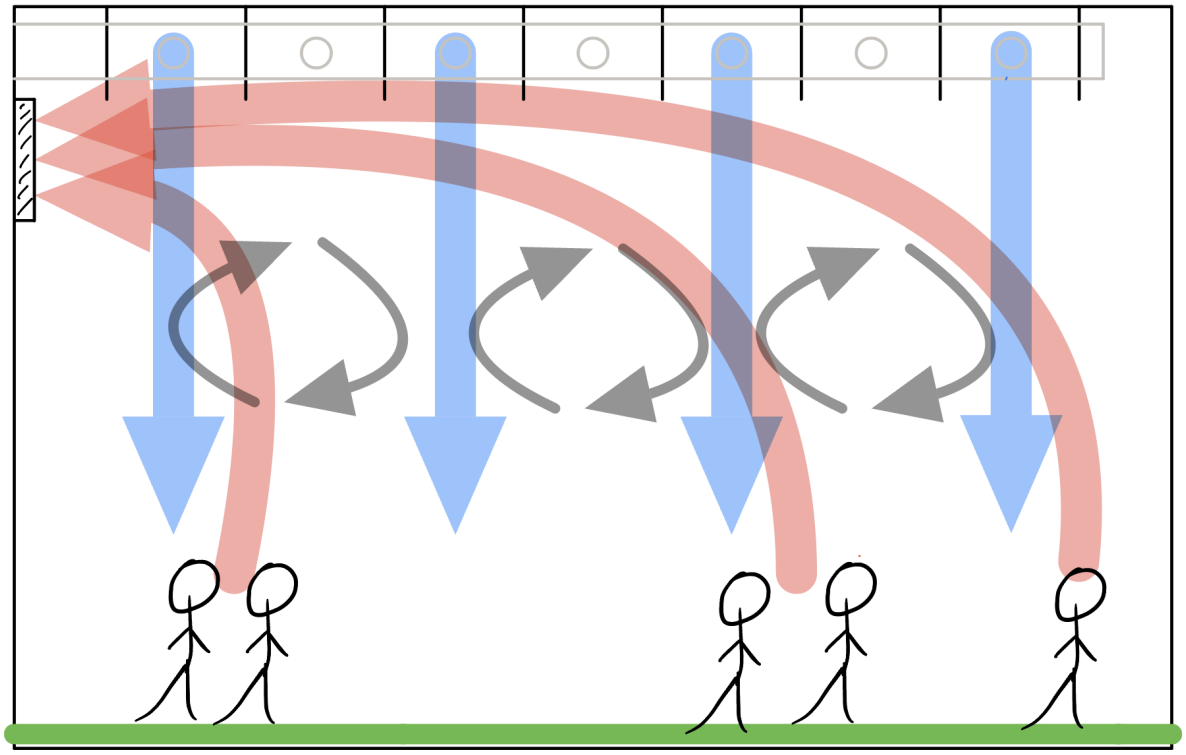
En fordel med dette prinsippet er at avgasser og CO_2 fjernes raskt fra oppholdssonen. Ulempen er at temperaturstyringen er sensitiv. Blir tilluften for kald, oppleves det som trekk ved beina for brukerne. Fortregningsventilasjon er også svært sensitiv for endringer i romoppsettet, ettersom møblering og romutforming direkte påvirker luftstrømmene. Personbelastning er en ytterligere utfordring, da luften må tilføres med svært lav hastighet for ikke å oppleves som trekk, noe som begrenser muligheten til å raskt øke luftmengdene ved høy belastning. Prinsippet benyttes derfor oftest der det er kritisk å fjerne farlige gasser og støv raskt ut av oppholdssonen [12].



Figur 2.2: Visuell fremstilling av stempel ventilasjon

Omvendt fortregningsventilasjon, også kalt stempelventilasjon, er en variant der luften tilføres ved taket og suges ut langs bakken. Den friske tilluften er vesentlig kaldere enn romtemperaturen og faller derfor som et teppe nedover mot gulvet, hvor luften fjernes. Dette prinsippet er gunstig der det er kritisk at støv eller gasser som er tyngre enn luft ikke virvles opp i oppholdssonen. Stempelventilasjon er ikke like sensitiv for personbelastning, men krever svært nøyaktig temperaturregulering. Dersom temperaturen er for høy, vil det ikke skje tilstrekkelig luftutskiftning i oppholdssonen; er den for lav, oppleves det som trekk. Det er også viktig at tillufthastigheten er lav, slik at det ikke skapes omrøring i rommet [12].

Omrøringsventilasjon

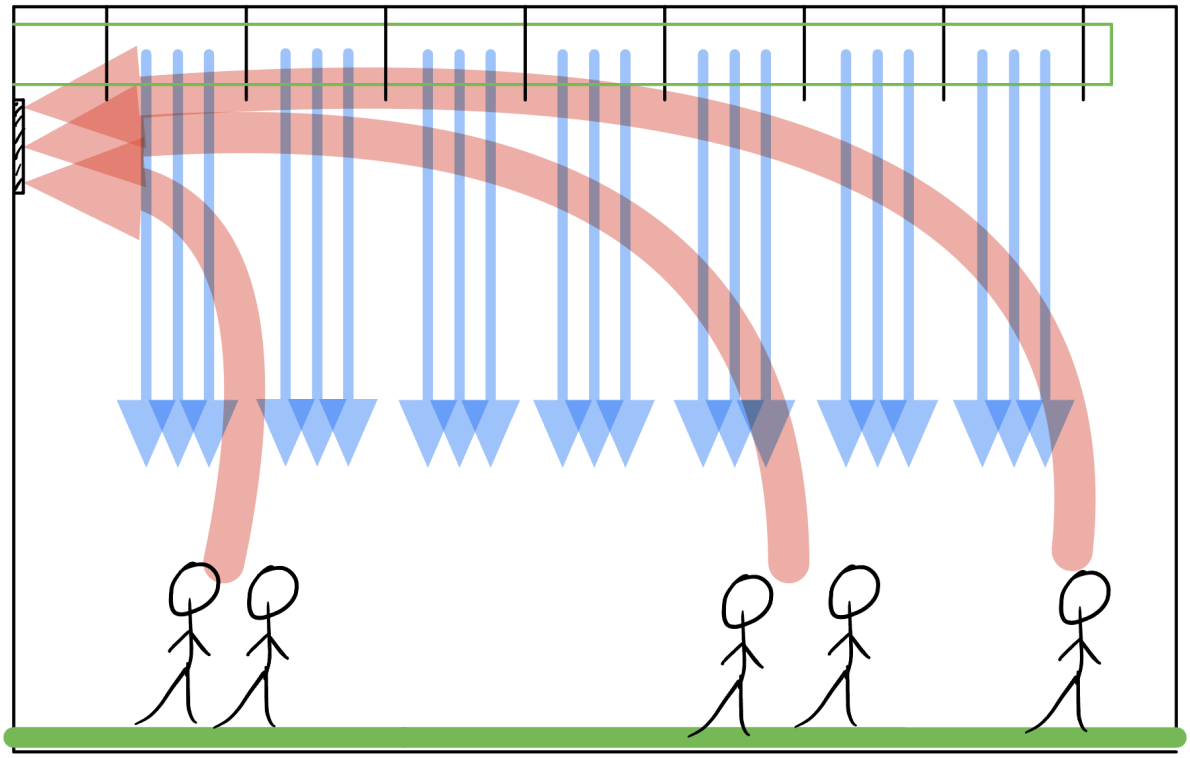


Figur 2.3: Visuell fremstilling av omrøringsventilasjon

Omrøringsventilasjon, eller fortynningsventilasjon, er et av de mest utbredte ventilasjonsprinsippene. Her tilføres luften med relativt høy hastighet for å skape turbulente luftstrømmer i hele rommet. Hensikten er å tynne ut forurensninger i romluften til et lavt nivå. Tilluft og avtrekk er begge plassert høyt i rommet, og det er derfor viktig at det ikke oppstår kortslutning mellom disse. Kortslutning kan oppstå dersom hastigheten er for lav eller temperaturen på tilluften er for høy. Prinsippet er det enkleste å installere og den mest fleksible metoden, da det enkelt tilpasses endringer i personbelastning og romoppsett [12].

De fleste fotballhaller benytter omrøringsprinsippet. Det store volumet i hallene gjør det praktisk å plassere kanalene høyt oppe, der de også er vanskeligere å skade av fotballer som kommer på avveie. Det store volumet kan derimot gjøre omrøringen utfordrende, ettersom kastelengden fra tak til spilleflate er lang. Dette stiller krav til tilstrekkelig luftmengde og riktig tilluftstemperatur for å sikre at luften når oppholdssonen [12].

Diffus ventilering



Figur 2.4: Visuell fremstilling av diffusventilasjon

Diffus ventilering er et prinsipp der tilluften tilføres med lav hastighet gjennom mange små åpninger fordelt over et større areal, typisk tekstilkanaler. Fordi luften fordeles over en stor flate, er tilluftshastigheten så lav at det ikke skapes merkbar luftbevegelse i oppholdssonen. Dette skiller seg fra omrøringsventilasjon, der tilluften tilføres med høy hastighet for å skape turbulens i rommet [12].

Prinsippet bygger på at den tilførte luften har en lavere temperatur enn den eksisterende romluften. Den kalde og tyngre luften synker sakte nedover mot oppholdssonen og fortrenger den varme, brukte luften oppover. Dette skaper en naturlig lagdeling i luften, der den friskeste luften befinner seg i oppholdssonen og den forurensede luften samler seg under taket. Avtrekket plasseres høyt under taket for å fjerne den varme, forurensede luften [12].

En viktig begrensning ved diffusventilering er at prinsippet er svært sensitivt for temperaturen på tilluften. Dersom tilluften er for varm, vil den stige opp til taket og trekkes rett ut via avtrekket, uten at den friske luften når oppholdssonen. For å unngå dette stilles det krav til varme- og kjølebatteri i aggregatet, samt et SD-anlegg som klarer å holde tilluftstemperaturen innenfor et smalt temperaturområde [12].

2.6 Energibruk

Denne oppgaven vil ikke ta for seg detaljerte energiberegninger for hver enkelt hall. I stedet presenteres prinsipielle metoder for oppvarming som kan benyttes i fotballhaller. Formålet er å belyse grunnleggende forskjeller ved ulike løsninger, samt hvilke begrensninger og styrker de har i slike bygg.

2.6.1 Oppvarming

I veileder for fotballhaller presiseres det at selve hallen med aktivitetsflate etter TEK 17 [28] kan defineres som et bygg med tiltenkt temperatur under 15 C°, og således kan fritas for energikravene såfremt energibehovet holdes under et forsvarlig nivå. Dette innebærer også at transmisjonsvarmetapet ikke skal overstige det som er tillat i vanlige oppvarmede bygg. [4]

Det finnes ulike metoder å varme opp bygg på, under presenteres løsningene som er relevante for hallene i oppgaven.

Oppvarming via ventilasjon

Dersom hallen benytter mekanisk ventilasjon kan oppvarming av tilluft benyttes som løsning. Praktisk vil dette si at man plasserer et varmebatteri i aggregatet, som overfører varme til friskluften som tilføres. Denne løsningen er vanlig i nyere bygg med balansert ventilasjon. I fotballhaller vil denne løsningen kunne være utfordrende dersom kanaler plasseres for høyt, ettersom man risikerer at den tempererte luften ikke når oppholdssonen. Dette er spesielt utfordrende dersom avtrekket også plasseres høyt, da det øker risikoen for kortslutning.

Oppvarming via gassdrevne ovner

Bruk av frittstående gassdrevne ovner som tilfører varme til luften er en av løsningene som ble benyttet. Disse kan styres enten manuelt eller automatisk på temperatur. I hallene som er blitt brukt i denne oppgaven har det vært montert gassbrennere på bærekonstruksjonen i hjørnene av hallen.

Aerotempere

Aerotempere fungerer som en varmeovn, men er utstyrt med en vifte og retningsbestemte riller som kan skyte varmluften ut til oppholdssonen. Disse plasseres gjerne langs langsidene, og varierer i antall basert på hallens størrelse.



(a) Gassdreven ovn



(b) Aerotemper. Illustrasjonsbilde, hentet fra [29]

Figur 2.5: Oppvarming av fotballhall

2.6.2 Varmegjenvinner

I moderne ventilasjonsaggregat finnes det krav til varmegjenvinnere, og her er det primært to alternativ; Enten roterende varmegjenvinner eller plateveksler. En roterende varmegjenvinner vil lades opp med varme fra avkastet før den roterer rundt og avgir denne varmen til den friske luften. Dette skjer med en kontinuerlig rotasjon på gjenvinneren. Gjenvinneren er bygget opp som et stort roterende hjul [12].

Inne i dette hjulet er det mange bitte små kanaler som luften strømmer gjennom. Dette er den mest effektive gjenvinneren og kan ha opp mot 80% gjenvinningsgrad. I motsetning vil en plateveksler som kan ha opp til 65%. Den roterende gjenvinneren har en åpenbar svakhet, da den kan overføre uren luft og fuktsmitte fra avkast til friskluftstilførselen. Dette gjør at den ikke egner seg i bygg med svært høy luftfuktighet eller der det er kritisk med luftsmitte fra gammel til frisk luft [12].

Plateveksler er derimot bedre egnet der det er høy luftfuktighet og det er et ønske om å tørke ut luften. Her får du tilført varme til den friske luften uten at det blir påført ekstra fukt. I en plateveksler er det lett for at det blir mye kondens og det er derfor viktig at det tilrettelegges for avløp fra plateveksleren. På grunn av den lavere utnyttelsesgraden på maksimalt 65% benytte plateveksler hovedsakelig der det er utfordrende inneklima [12].

2.6.3 Driftsstrategier

Styring i denne oppgaven er begrenset til og omfatter hvordan anlegget eksempelvis bestemmer luftmengder, temperatur og driftstider. Man skiller gjerne mellom behovsstyring og tidsstyring, og hvilken type styring som fungerer best avhenger av bruksmønster og tiltenkt formål for anlegget. I praksis benyttes ofte en av strategiene, samt kombinasjoner av disse. Under oppsummeres grunnleggende forskjeller, samt fordeler og ulemper med begge måtene å drifte et anlegg på.

Behovsstyring

Behovsstyring er konseptuelt utformet slik at anleggene styres etter parametere som måles og blir gitt som tilbakemelding til styringsenheter på anleggene. Eksempelvis kan slike parametere være CO_2-konsentrasjon eller temperatur. Dette kan gjøres både automatisk og manuelt, men manuell overstyring krever god kjennskap til anlegg og bruksmønster, samt tilstedeværelse for å gjøre endringene. Automatisk styring gjøres gjerne via et SD-anlegg som tar inn verdier og styrer anlegget basert på dette. For at denne strategien skal fungere, forutsettes det hensiktsmessig plassering av sensorer, riktige settpunkter og stabil drift/innregulering.

Tidsstyring

Tidsstyring er basert på forhåndsinnstilte tidspunkt hvor en gitt funksjon på anlegget skal virke. Dette kan eksempelvis være at det skal ventileres med høyere luftmengder på dag/ettermiddag, før anlegget justeres ned på natten. Dette kan spare energi, ved at man har et anlegg som ikke går for fullt ved tom hall.

Fordeler og ulemper

Det er mange måter å styre et anlegg på, og det er gjerne økonomi, ønsker fra byggherre og tekniske krav som setter føring for hvordan anleggene skal utformes. Man kan selvfølgelig også styre anlegget etter begge og/eller flere prinsipper. Tabell 2.4 oppsummerer kort noen fordeler og ulemper ved de forskjellige styreformene.

Tabell 2.4: Overordnet sammenlikning av driftsstrategier for VVS-anlegg.

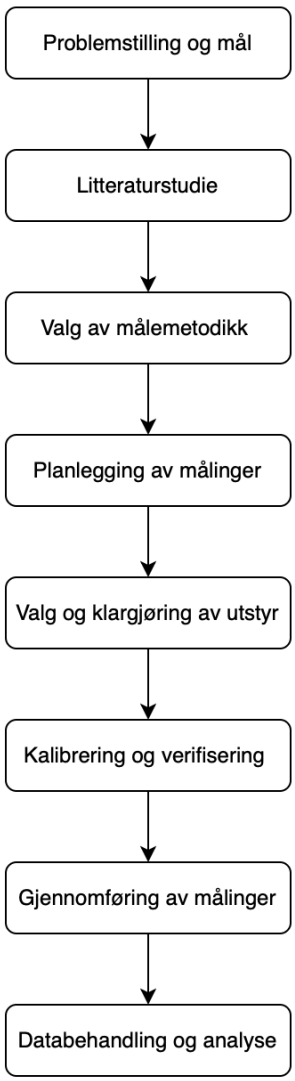
Strategi	**Styring (prinsipp)**	**Fordeler**	**Ulemper**
Tidsstyring	Fast drift etter klokkeslett/ aktivitetsplan. (Oppstart/nedstengning, evt. justering)	Enkel og driftsikker. Forutsigbar ved stabil bruk.	Kan bomme ved variabel bruk eller avvik fra satt plan.
Behovsstyring	Styres etter målt signal (CO_2, temperatur, eventuelt fuktighet) via SD-anlegg.	Automatisk tilpasning til variabel bruk. Håndterer endringer fortløpende. Kan redusere unødvendig drift.	Krever sensorer og god sensorplassering. Ofte flere komponenter. Kan ha treghet i systemet.
Hybrid	Grunnventilasjon med tidsstyring, og behovsstyring for å håndtere økt/lavere bruksperioder.	Reduserer unødvendig driftstid. Kombinerer robusthet og fleksibilitet.	Mer kompleks logistikk og drift.

3 Metode

Figur 3.1 beskriver arbeidsflyten fra etablering av problemstilling, resultat- og effektmål. Det ble etter defineringen av oppgaven og problemstillingen utført litteraturstudie på relevante kilder. Dette innebærte tidligere veiledere, tekniske forskrifter og tidligere bachelor/masteroppgaver for å kartlegge allerede tilgjengelig informasjon.

Videre ble målemetodikken, herunder planlegging av målepunkter og valg av utstyr. Videre ble utstyret kalibrert og verifisert. I denne fasen ble også testobjektene kontaktet, slik at nødvendige tilganger, og datoer for innsamling ble kartlagt.

Den siste delen av feltarbeidet bestod av gjennomføring og innsamling av data fra feltarbeidet. Til slutt ble dataene lagret og klargjort for analyse.



Figur 3.1: Arbeidsflyt under arbeidet

Det er viktig å presisere at oppgaven er gjennomført som en feltstudie, som viser faktiske forhold under reell drift. Dette innebærer at enkelte variabler, som personbelastning, aktivitetsnivå og bruksmønster ikke har vært mulig å kontrollere fullt ut.

Dette er å betrakte som en avveining, da hensikten med oppgaven var å analysere hvordan inneklima påvirkes av faktiske, og ikke idealiserte forhold. Dette gir et mer realistisk bilde av faktisk drift, men kan gjøre det mer utfordrende å isolere enkeltvariabler.

3.1 Litteraturstudier

Litteratursøket i denne oppgaven ble gjort for å danne et rammeverk i teorien for analyse av de ulike måleparameterene. Dette innebar å finne grenseverdier for målingene, slik at en forståelse av godt inneklima kan etableres. Videre ble det foretatt søk i eksisterende relevante veiledere og forskrifter, primært utgitt de siste 10 årene. Det ble også gjort søk i tidligere oppgaver som kunne være relevante for vår problemstilling. Søket ble hovedsakelig gjort på nettet, samt via SCOPUS. Offentlige veiledere og fagfellevurderte artikler ble benyttet som hovedkilder under arbeidet.

3.2 Måleutstyr

Under presenteres en uttømmende liste over utstyr som ble benyttet under feltarbeidet til oppgaven. Videre presenteres målesensorene, samt kalibreringsprosessen for hver enkelt sensor.

- Easylogger (Temperatur- og RF%-logger)
- CO_2-logger
- Basestasjon
- Håndholdt partikkelmåler
- Telt

3.2.1 Aerotrak TSI

Partikkelmålingene ble utført med en Aerotrak TSI, som er en optisk partikkelteller. Instrumentet måler luftbårne partikler i størrelsesområdet 0,3 til 10 μm. Målingene gjennomføres med en prøvetakingsluftmengde på 2,83 L/min (0,1 CFM), i henhold til ISO 21501-4. [30]



Figur 3.2: Aerotrak TSI - Håndholdt partikkelmåler [30]

Instrumentet måler da altså antall partikler per prøvetakingsvolum, som for våre forsøk var 1 minutt.

Siden rådata fra målingene blir oppgitt som antall partikler per prøvetakingsvolum, blir dette omregnet til partikkelkonsentrasjon pr m^3. Dette gjøres ved å dividere måleverdiene på 0,0028.

3.2.2 Wireless CO_2-sensor

CO_2-målingene ble utført med en trådløs klimasensor av typen Wireless Value DLCcl. Sensoren måler tre parametere simultant: CO_2-konsentrasjon, temperatur og relativ luftfuktighet. Måleresultatene overføres trådløst til en basestasjon, hvorfra dataene kan benyttes til overvåking og analyse. Sensoren er batteridrevet og har en levetid på over 10 år uten batteribytte.[31]

3.2.3 Easylog EL-USB-2+

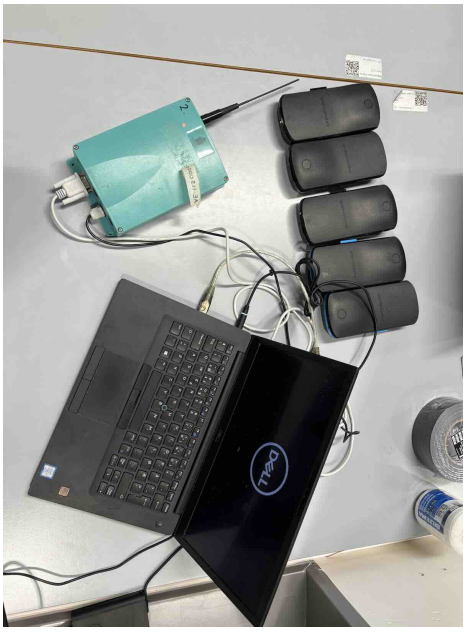
Temperatur og relativ fuktighet ble logget med en EasyLog EL-USB-2+ fra Lascar Electronics. Loggeren måler temperatur i området -35°C til 80°C med en nøyaktighet på $\pm 0.45\,^{\circ}\mathrm{C}$, og relativ luftfuktighet i området 0% til 100% med en nøyaktighet på $\pm 2.0\,\%\mathrm{RH}$. Loggingsintervallet er brukerstyrt og kan settes fra 10 sekunder til 12 timer. Loggeren kan lagre over 16 000 målinger og kobles til en PC via USB for nedlasting og analyse av data gjennom medfølgende EasyLog-programvare. Loggeren måler ikke duggpunkt direkte, men duggpunktstemperaturen beregnes fra de målte verdiene for temperatur og relativ luftfuktighet innad i sensoren. [32]

3.2.4 Kalibrering

En essensiell forberedelse før slikt feltarbeid er å kvalitetssikre at målingene ble gjort under tilsvarende forhold, med utstyr som er kalibrert riktig.

Easylog-sensorene var helt nye, disse ble skrudd på og lagt ved siden av hverandre. Her ble de liggende i 20 til 30 minutter før de ble stoppet, og dataen ble innhentet. Disse målingene var tilnærmet like. Fordi det blir brukt 10 målere per hall er det mulig å feilsøke målerne etter en måleserie, ved å sammenlikne de mot hverandre. De samme 10 målerene ble brukt på samme punkt i hver hall for å minimere avvik. Det er ingen egen kalibreringsfunksjon på disse sensorene så testen var for å avgjøre om noen av sensorene var helt ute av synk før de ble brukt.

Det var ikke mulig å få tak i en sporbar referansemåling med absolutt CO_2 verdi. Derfor ble sensorene kalibrert mot hverandre. På denne måten vil det være mulig å se CO_2 trenden i bygget for å sammenligne anlegg mot hverandre, men den absolutte CO_2 verdien for hver arena må tolkes med forsiktighet.

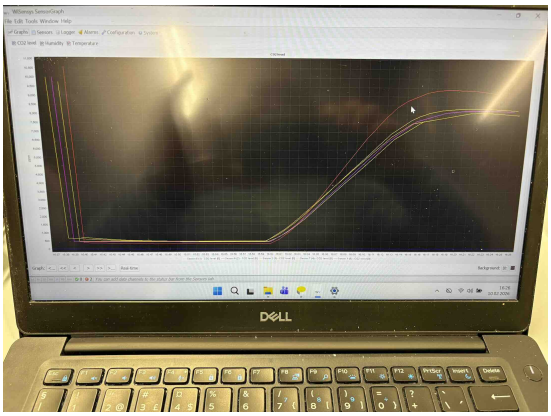


Figur 3.3: Kalibrering normalverdier

Disse sensorene har en funksjon hvor de kan kalibreres opp mot høyeste og laveste målte verdi. For å samle verdier til kalibreringen ble sensorene lagt et sted hvor det var antatt lav CO_2-forurensning. Her ble de liggende i 30 minutter. Under denne kalibreringsfasen ble det satt opp ett telt hvor en av kandidatene la seg inn for å øke CO_2 konsentrasjonen betydelig. Etter 30 minutter ble sensorene flyttet inn i teltet hvor CO_2 konsentrasjonen var høy. Her ble de liggende i 30 minutter til.



Figur 3.4: Kalibrering ekstremverdi



Figur 3.5: Bilde av kalibreringsgrafen

Etter denne måleserien ble dataen fra hver sensor sortert i et Excel dokument. Her ble høyeste og laveste verdi for hver sensor samlet og brukt til å regne ut en gjennomsnittlig lav verdi og en gjennomsnittlig høy verdi. Disse verdiene ble brukt til å kalibrere målerne slik at de hadde samme grunnverdi før de ble brukt.

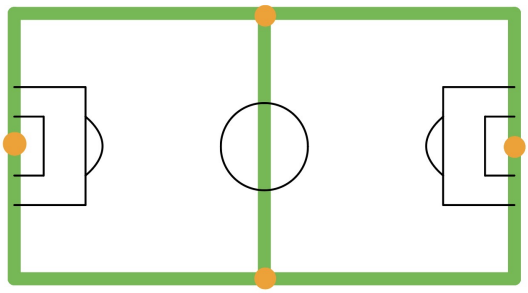
Etter forsøket ble det gjennomført en korrigeringsmåling for å verifisere sensorenes målenøyaktighet. Målingen bekreftet at sensorene fortsatt hadde et lavt, men konsistent avvik seg imellom. Grunnet tidsbegrensninger ble det ikke foretatt ny kalibrering under flytting fra et testobjekt til et annet. Dette ble heller ikke ansett som nødvendig, ettersom det målte spriket var tilstrekkelig lite til at det ikke ville ha en betydelig innvirkning på resultatene.

3.3 Måling

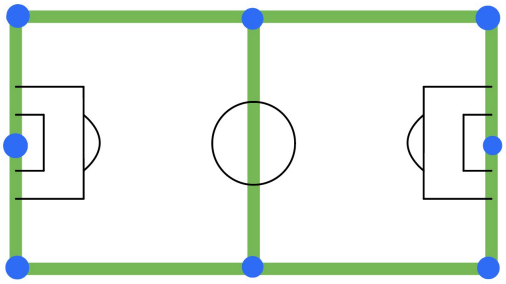
Måleprosessen ble standardisert for alle hallene og ble gjennomført i tidsperioden 11. februar–17. mars. Dette tidsrommet ble valgt da det er mest relevant å måle en fotballhall i perioden hvor hallene blir mest brukt og utesesongen ikke har startet.

3.3.1 Måleplan

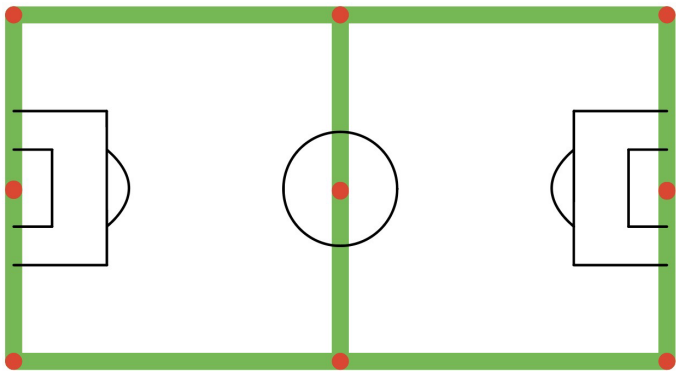
Før oppstart av måleperioden ble det utarbeidet en standardisert mal for oppsett av måleutstyr og målepunkter for partikler. En slik mal var nødvendig for å sikre at måleprosessen ble gjennomført på samme måte i hver hall, slik at resultatene er sammenlignbare på tvers av forsøkene.



Figur 3.6: Plassering av CO_2 målere



Figur 3.7: Plassering av Easyloggere



Figur 3.8: Punkter for støvmåling

3.3.2 Easylog

Easylog-sensorene ble plassert på begge kortsider og langsider. Se figur 3.7 ovenfor. På hver kortside ble det montert én måler, som fikk henge fra bjelkelaget i taket. På hver langside ble det plassert tre målere, én i hvert hjørne og én på midtlinjen, slik at det ble jevnt mellomrom mellom alle sensorene. Disse hang også i bjelkelaget der det lot seg gjøre. Dette gir et helhetlig bilde av temperaturfordelingen i rommet og gjør det mulig å kartlegge eventuelle forskjeller i varmestrømmen.

Ønskelig plassering for sensorene er så nært spilleflaten som mulig. For å få til dette ble det festet hyssing til hver sensor med gaffateip, før nøstet ble kastet over takbjelkene i hallen. Sensorene ble deretter heist helt opp under takbjelken, og hyssingen ble festet med gaffateip høyt opp på nærmeste vegg. Dette gjør det enkelt å heise sensorene opp og ned med stige. Ved å henge sensorene fritt i luften unngår man at temperaturen påvirkes av en kald yttervegg, og sensoren unngår kondens fra en potensielt fuktig vegg.

Det ble også plassert to sensorer utendørs for å kunne kryssreferere målingene og benytte snittet av disse. Sensorene utendørs ble som regel plassert på tak ved mesanin eller aggregat, slik at de var utilgjengelige for forbipasserende.

3.3.3 CO_2-målere

CO_2-målerene ble montert på vegg på hver kortside, bak mål og ved midtlinjen. De ble hengt høyt nok til å være utilgjengelige for hallens brukere, og plassert slik at de i minst mulig grad var eksponert for fotballer som eventuelt ble sparket i deres retning. Easylog-sensorene på kortsiden ble plassert relativt nært CO_2-måleren, men uten at de to påvirker hverandres målinger. Se figur 3.6 for plassering.

CO_2-målerne måtte festes direkte på vegg, da størrelsen og fasongen deres gjorde oppheng med hyssing upraktisk. De ble montert så høyt som mulig ved hjelp av stiger lånt fra hallene. Der det lot seg gjøre ble målerne i tillegg plassert bak skråstag eller i hjørner mellom bjelke og vegg, for å gi best mulig beskyttelse mot ballspark.

3.3.4 Partikkelmålinger

I tillegg til sensorene som målte over lengre tid, ble det gjennomført punktvise partikkelmålinger på banen og utenfor hallen se figur 3.8. Den samme partikkelmåleren ble benyttet ved alle målinger. Vi hadde ingen mulighet til å kalibrere denne måleren selv, men ved å bruke

samme instrument i alle hallene og passe på at den ikke ble brukt i ugunstig miljø under hele datainnsamlingsperioden, anses målingene som sammenlignbare på tvers av hallene.

Det ble tatt ni målinger inne på banen. Figur 3.8 viser målepunktene. Disse er fordelt jevnt utover spilleflaten for å få et helhetlig bilde av partikkelnivået. Målingene ble tatt i hode-høyde i den hensikt å fange opp partikler i oppholdssonen. Det ble også tatt referansemålinger rett utenfor hallen, for å vurdere både hvor effektivt ventilasjonsanlegget filtrerer bort partikler utenfra, og om uteluft bidrar til økte partikkelnivåer inne.

Målingene er inndelt i to; en måling uten aktivitet i hallen, og en måling rett etter aktivitet. Grunnet ulike aktivitetsplaner har det ikke vært mulig å få samme antall personer under eller rett etter aktivitet i hallen, mens alle målinger uten aktivitet i større grad er sammenlignbare. Aktiviteten deles inn i følgende:

- Ingen aktivitet: 0 personer tilstede
- Lett aktivitet: 0–15 personer som benytter banen
- Moderat aktivitet: 15–50 personer som benytter banen
- Høy aktivitet: 50 eller flere personer spillende eller til stede

3.3.5 PC og basestasjon

Siden CO_2-målerne sender data live og har begrenset intern lagring, krever de tilkobling til en PC for datainnsamling. Både PC og basestasjon krever permanent strømtilkobling, og plasseringen ble derfor alltid styrt av hvor strømtilgangen var. Der mesanin var tilgjengelig ble denne benyttet, da det typisk er strømtilgang der. Området er også helt utilgjengelig for hallens brukere. Basestasjonen har begrenset rekkevidde og må stå i nærheten av, og helst inne i, hallen, noe som gjør mesaninen til et naturlig valg. Der mesanin ikke var tilgjengelig ble hallkontor eller andre deler av hallen benyttet. Det ble også brukt skjøteledninger for å trekke strøm til gunstige plasseringer.



Figur 3.9: Plassering av basestasjon i hall

3.4 Databehandling og analyse

Med så store datasett kreves det god strukturering og riktig fremstilling for at det skal være nyttbart. Derfor er det laget en fremstillingsmal som forklarer hvordan og hvorfor dataen er presentert som den er. Dataen er hentet som CSV-filer fra alle loggere bortsett fra partikkelmålingene. Disse ble innført i datasett manuelt. Manuell innføring innebærer en risiko for feilinnføring, men datasettene er i ettertid ettergått og kontrollert for å avdekke eventuelle feil. Analyseverktøyet som ble benyttet var Excel og Power Query, og all rådata legges ved som vedlegg til oppgaven.

3.4.1 CO_2-målinger - Analyse av data

Dataene er presentert i et intervall fra 300 PPM til 1500 PPM. Dette gjøres konsistent for alle testobjektene, slik at det er mulig å sammenligne forskjeller mellom objektene. I tilfeller hvor intervallet er for stort, og dermed gir dårlig lesbarhet, er det tillagt en graf med et mindre intervall. Dette for å sikre at forskjeller i måleseriene kommer tydelig fram. X-aksen viser tidspunkt for målingene, Y-aksen viser CO_2-konsentrasjon målt i PPM. Dataene er behandlet slik at de er hentet ut i 15-minutters intervaller fra sensoren. Det er da gjennomsnittet i de 15 minuttene som betraktes som ett enkelt målepunkt i grafene.

3.4.2 Temperatur, fuktighet og duggpunkt - Analyse av data

All data som omhandler temperatur, relativ luftfuktighet og duggpunkt er hentet fra easyloggerne som er plassert på kortside og langside i hallene. Grafene skiller mellom målepunkt, tidspunkt, og verdi for målingene.

3.4.3 Temperatur og duggpunkt - Analyse av data

Temperatur presenteres for alle haller med et intervall fra kaldeste temperatur målt ute, til varmeste temperatur målt inne. Referansemålinger for utetemperatur er inkludert i temperaturgrafene for å vise sammenheng mellom ute- og innetemperatur. Duggpunkt og temperatur samles i en og samme graf for å avdekke eventuelle problemområder. Dette gjøres ved å ta gjennomsnitt av temperatur og duggpunkt for alle innendørs målinger.

3.4.4 Relativ luftfuktighet - Analyse av data

Relativ luftfuktighet presenteres i et intervall fra 0 til 100, hvor en verdi i grafen tilsvarer 1 prosent luftfuktighet. Referansemålinger er inkludert i grafene for å kunne vise eventuelle sammenhenger mellom fuktighet inne og ute.

3.4.5 Partikkelmålinger - Analyse av data

Partikkelmålinger ble gjennomført i henhold til måleplan. Rådataene ble deretter prosessert ved å beregne en gjennomsnittsmåling av de ni innendørspunktene, og deretter sammenlignet med en enkelt referansemåling utenfor hver hall.

I litteraturen er det normalt at luftbårne partikler skilles mellom $PM_{2.5}$ og PM_{10}. For $PM_{2.5}$ er dette alle partikler mindre enn eller lik 2.5 μm, og for PM_{10} alle partikler mindre enn eller lik 10 μm, se kapittel 2.4.3.

Instrumentet som benyttes under oppgaven skiller ikke mellom $PM_{2.5}$ og PM_{10}, men måler partikkelkonsentrasjonen innenfor gitte størrelsesintervaller.

Derfor omtales fine partikler som partikler i intervallet $N_{0.3-1.0}$ μm og grovere partikler i intervallet $N_{1.0-10}$ μm. Denne inndelingen avviker fra standard PM-definisjoner, men gir et hensiktsmessig grunnlag for å kunne analysere relative forskjeller i partikkelfordeling direkte.

Måleren rapporterer differensierte målekanaler ($\Delta/\#$), der hver måleverdi representerer antall partikler i et spesifikt størrelsesintervall. For eksempel vil dette si at når måleren oppgir antall partikler i kanalen $N_{0.3}$, viser den antall partikler målt fra $N_{0.3-0.5}$, og når den oppgir $N_{0.5}$ viser den antallet partikler målt i intervallet $N_{0.5-1}$.

Dette gir partikkelkonsentrasjonen innenfor hvert størrelsesintervall, og sikrer at hver partikkel kun telles én gang.



Figur 3.10: Eksempelbilde - Partikkelmåling

Omregning av partikkelkonsentrasjon til massekonsentrasjon

Det er gjennomført en omregning av partikkelkonsentrasjon i $antall/m^3$ til $masse/m^3$. Dette gjøres for å gi en indikativ verdi som muliggjør sammenligning med etablerte referanseverdier for svevestøv.

Omregningen er basert på antagelse om sfæriske partikler, med en representativ verdi innenfor hvert måleintervall.

Formel for volum av en kule/sfære:

$$V = \frac{4}{3}\pi r^3 = \frac{1}{6}\pi d^3 \tag{3.1}$$

Videre må massetettheten antas, da partikkelsammensetningen i luften ikke er bestemt. Dette utgjør en betydelig usikkerhet i utregningen. Effektiv tetthet for polymerbaserte partikler er målt til omtrent 1.49 g/cm^3 [33]. Målinger av svevestøv utendørs viser typiske verdier fra 1.1 til 1.7 g/cm^3. [34] Videre viser litteratur at tettheten for innendørs partikler ligger mellom 0.5-3 g/cm^3, med et mer realistisk område på 0.9 - 1.5 g/cm^3[35].

Dette indikerer at tettheten til luftbårne partikler ligger i et intervall mellom 1-2 g/cm^3, avhengig av partikkeltype og sammensetning. Derfor benyttes en representativ verdi på 1,2 g/cm^3 for videre utregning. Den valgte verdien en forenkling, og må tolkes med forsiktighet.

Massen av en partikkel kan forenklet beskrives som;

$$m_p = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{1}{6}\pi d^3 \tag{3.2}$$

Og benyttes i formel for massekonsentrasjon;

$$C_m = N \cdot m_p \tag{3.3}$$

$$C_m = N \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{6} d^3 \tag{3.4}$$

Hvor C_m er massekonsentrasjonen, N er partikkelantall per m^3, ρ er partikkeltettheten og d er partikkeldiameteren målt i m.

Diameteren er målt i μm og må derfor konverteres til meter før beregning:

$$d_m = d_{\mu m} \cdot 10^{-6} \tag{3.5}$$

Tettheten er oppgitt i g/cm^3 og konverteres til kg/m^3:

$$1.2\, g/cm^3 = 1200\, kg/m^3 \tag{3.6}$$

Siden partikkelmålingene er målt i intervaller benyttes midtverdien av diameteren innenfor de gitte intervallene. Eksempelvis, for $N_{0.3-0,5}$, benyttes 0.4 som representativ diameter. Dette representerer en ytterlige forenkling som bidrar til usikkerhet i beregningen. Merk at det er kun partikler som er $< 10\ \mu m$ som medtas i beregningen.

3.5 Usikkerhet og begrensninger

3.5.1 Partikkelmålinger

En viktig merknad ved partikkelmålingene er at de blir målt til antall partikler [#] per prøvetakingsvolum. I litteraturen blir slike målinger oppgitt til vekt [μg] per m^3. Dette

medfører at direkte sammenligning mot massebaserte grenseverdier krever omgjøring fra antall til gram for å få et nøyaktig sammenligningsgrunnlag. Dette krever antagelser om både tetthet og form, som gir betydelig usikkerhet. Dette samsvarer med funn i litteratursøk, hvor det påpekes at beregning av PM-verdier må gjøres med en kjent massetetthet [36]. Derfor benyttes primært partikkelmålingene med antallkonsentrasjon som sikrere referanseverdier mot hverandre.

Videre presiseres det at målingene ble foretatt som punktmålinger, og ikke kontinuerlige målinger, grunnet begrensninger på instrumentbruk. Dette representerer en vesentlig feilkilde, da målingene representerer et øyeblikksbilde av partikkelkonsentrasjonen i oppholdssonen. Dette er forsøkt kompensert ved å benytte mange målepunkter, som det tas gjennomsnitt av. Likevel medfører dette at målingene ikke nødvendigvis fanger opp variasjoner i tid eller romlig fordeling av partiklene. Resultatene er derfor mer sensitive for øyeblikkelige variasjoner.

Til slutt var det heller ikke mulig å standardisere aktivitetsnivå, med unntak av målinger hvor det var ingen aktivitet. Dette innebærer at resultatene for enkelte målinger ikke er direkte sammenlignbare, og at resultatene heller må tolkes med fokus på trender, snarere enn absoluttverdier. Definisjoner på aktivitetsnivå er beskrevet i kapittel 3.3.4. For hall 5 mangler partikkelmålinger under aktivitet fordi utesesongen hadde startet tidligere enn antatt.

3.5.2 Utemålinger for temperatur, duggpunkt og relativ fuktighet

Under analyse av datasettene har det blitt oppdaget en feilkilde som er gjennomgående for alle testobjektene. Dette innebærer at sensorer som har blitt plassert utendørs for referansemåling viser til dels feilaktig temperatur, luftfuktighet og duggpunkt.

Dette skyldes med høy sannsynlighet soleksponering av sensorene på dagtid. Derfor inkluderes værdata fra nærmeste basestasjon i forkant av analysen. Værdata legges også inn i temperaturgrafene for å gi en bedre sammenligning om variasjonen på dagtid. Dersom målestasjonen også målte fuktighet ble dette lagt inn i fuktighetsgrafen. Data som er innhentet om natten samsvarer med værdataene og ansees som troverdige.

3.5.3 CO_2-målinger

I hall 5 falt to CO_2-sensorer ut underveis. Dette er sannsynligvis på grunn av kondens. Verdier fra denne hallen må tolkes med forsiktighet. Målingene er likevel valgt beholdt fordi sensorbortfallet i seg selv illustrerer det ekstreme inneklimaet.

Videre er kalibrering av CO_2-sensorene er gjort mot hverandre og ikke mot en sporbar absolutt

referanse. Dette innebærer at relative trender og sammenligninger mellom hallene er pålitelige, men absoluttverdier må tolkes med forsiktighet.

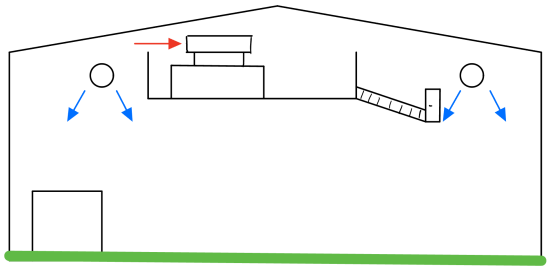
4 Testobjekter

For å gi nødvendig kontekst for måleresultatene, presenteres de fem anleggene fra et teknisk perspektiv. Dette innebærer blant annet størrelse, utforming, ventilasjonssystem, varmesystem, kunstgress og ifyll samt typiske bruksmønster.

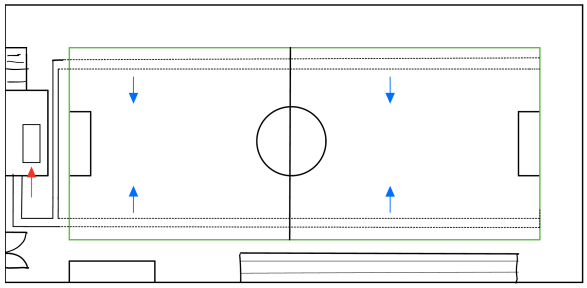
Beskrivelsene er basert på både befaringer og uformelle intervjuer som ble utført på driftspersonell/kontaktpersoner i tilknytning anleggene. For volumberegning av hallene brukes minimum høyder fra NFFs veileder. [4]

4.1 Hall 1

Hall 1 er en treningshall med spilleflate på 40 x 60 m, som ble oppført i 2023. Takhøyden er minimum 7 meter. Luftvolum blir: ca. 16 800m^3. Hallen benyttes både på dagtid av skoler, og ved organisert aktivitet fra kl 14:00-22:00. Det arrangeres jevnlig cup og annen aktivitet hvor personbelastningen er høy, spesielt i helger. Hallen benyttes også iblant til andre utenomsportslige arrangement.



Figur 4.1: Hall 1 snitt



Figur 4.2: Hall 1 plan

Tekniske løsninger

- **Ventilasjon:** Ett ventilasjonsaggregat med nominell luftmengde på 23 000 m^3/h Mekanisk balansert ventilasjon. Diffus lufttilførsel ved to perforerte tilluftskanaler gående langs banen. Høyt avtrekk ved mesanin bak 16-meter på kortsiden. Se Figur 4.1 og 4.2. Avtrekk markert med rød pil.
- **Styring/drift:** Temperatur og luftmengder styres via SD-anlegg basert på settpunkter. Roterende varmegjenvinner, samt varmebatteri i aggregat.
- **Oppvarming:** Via tilluft.

Kunstgress, innfyll og drift

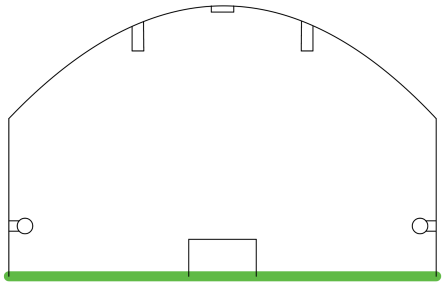
- **Ifyll:** Olivensten.
- **Vanning:** Anlegget vannes ikke.
- **Renhold/vedlikehold:** Vaskes ved jevne mellomrom, men ikke spesifisert intervall.

Relevans for målingene

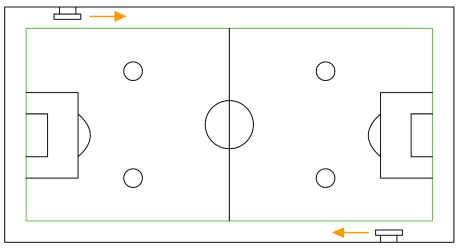
- **CO_2:** Tidvis svært høy og varierende personbelastning.
- **Fukt/ΔT:** Ingen vanning kan medføre lavere fuktbelastning.
- **Partikler:** Lav fuktighet kan bidra til høyere oppvirvling av partikler under bruk.

4.2 Hall 2

Hall 2 er en storhall med spilleflate 66 x 100 m, og ble ferdigstilt i 2013. Takhøyden er minimum 10 meter på langsiden og 20 meter over midten. Luftvolum blir: ca. 110 000m^3. Hallen benyttes jevnlig av skole på dagtid, og trening og cup på kveldstid. Hallen har tribuner på begge sider. Se figur 4.3 og 4.4 for utforming.



Figur 4.3: Hall 2 snitt



Figur 4.4: Hall 2 plan

Tekniske løsninger

- **Ventilasjon:** Ingen mekanisk ventilasjon. Skaper dog omrøring ved 4 vifter i tak, som styres manuelt.

- **Styring/drift:** Brannluker benyttes ved behov for utlufting, basert på opplevd luftkvalitet. Har også to garasjeporter som åpnes ved ytterligere behov.
- **Oppvarming:** To gassdrevne ovner i motsatte hjørner av hallen. Styres automatisk.

Kunstgress, innfyll og drift

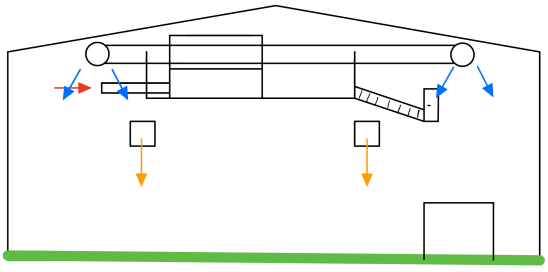
- **Ifyll:** Gummi. Ikke spesifisert type.
- **Vanning:** Ikke spesifisert.
- **Renhold/vedlikehold:** Ikke spesifisert.

Relevans for målingene (kort)

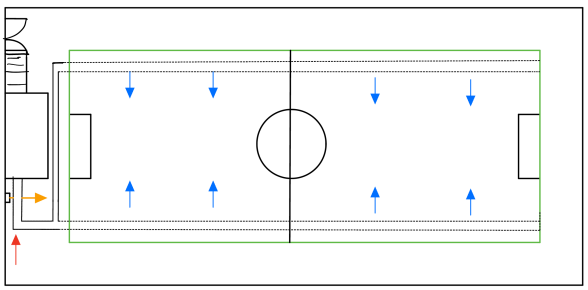
- **CO_2:** Ingen mekanisk ventilasjon kan medføre utfordringer med å tynne forurenset luft. Høyt volum kan motvirke dette.
- **Fukt/ΔT:** Vanning ikke spesifisert, men uteblivelse av ventilasjon kan gi grunnlag for å anta betydelig fuktproduksjon.
- **Partikler:** Ingen filtrering eller fjerning av luft kan medføre høye partikkelnivåer.

4.3 Hall 3

Hall 3 er en treningshall med spilleflate på 40 x 60 m, som ble oppført i 2018. Takhøyden er minimum 7 meter. Luftvolum blir: ca. 16 800m^3. Jevnt høy personbelastning, både av skoler på dagtid, samt organisert aktivitet frem til kl 22:00 på kveldstid.



Figur 4.5: Hall 3 snitt



Figur 4.6: Hall 3 plan

Tekniske løsninger

- **Ventilasjon:** Ett aggregat med nominell luftmengde på 19 000 m^3/h. Balansert ventilasjon. Tekstilkanaler med dyser for tilluft. Kanalene er plassert høyt, og langsgående langsidene. Høyt avtrekk i tilknytning mesanin plassert over den ene kortsiden. Se Figur 4.5 og 4.6 for forklaring.
- **Styring/drift:** Tilknyttet SD-anlegg, med flere målere for fukt, CO_2 og temperatur. Luftmengder og settpunkt kan endres ut fra målte verdier. Roterende varmegjenvinner og varmebatteri i aggregat.
- **Oppvarming:** Hovedsaklig oppvarming via ventilasjon. Har to aerotempere som er plassert under mesanin. Brukes sjeldent, og kun ved behov (svært kalde utetemperaturer).

Kunstgress, innfyll og drift

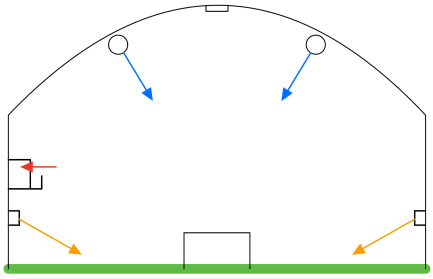
- **Ifyll:** Tett kunstgress og shockpad. Ifyll er blanding av olivensten og sand. Verken kunstgress eller ifyll er byttet på 8 år.
- **Vanning:** 40 L vann tilføres kunstgresset med jevne intervaller, ofte én gang i måneden .
- **Renhold/vedlikehold:** Vaskes og renses med jevne intervaller. Ikke spesifisert intervall, men ved behov.

Relevans for målingene (kort)

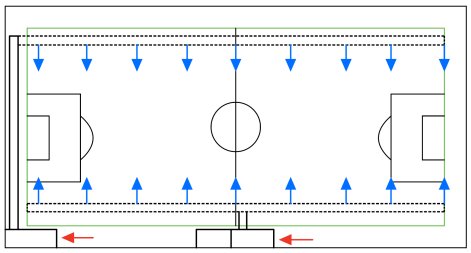
- **CO_2:** Mekanisk delvis behovsstyrt ventilasjon tilsier god kontroll på CO_2-konsentrasjon i hallen.
- **Fukt/ΔT:** Vannes relativt sjeldent, men regelmessig en gang i måneden.
- **Partikler:** Dersom dekket er for tørt vil dette kunne medføre oppvirvling av partikler.

4.4 Hall 4

Hall 4 er en storhall med spilleflate 68x105 m, som ble oppført i 2025. Takhøyden er minimum 10 meter på langsiden og 21 meter over midten. Luftvolum blir: ca. 124 000m^3. Brukes på dagtid av fotballag og skoler. Høyest aktivitet på kveldstid. Se figur 4.7 og 4.8 for utforming.



Figur 4.7: Hall 4 snitt



Figur 4.8: Hall 4 plan

Tekniske løsninger

- **Ventilasjon:** Drives av to ventilasjonsaggregat med nominell luftmengde på 19 000 m^3/h hver. To langsgående ventilasjonskanaler i stål, med jetdyser som fordeler tilluften. Høyt plasserte kanaler tilsier at man krever høy nok hastighet på tilluften for at den skal nå oppholdssonen. Prinsipielt er anlegget bygd med en omrøringsstrategi.
- **Styring/drift:** Tilknyttet SD-anlegg, med flere målere for fukt, CO_2 og temperatur. Luftmengder og settpunkter kan endres ut fra målte verdier. Roterende varmegjenvinnere i begge aggregat.
- **Oppvarming:** Oppvarmes ved bruk av seks aerotempere plassert langsgående kunstgresset. Lavtemperaturanlegg med turtemperatur på 40 $C°$. Varmeforsyning via et bergvarmepumpe-system, og elkjel for spisslast.

Kunstgress, innfyll og drift

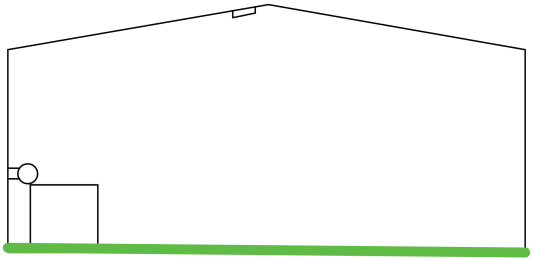
- **Ifyll:** Bioflex Eco [8]
- **Vanning:** Vannes med 4500 L pr vanningssyklus. Fjernstyres ved og ved behov. Planlegges med vanning hver uke, men faktisk hyppighet ikke spesifisert.
- **Renhold/vedlikehold:** Dyprens en gang i kvartalet.

Relevans for målingene

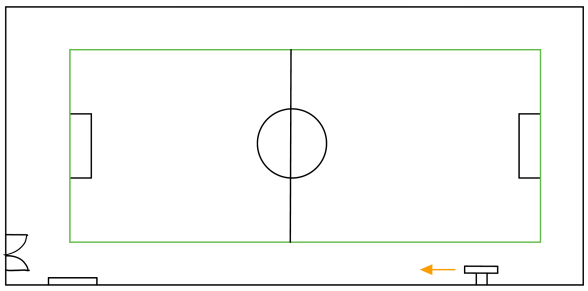
- **CO_2:** Høyt volum og nominell luftmengde indikerer god kontroll på CO_2-konsentrasjon.
- **Fukt/ΔT:** Stor vannmengde ved vanning kan medføre høyere fuktighet.
- **Partikler:** Høyere fuktighet kan medføre lavere partikkeloppvirvling.

4.5 Hall 5

Hall 5 er en treningshall med spilleflate 40 x 64 m.Takhøyden er minimum 7 meter. Luftvolum blir: ca. 18 000m^3. Hallen benyttes jevnlig av skole på dagtid, og organisert trening på kveldstid. Se figur 4.9 og 4.10 for utforming.



Figur 4.9: Hall 5 snitt



Figur 4.10: Hall 5 plan

Tekniske løsninger

- **Ventilasjon:** Ingen ventilasjon eller vifter for omrøring i hallen.
- **Styring/drift:** For å slippe inn større luftmengder må enten garasjeport eller hoveddør åpnes. Har denne sesongen skrudd av oppvarming for å hindre kondensdannelse.
- **Oppvarming:** En gassdreven ovn i hjørnet av bygget for oppvarming.

Kunstgress, innfyll og drift

- **Ifyll:** Gummi, ikke spesifisert.
- **Vanning:** Vannes ikke.
- **Renhold/vedlikehold:** Et par rensninger iløpet av sesongen. Hyppighet ikke spesifisert.

Relevans for målingene (kort)

- **CO_2:** Ingen ventilasjon eller omrøring av luften kan medføre høyere CO_2-konsentrasjon.
- **Fukt/ΔT:** Ingen ventilasjon, kan medføre høyere fuktinnhold i luften.

- **Partikler:** Ingen ventilasjon kan medføre høyere nivåer av partikler. Høyt fuktinnhold kan dempe oppvirvling av grove partikler.

5 Resultater

Resultatene presenteres i kronologisk rekkefølge, og følger en standardisert fremstillingsform. Hvert delkapittel avsluttes med oppsummerende tabeller av funnene. For hver hall er det supplert med temperaturdata fra Seklima [37] for utemperatur, hentet fra nærmeste målestasjon. Der enkelte temperaturparametre manglet for nærmeste målestasjon, er disse hentet fra nærmeste tilgjengelige stasjon.

CO_2-resultatene presenteres i grafer, gitt i intervall fra 300-1500 ppm. Temperatur, fukt og sammenligning mellom innetemperatur og duggpunktstemperatur presenteres i egne grafer.

Partikkelmålinger presenteres med tabeller som viser både antallkonsentrasjon og en tilnærming til massekonsentrasjon i henhold til kapittel 3.4.5 i metode.

5.1 Hall 1

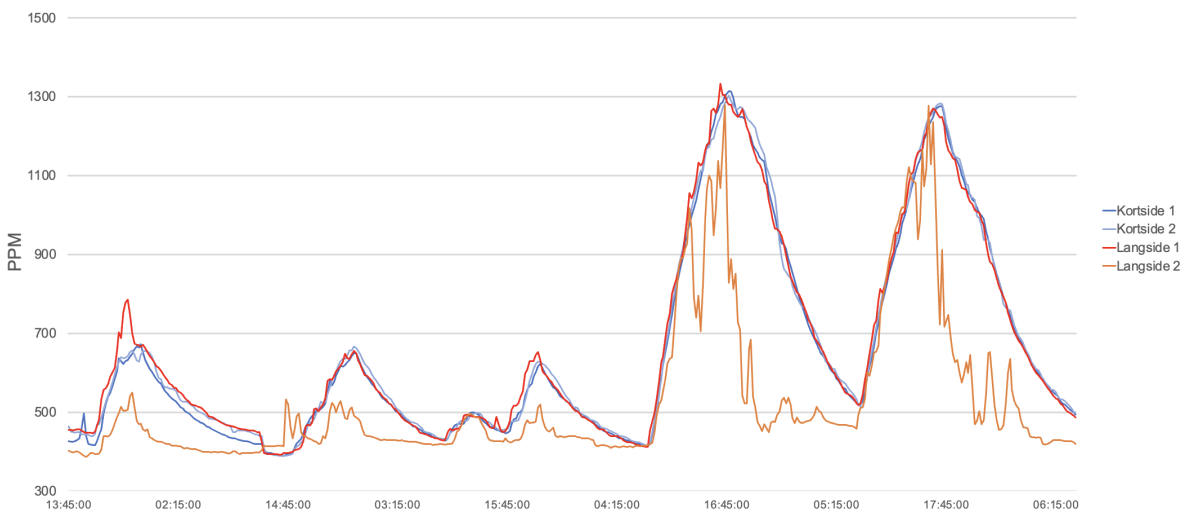
Målinger for hall 1 ble utført fra 11.02 - 16.02.

5.1.1 CO_2-Målinger

Figur 5.1 viser CO_2-konsentrasjonen for hall 1 under måleperioden. Konsentrasjonen varierte i perioden mellom 387 PPM til 1333 PPM. Konsentrasjonen økte med aktivitet på ettermiddag/-kveld de tre første måledøgnene, men konsentrasjonen sank til under 500 PPM de påfølgende 3 timene etter vanlig aktivitet. Konsentrasjonen under normal belastning økte aldri over 800 PPM, og konsentrasjonen var under 500 PPM når det begynte aktivitet påfølgende dag. Dette indikerer godt luftskifte og tilstrekkelig ventilering for fortynning av CO_2 under normal bruk.

I måleperioden ble det arrangert cup, med 250-300 personer tilstede i hallen. Dette er høy belastning, men ikke uvanlig. Det ble disse dagene to ganger målt toppverdier på rundt 1300 PPM. Konsentrasjonstoppene ble begge dager målt mellom 16:00-17:00, før den sank igjen til under 1000 PPM mellom kl 21:00-22:00. Konsentrasjonen ble derimot normalisert på rundt 500 PPM før ny aktivitet neste dag. Selv om konsentrasjonstoppene var høyere enn anbefalt verdi, falt konsentrasjonen såpass hurtig til normalnivå at dette indikerer tilstrekkelig ventilering.

Sensoren på Langside 2 viser gjennomgående avvikende målinger fra resten av sensorene, hvor alle viser tilnærmet lik konsentrasjon. Sensoren følger til dels trendene i dataen, men har ved flere anledninger ekstremt bratte stigninger eller nedadgående kurver. Vurderingen er at dette sannsynlig er feilaktig måling.



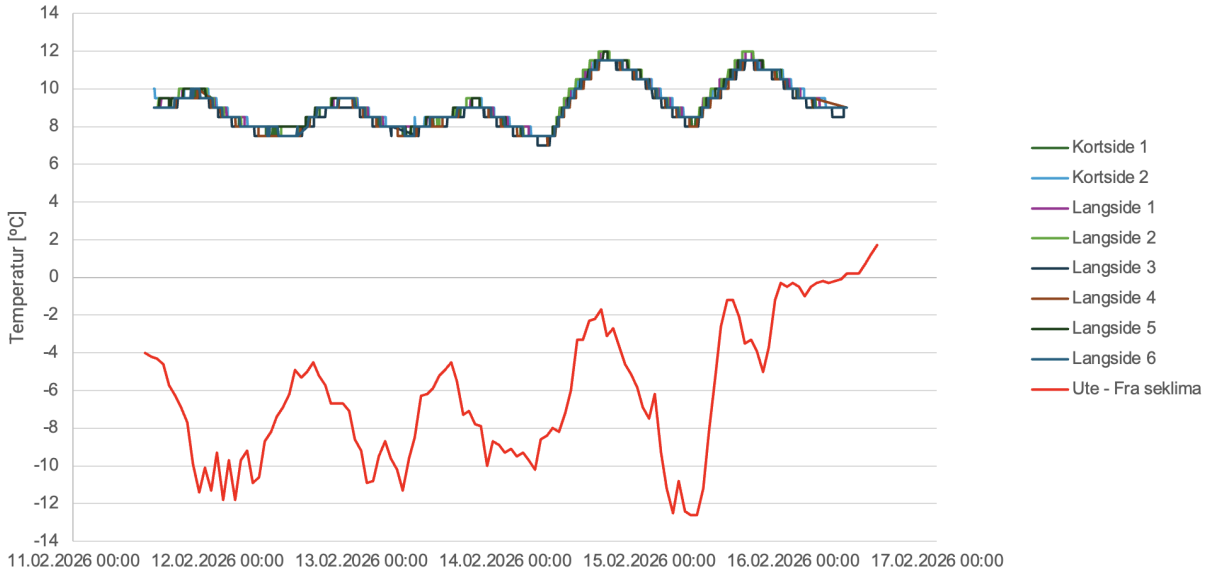
Figur 5.1: CO_2-målinger - Hall 1

5.1.2 Temperatur og relativ luftfuktighet

Temperatur

Figur 5.2 viser inne-og utetemperaturen for perioden. Innetemperaturen varierte mellom 7 og 12 C°. Dette vises tydelig fra den 15.02-16.02. Gjennomsnittstemperaturen innendørs for hele måleperioden var 9,1 C°. Figur 5.2 viser at utetemperaturen varierte fra -13 til 2 C°.

Temperaturen var høyest under dagene med høy aktivitet, før den igjen sank utover natten. Dette vises tydelig fra den 15.02-16.02. Temperaturen holdt seg stabil under normale forhold, men lavt i henhold til anbefaling fra veilederen på 12 C°. Sannsynligvis er dette et bevisst valg grunnet lave utetemperaturer og høye energipriser. (Dobling av energipris fra foregående år)[38].

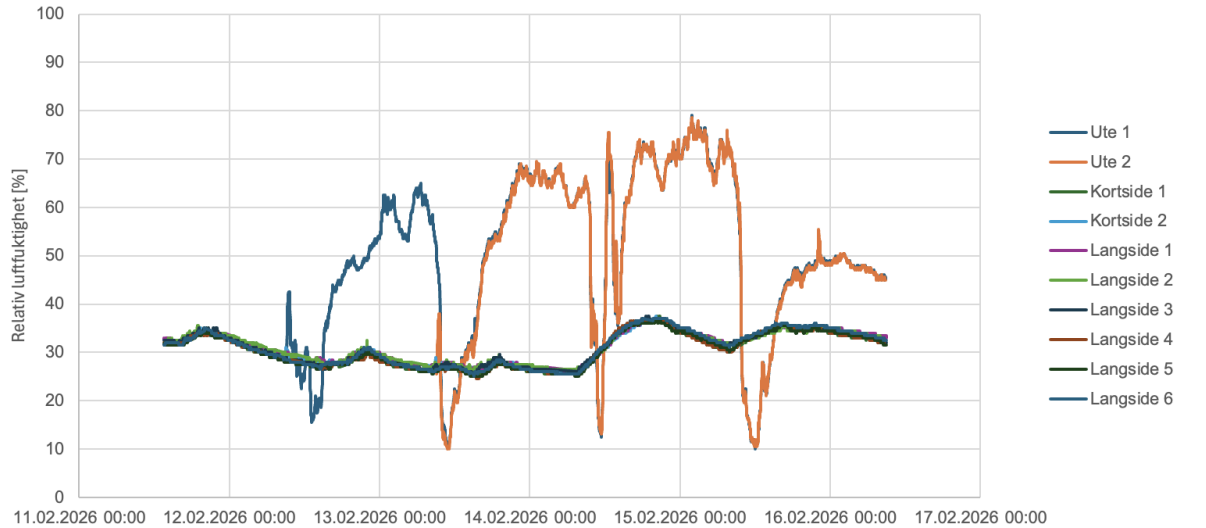


Figur 5.2: Temperatur - Hall 1

Relativ luftfuktighet

Figur 5.3 viser at den relative luftfuktigheten innendørs i perioden varierte mellom 24,5 % og 37,5 %. Gjennomsnittlig fuktighet var 30,8 %. Maksimalverdien ble målt på dagene med høyest aktivitet, hvorpå den sank til 31 % kl 08:00 påfølgende morgen.

Målingene viser at hallen relativt er tørrere enn resten av hallene. Det anbefales generelt en fuktighet innendørs på mellom 40-60 % for å unngå irritasjon av svelg og øyne. Årsakene til dette kan være grunnet både fravær av vanning og kaldt vær.

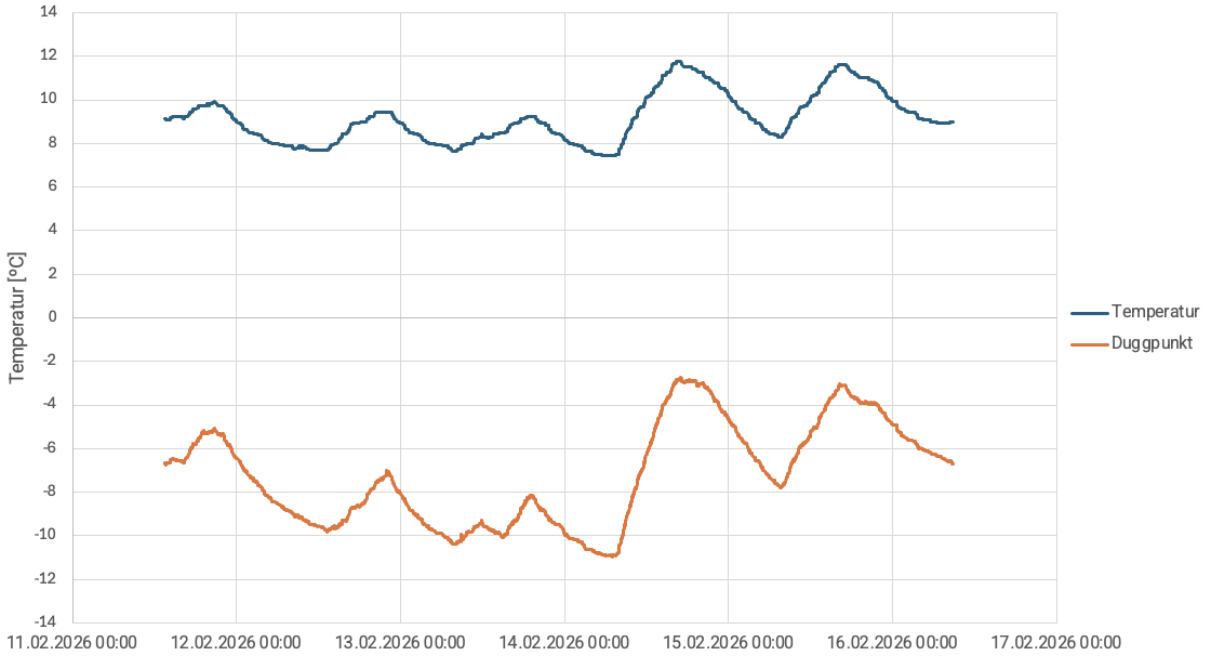


Figur 5.3: Relativ luftfuktighet - Hall 1

Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur

Figur 5.4 viser sammenligning av innetemperatur og duggpunkt innendørs. Gjennomsnittlig ΔT for perioden var 16,3 C°. Høyeste og laveste verdi henholdsvis 18,6 og 14,2 C°.

Den høye ΔT samsvarer med den lave relative luftfuktigheten og indikerer liten risiko for kondens på overflatene i hallen.



Figur 5.4: Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur - Hall 1

5.1.3 Partikkelmålinger

Partikkelmålinger - Ingen aktivitet

Tabell 5.1 viser antall partikler per m^3, målt ved fravær av aktivitet i hallen. Referansemålinger tatt utendørs i samme område er lagt ved for sammenligning. Det er videre utregnet differanse mellom konsentrasjon inne og ute.

Antallkonsentrasjonen av fine partikler $N_{0.3-1.0}$ dominerer målingene i antall både innendørs og utendørs ved fravær av aktivitet i hallen. Differansen mellom inne og ute viser at utekonsentrasjonen gjennomgående er høyere, bortsett fra for $N_{3.0-5.0}$.

Tabell 5.1: Partikkelmålinger – Hall 1. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	3,320	25,473	-22,153
$0.5 - 1.0$	0,509	3,174	-2,665
$1.0 - 3.0$	0,261	0,315	-0,054
$3.0 - 5.0$	0,031	0,026	0,005
$5.0 - 10.0$	0,016	0,026	-0,010
> 10	0,003	0,004	-0,001

Partikkelmålinger - Lett aktivitet

Tabell 5.2 viser konsentrasjonen av partikler direkte etter aktiviteten til 10 personer som benyttet hele spilleflaten.

Tabellen viser gjennomgående en tydelig økning i grove partikler, spesielt for partikler i intervallet $N_{1.0-3.0}$. Dette indikerer en tydelig oppvirvling av partikler fra underlaget som følge av aktivitet. Det er også tydelige forskjeller for de fine partiklene ved denne målingen. Utemålingen er mye lavere, spesielt for $N_{0.3-1.0}$. Dette kan skyldes variasjoner i utendørsforholdene ved prøvetidspunktet, eksempelvis mindre trafikk. Innemålingen ble også lavere for samme intervall, men ikke like mye som utemålingen. Dette kan tyde på at inneluften i mindre grad påvirkes av variasjoner i uteluften.

Tabell 5.2: Partikkelmålinger – Hall 1. Lett aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdiene gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	2,782	6,519	-3,737
$0.5 - 1.0$	0,704	1,046	-0,342
$1.0 - 3.0$	0,527	0,201	0,326
$3.0 - 5.0$	0,109	0,023	0,086
$5.0 - 10.0$	0,096	0,019	0,077
> 10	0,022	0,005	0,017

Partikkelmålinger - Lett aktivitet - Omregnet til massekonsentrasjon

Tabell 5.3 viser resultatene av omregning til massekonsentrasjon, gjort i henhold til kap 3.4.5. Utregningen baseres på samme situasjon som antallkonsentrasjonsmålingen i tabell 5.2.

Tabellen viser delsummer for sammenligning mot etablerte referanseverdier for $PM_{2.5}$ og PM_{10}. Siden det er benyttet en representativ diameter på 2.0 μm for målingene på intervallet $N_{1.0-3.0}$, medtas denne i delsummen for $PM_{2.5}$.

Massekonsentrasjonen domineres av partikler i intervallet $N_{5.0-10.0}$, og utgjør en betydelig delmengde av totalsummen. Samlet sett viser også disse utregningene større konsentrasjoner inne, som samsvarer med tabell 5.2. Tabellen viser en indikativ verdi over anbefalte svevestøvsverdier for PM_{10}. For $PM_{2.5}$ viser den indikative verdien lavere enn de anbefalte svevestøvsverdiene, se kapittel 2.4.3 i teori. Tallene må tolkes med forsiktighet ettersom de er basert på antagelser om geometri og tetthet til partiklene.

Tabell 5.3: Partikkelmålinger – Hall 1. Lett aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne ($\mu g/m^3$)**	**Ute ($\mu g/m^3$)**	**Δ (Inne–Ute)**
0.3 – 0.5	0.112	0.262	-0.150
0.5 – 1.0	0.187	0.277	-0.091
1.0 – 3.0	2.650	1.012	1.638
$PM_{2.5}$ (sum)	**2.949**	**1.551**	**1.398**
3.0 – 5.0	4.379	0.934	3.445
5.0 – 10.0	25.571	5.112	20.459
PM_{10} (sum)	**32.898**	**7.597**	**25.301**

5.2 Oppsummering av resultater Hall 1

Tabell 5.4 viser oppsummering av de målte verdiene i hallen. Verdiene samsvarer med ventilasjonsprinsippet i hallen. Balansert mekanisk ventilasjon med diffus tilluft fra perforerte kanaler langs banen, kombinert med SD-styring etter settpunkter holder gjennomsnittlig CO_2 på 629 PPM. Dette er godt under anbefalt grense på 1000PPM. Toppverdien på 1333 PPM oppsto under cup med svært høy personbelastning. Konsentrasjonen normaliserte seg raskt etter aktivitet, noe som indikerer at anlegget responderer godt på belastning. Den lave fuktigheten på 30.8% og høye gjennomsnittlige ΔT på 16.3°C henger sammen med at hallen ikke vannes og at det tilføres kald og tørr uteluft. Perioden for målingene var temperaturen ned mot -13.1°C. Dette gir liten risiko for kondens, men ligger samtidig under anbefalt fuktnivå på 40-60%. Innetem-

peraturen på 9.1 °C ligger under veilederens anbefaling på 12°C, sannsynligvis som et bevisst driftsvalg for å redusere energibruk i en periode med høye strømpriser.

Tabell 5.4: Oppsummering – Hall 1.

Parameter	**Gjennomsnitt**	**Minimum**	**Maksimum**
T_{inne} [°C]	9,1	7	12
T_{ute} [°C]	-5,7	-13,1	-5
RH_{inne} [%]	30,8	24,5	37,5
$\Delta T = T_{\text{inne}} - T_{d,\text{inne}}$ [°C]	16,3	14,2	18,6
$\text{CO}_{2\text{inne}}$ [ppm]	629	387	1333

Tabell 5.5 viser sammenligning av partikkelmålinger ved aktivitet og ingen aktivitet. Fine partikler i intervallet $N_{0.3-0.5}$ viser en betydelig nedgang ved aktivitet, mens partikler i intervallet $N_{0.5-1.0}$ øker. En mulig forklaring på dette er at økt aktivitet virvler fine partikler opp og ut av oppholdssonen, og dermed ikke fanges opp av måleren som ble holdt i hodehøyde. De grovere partiklene av alle fraksjoner øker ved aktivitet. Dette indikerer økt oppvirvling fra underlaget ved aktivitet.

Tabell 5.5: Partikkelmålinger – Hall 1. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og lett aktivitet. Verdiene gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

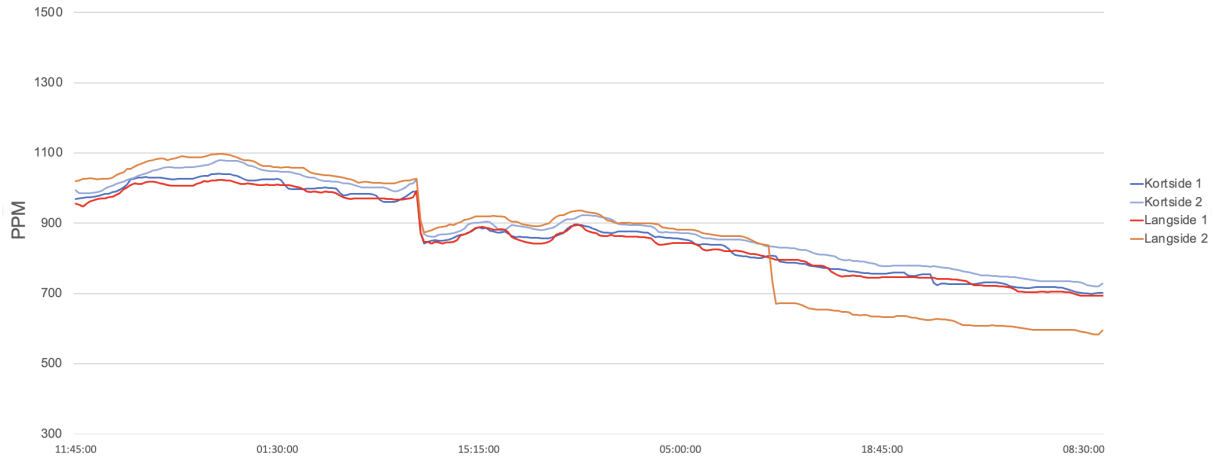
Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Ingen aktivitet**	**Lett aktivitet**	**Δ (Lett–Ingen)**
$0.3 - 0.5$	3,320	2,782	-0,538
$0.5 - 1.0$	0,509	0,704	0,195
$1.0 - 3.0$	0,261	0,527	0,266
$3.0 - 5.0$	0,031	0,109	0,078
$5.0 - 10.0$	0,016	0,096	0,080
> 10	0,003	0,022	0,019

5.3 Hall 2

Målinger for hall 2 ble gjennomført i perioden 17.02 til 20.02.

5.3.1 CO_2-Målinger

Figur 5.5 viser en høyeste og laveste konsentrasjon på henholdsvis 1097 og 594 PPM. Begge ekstremalverdier kom fra samme sensor, langside 2. Grafen viser jevnt høye kurver, med en gjennomsnittlig verdi på 872 PPM for hele perioden. Det første måledøgnet holder konsentrasjonen seg på rundt 1000 PPM, før det skjer et tydelig fall i konsentrasjonen for alle målere rundt kl 10:00 første måledøgn. Dette tyder på at brannlukene og dører har blitt åpnet for lufting. Etter prat med brukerne av hallen er dette oppgitt som vanlig praksis. Deretter holder konsentrasjonen seg stabilt rundt 8-900 PPM og har en slak nedadgående kurve mot 700 PPM i slutten av måleperioden. Langside 2 skiller seg ut da den faller plutselig rundt kl 11:00 måledøgn 2.



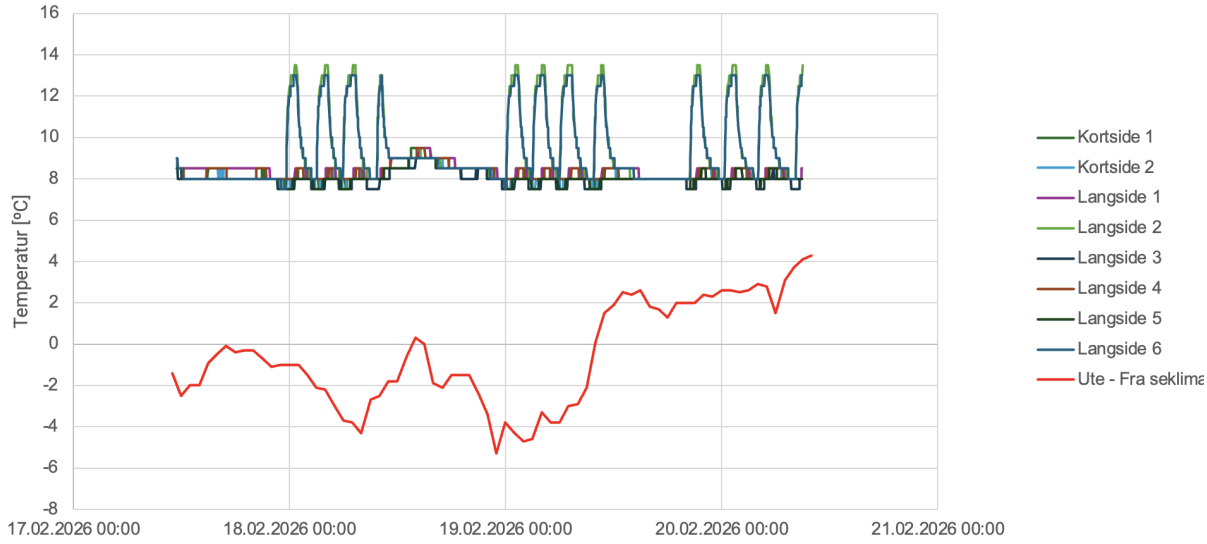
Figur 5.5: CO_2-målinger - Hall 2

5.3.2 Relativ fuktighet og temperatur

Temperatur

Figur 5.6 viser at temperaturen for perioden holdt seg stabilt med et gjennomsnitt på 8,5 C°. To av målerene, langside 2 og langside 6, skiller seg derimot ut. Disse har ved flere anledninger gjentakende topper på 13,5 C°. Disse toppene varer i underkant av 1 time, og skjer på kveld/natt. Anlegget er utstyrt med propanbrennere som står i umiddelbar nærhet til disse sensorene. Fordi disse toppene kommer på samme tidspunkt og varer like lenge antas dette som en tidsinnstilt oppvarming av hallen som foregår utenfor bruk av anlegget. Resten av grafene har også tydelig

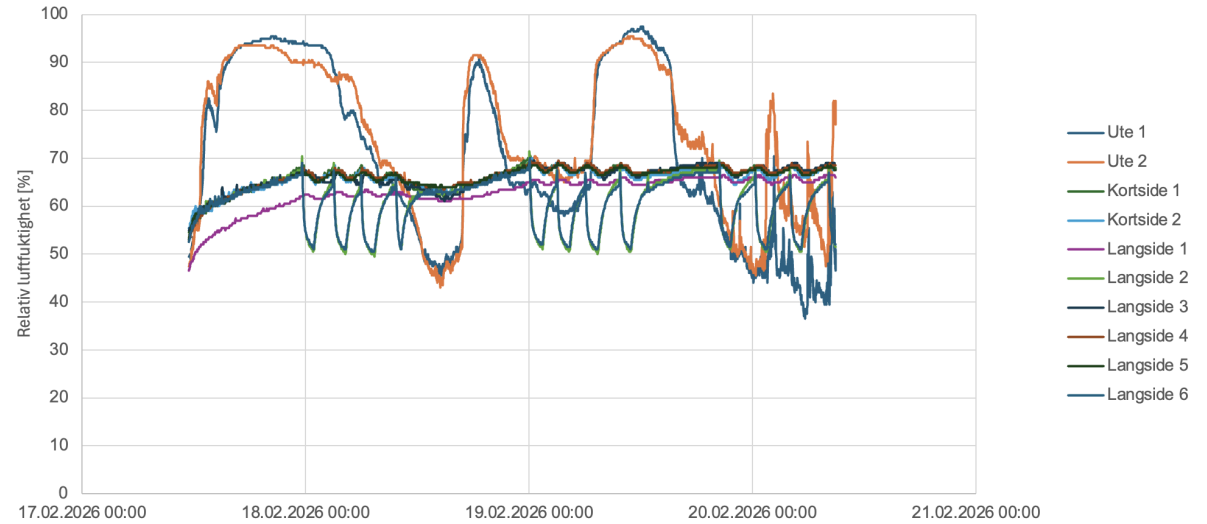
endring av temperatur i samme tidsrom, men utslagene er ikke like ekstreme.



Figur 5.6: Temperatur - Hall 2

Relativ luftfuktighet

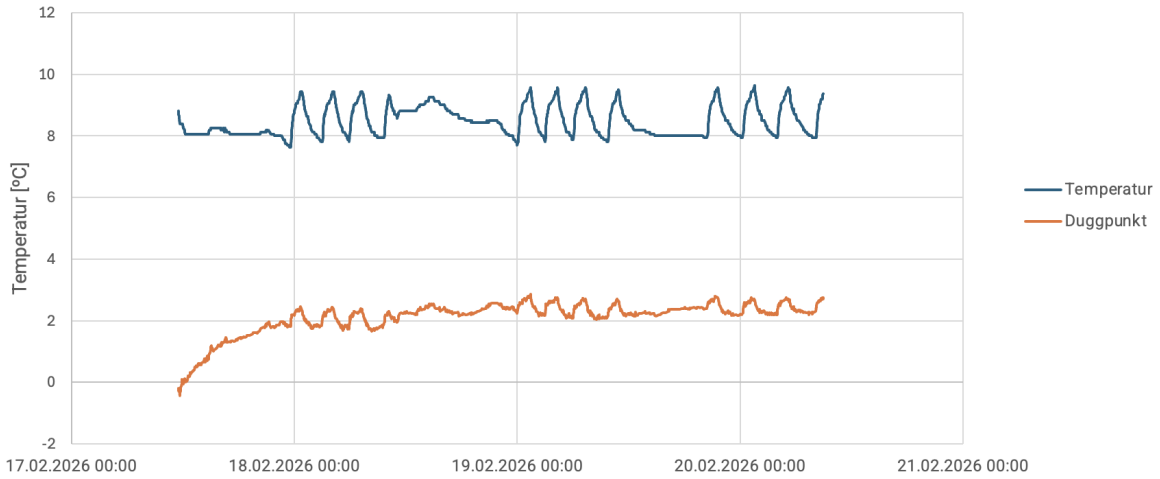
Figur 5.7 viser at gjennomsnittlig luftfuktighet innendørs i perioden var 64.3 %, med høyeste og laveste verdi på henholdsvis 71.5 og 46.5 %. Utendørs varierte fuktigheten fra 36.5 til 97.5 %. Fuktighetsgrafen følger samme mønster for langside 2 og 6, ved at de har gjentakende bunnpunkt i samme tidsrom. Dette henger sammen med propanbrennerne som skrus av og på etter som at temperaturen blir høyere uten ekstra tilført fukt så synker den relative fuktigheten. I disse periodene sank fuktighetsmålingene for disse sensorene fra mellom 65-70% til 50 %. Resten av målerne målte under perioden konstante verdier mellom 60-70 %.



Figur 5.7: Relativ luftfuktighet - Hall 2

Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur

Figur 5.8 viser igjen et mønster som har blitt tydelig i de foregående målingene tydelig fremvist på grafen. Siden dette er et gjennomsnitt av alle innemålingene er toppene og bunnene mindre ekstreme, men likevel svært tydelige. Største og laveste ΔT i perioden var henholdsvis 9,1 og 5,3 C°. Gjennomsnittlig ΔT var 6,3 C°.



Figur 5.8: Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur - Hall 2

5.3.3 Partikkelmålinger

Partikkelmålinger - Ingen aktivitet

Tabell 5.6 viser partikkelmålinger gjort ved fravær av aktivitet i hallen. Denne målingen ble foretatt 1 måned senere enn de andre partikkelmålingene for samme hall. Dette kan bidra til forskjeller i målt partikkelkonsentrasjon, mulig på grunn av endrede driftsforhold eller opphopning av partikler. Dette gjenspeiles ved at antallkonsentrasjonen for $N_{0.3-0.5}$ er nesten 40 ganger høyere inne enn ute. Dette kan tyde på en opphopning av fine partikler i hallen, som følge av at luften kun omrøres og ikke tilføres eller mekanisk fjernes fra luften.

Partikler i størrelsesintervallet $N_{1.0-5.0}$ har derimot høyere antallkonsentrasjon ute enn inne.

Tabell 5.6: Partikkelmålinger – Hall 2. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne. sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdiene gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	39,909	1,151	38,758
$0.5 - 1.0$	1,078	0,402	0,676
$1.0 - 3.0$	0,129	0,214	-0,085
$3.0 - 5.0$	0,025	0,039	-0,013
$5.0 - 10.0$	0,029	0,026	0,003
> 10	0,009	0,006	0,003

Partikkelmålinger - Moderat aktivitet

Tabell 5.7 viser partikkelmålinger foretatt etter aktiviteten til omtrent 40 personer over hele spilleflaten. Innemålingen for fine partikler, spesielt i intervallet $N_{0.3-0.5}$ var betydelig lavere.

De grovere partiklene er derimot gjennomgående høyere for intervallene $N_{1.0-10.0}$. Dette tyder på økt oppvirvling av partikler ved aktivitet i hallen.

Tabell 5.7: Partikkelmålinger – Hall 2. Moderat aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	2,599	7,034	-4,435
$0.5 - 1.0$	0,571	1,155	-0,584
$1.0 - 3.0$	0,416	0,262	0,154
$3.0 - 5.0$	0,108	0,038	0,069
$5.0 - 10.0$	0,096	0,037	0,058
> 10	0,025	0,016	0,009

Partikkelmålinger - Moderat aktivitet - Omregnet til massekonsentrasjon

Tabell 5.8 viser resultatene av omregning til massekonsentrasjon. Utregningen baseres på samme situasjon som antallkonsentrasjonsmålingen i tabell 5.7.

Målingene domineres av partikler i intervallet $N_{5.0-10.0}$. Svevestøvsverdiene er gjennomgående høyere innendørs sammenlignet med de utendørs. Dette med unntak av de fineste fraksjonene $N_{0.3-1.0}$.

Den indikative målingen for $PM_{2.5}$ overstiger ikke den anbefalte grenseverdien. Det gjør derimot den indikative målingen for partikler med $PM_{10.0}$.

Tabell 5.8: Partikkelmålinger – Hall 2. Moderat aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne ($\mu g/m^3$)**	**Ute ($\mu g/m^3$)**	**Δ (Inne–Ute)**
0.3 – 0.5	0.105	0.283	-0.178
0.5 – 1.0	0.151	0.306	-0.155
1.0 – 3.0	2.091	1.316	0.776
$PM_{2.5}$ (sum)	**2.347**	**1.905**	**0.442**
3.0 – 5.0	4.331	1.537	2.794
5.0 – 10.0	25.319	9.846	15.473
PM_{10} (sum)	**31.996**	**13.287**	**18.709**

5.4 Oppsummering av resultater hall 2

Tabell 5.9 reflekterer at hallen drives uten mekanisk ventilasjon. Hallen bærer preg av at luftutskiftet hovedsakelig skjer ved manuell åpning av brannluker og garasjeporter, samt omrøring fra fire takvifter. Gjennomsnittlig CO_2 på 872 PPM er det høyeste blant hallene med pålitelige målinger, og indikerer at omrøring alene ikke gir tilstrekkelig fortynning ved jevn aktivitet. Toppverdier opp mot 1098 PPM understreker dette. Det store luftvolumet på ca 110 000m^3 bidrar likevel til å dempe konsentrasjonsendringer over korte perioder. Den høye relative fuktigheten på 64.3% og lave ΔT på 6.4°C er en konsekvens av manglende luftutskifte. Innetemperaturen på 8,5 °C ligger under anbefalingen på 12°C, men holder seg stabilt gjennom perioden bortsett fra lokale topper ved propanbrennerne.

Tabell 5.9: Oppsummering – Hall 2.

Parameter	**Gjennomsnitt**	**Minimum**	**Maksimum**
T_{inne} [°C]	8,5	7,5	13,5
T_{ute} [°C]	-0,3	-5,6	4,7
RH_{inne} [%]	64,3	46,5	71,5
$\Delta T = T_{\text{inne}} - T_{d,\text{inne}}$ [°C]	6,4	5,3	9,1
$\text{CO}_{2\text{inne}}$ [ppm]	872	583	1098

Tabell 5.10 viser sammenligning av partikkelkonsentrasjonen i antall mellom ingen aktivitet og moderat aktivitet. Verdiene viser at partikkelfordelingen i hallen endres fra en dominans av fine

partikler uten aktivitet til økt andel grove partikler ved aktivitet.

Som tidligere understreket er verdien for $N_{0.3-0.5}$ svært høy, og kan skyldes en opphopning av fine partikler grunnet manglende luftskifte og en lengre periode uten bruk.

Tabell 5.10: Partikkelmålinger – Hall 2. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og moderat aktivitet (9 målepunkter). Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

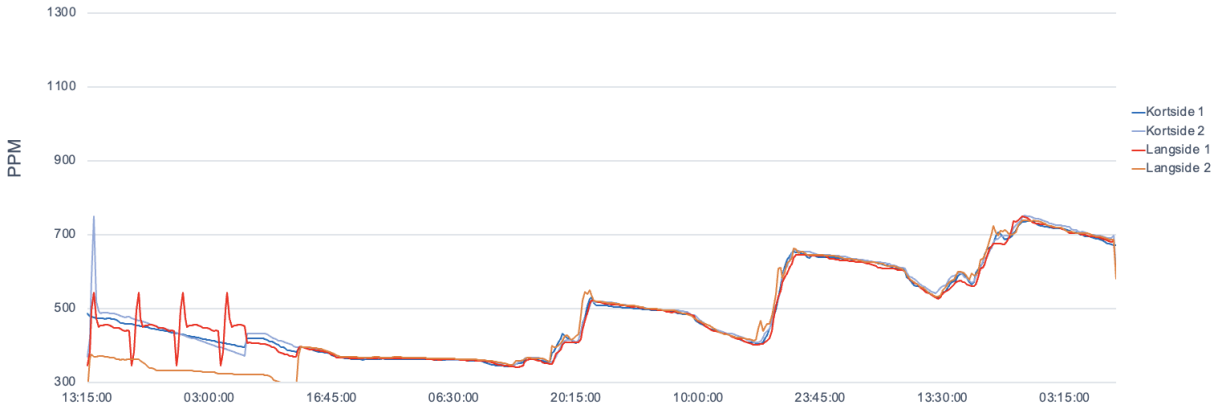
Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Ingen aktivitet**	**Moderat aktivitet**	**Δ (Moderat–Ingen)**
$0.3 - 0.5$	39,909	2,599	-37,310
$0.5 - 1.0$	1,078	0,571	-0,507
$1.0 - 3.0$	0,129	0,416	0,287
$3.0 - 5.0$	0,025	0,108	0,083
$5.0 - 10.0$	0,029	0,096	0,067
> 10	0,009	0,025	0,016

5.5 Hall 3

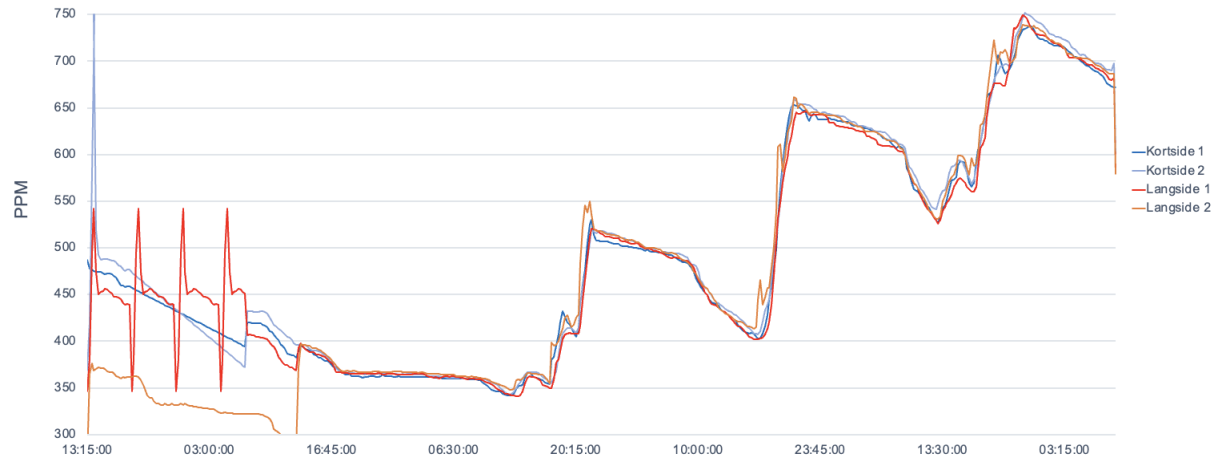
Målinger for hall 3 ble gjennomført i perioden 20.02 - 25.02.

5.5.1 CO_2-Målinger

Figur 5.9 og 5.10 viser CO_2-nivåene for hall 3. Grafen viser en konsentrasjonstopp på 750 PPM, og lavere nivåer på omtrent 350-400 PPM. Det første måledøgnet viser uregelmessige variasjoner, spesielt for sensor på Langside 2. Etter første måledøgn viser sensorene like konsentrasjoner, med topper på ettermiddag/kveld. Grafene indikerer at anlegget skrues av på natten da CO_2 konsentrasjonen faller svært sakte frem til 09:00 før konsentrasjonen faller fortere. Dette antas å være oppstart på anlegget.



Figur 5.9: CO_2-målinger - Hall 3

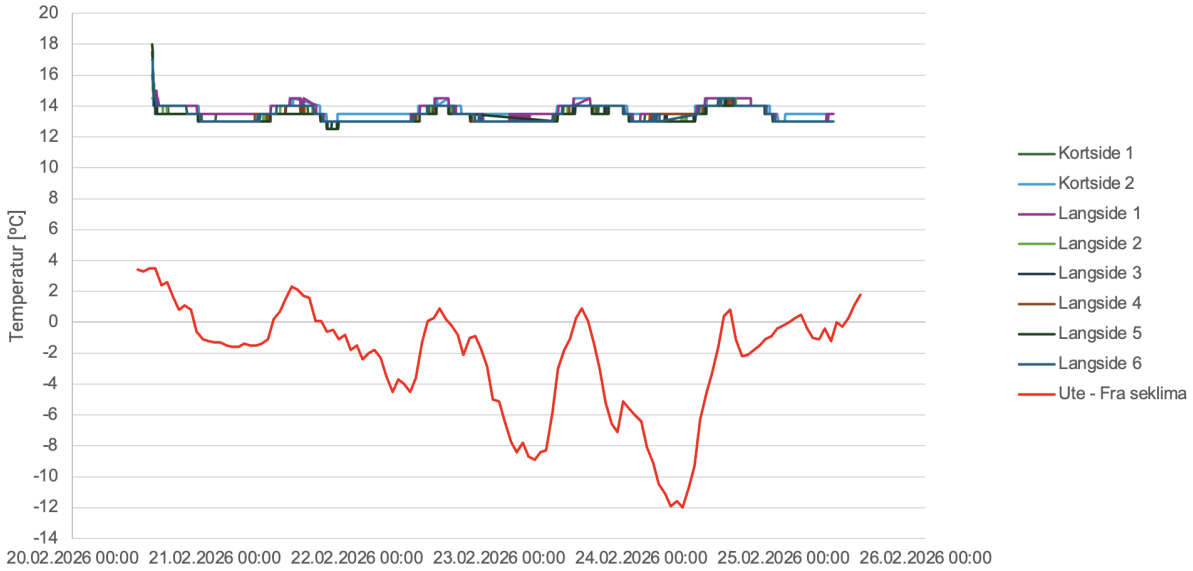


Figur 5.10: CO_2-målinger (Tilpasset intervall) - Hall 3

5.5.2 Relativ fuktighet og temperatur

Temperatur

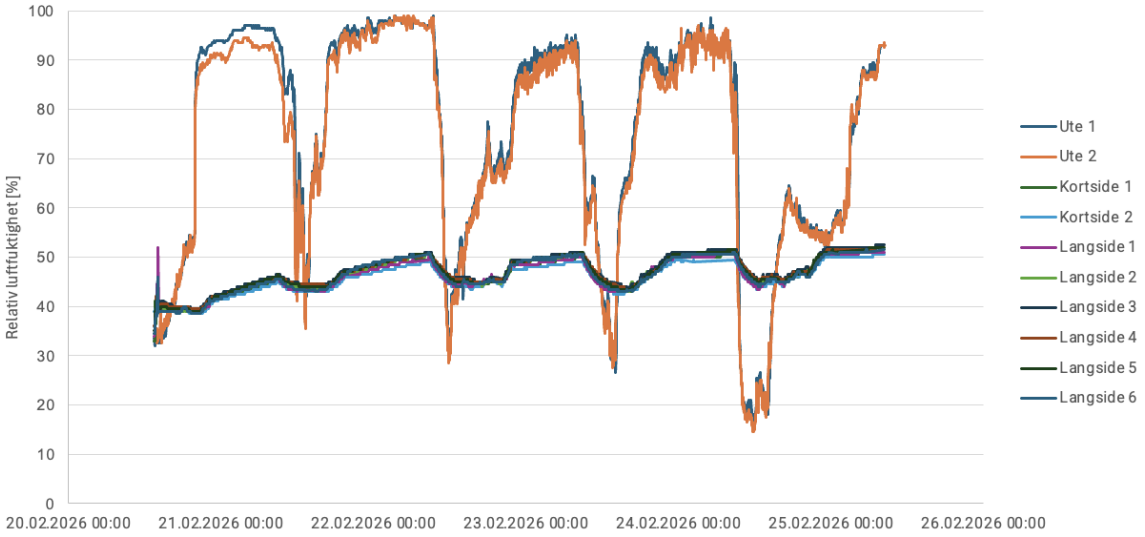
Figur 5.11 viser temperaturen innendørs og utendørs i hallen for måleperioden. Høyeste og laveste innetemperatur var i perioden henholdsvis 18 C° og 12,5 C°. Gjennomsnittstemperaturen innendørs var i perioden 13,4 C°. Figuren viser en stabil innetemperatur uten store sprang, som indikerer stabilt termisk inneklima. Utetemperaturen varierte fra -14 C° til 28 C°.



Figur 5.11: Temperatur - Hall 3

Relativ luftfuktighet

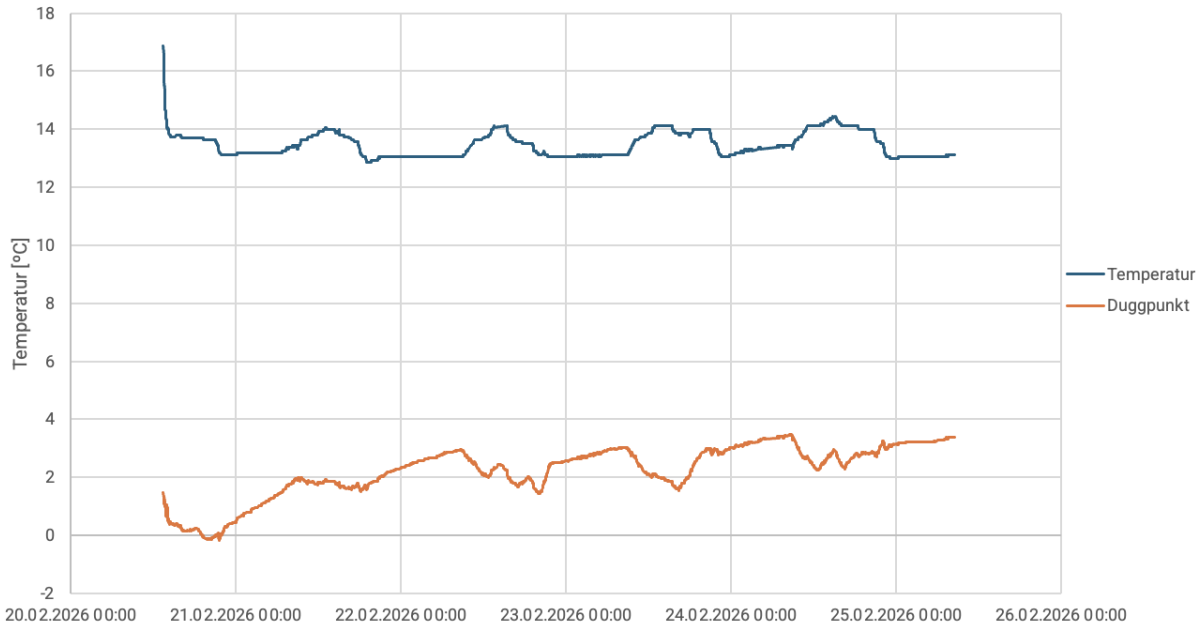
Figur 5.12 viser at relativ luftfuktighet innendørs varierte i perioden fra et minimum på 33 % til et maksimum på 52,5 %. Gjennomsnitt for perioden var 46,6 %. Figuren viser en stabil kurve for målingene innendørs. Målingene ute varierte fra under 20% til 97%. bunnpunktene på 20% kommer i perioden temperaturen er høyest. I måleperioden var det kraftig snøvær som sannsynligvis forklarer den høye luftfuktigheten.



Figur 5.12: Relativ fuktighet - Hall 3

Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur

Figur 5.13 viser forskjellen mellom temperatur og duggpunktstemperatur. ΔT var i perioden maksimalt 15,4 C° og minimalt på 9,7 C°. Gjennomsnittlig ΔT var i perioden 11,2 grader.



Figur 5.13: Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur- Hall 3

5.5.3 Partikkelmålinger

Partikkelmålinger - Ingen aktivitet

Partikkelmålingene ved ingen aktivitet er vist i tabell 5.11. Fine partikler dominerer målingene, og det er høyere antallkonsentrasjon av fine partikler ute. For de grovere partiklene er konsentrasjonen høyere innendørs, med unntak av $N_{5.0-10.0}$.

Tabell 5.11: Partikkelmålinger – Hall 3. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	2,055	5,617	-3,562
$0.5 - 1.0$	0,397	0,595	-0,199
$1.0 - 3.0$	0,223	0,090	0,133
$3.0 - 5.0$	0,027	0,014	0,013
$5.0 - 10.0$	0,012	0,014	-0,002
> 10	0,003	0,003	0,000

Partikkelmålinger - Lett aktivitet

Tabell 5.12 viser antallkonsentrasjonen for lett aktivitet, 10 personer på omtrent halve spilleflaten. Antallkonsentrasjonen er lavere for partikler i intervallet $N_{0.3-0.5}$ enn for målingene uten aktivitet. Dette kan være som følge av at fine partikler virvles opp og ut av oppholdssonen. Konsentrasjonen av de grove partiklene øker derimot, og er gjennomgående høyere for innemålingene enn utemålingene.

Målingene for denne hallen er for fraksjoner $N_{3.0-10.0}$ over dobbelt så høy som de andre hallene i sammenlignbar størrelse. En mulig forklaring på dette er at det har foregått uobservert aktivitet i forkant av målingen.

Tabell 5.12: Partikkelmålinger – Hall 3. Aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	0,974	4,084	-3,110
$0.5 - 1.0$	0,560	0,792	-0,232
$1.0 - 3.0$	0,688	0,173	0,516
$3.0 - 5.0$	0,214	0,020	0,194
$5.0 - 10.0$	0,207	0,015	0,192
> 10	0,060	0,005	0,055

Partikkelmålinger - Lett aktivitet - Omregnet til massekonsentrasjon

Tabell 5.13 viser resultatene av omregning til massekonsentrasjon. Utregningen baseres på samme situasjon som antallkonsentrasjonsmålingen i tabell 5.12.

Partikler i fraksjonen $N_{5.0-10.0}$ dominerer målingene, spesielt innendørs. Den indikative verdien for $PM_{2.5}$ er lavere enn grenseverdien. Den indikative verdien for PM_{10} er derimot over dobbelt så høy som grenseverdien, og over dobbelt så høy som hall 1 og hall 2. Dette kan indikere tørre forhold i hallen, som samsvarer med den lave relative fuktigheten i hallen. Videre samsvarer dette også med funnene i antallkonsentrasjon, som viser en svært betydelig økning av grove partikler under aktivitet, sannsynligvis grunnet oppvirvling.

Tabell 5.13: Partikkelmålinger – Hall 3. Lett aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne ($\mu g/m^3$)**	**Ute ($\mu g/m^3$)**	**Δ (Inne–Ute)**
0.3 – 0.5	0.039	0.164	-0.125
0.5 – 1.0	0.148	0.210	-0.061
1.0 – 3.0	3.460	0.869	2.591
$PM_{2.5}$ (sum)	**3.647**	**1.243**	**2.404**
3.0 – 5.0	8.609	0.790	7.819
5.0 – 10.0	54.939	4.071	50.868
PM_{10} (sum)	**67.196**	**6.104**	**61.092**

5.6 Oppsummering av resultater hall 3

Tabell 5.14 viser et velfungerende inneklima som samsvarer med ventilasjonsprinsippet. Balansert mekanisk ventilasjon med høyt avtrekk og delvis styring via SD-anlegget gir et lavt gjennomsnitt på 487 PPM CO_2 og en toppverdi på 752 PPM. Dette er godt under anbefalte grenseverdier. Det observerte konsentrasjonsfallet om morgenen før bruk indikerer ett tidsstyrt anlegg. Innetemperaturen på 13.5°C ligger over anbefalingen på 12°C og er stabil gjennom hele perioden. Dette tyder på effektiv varmegjenvinning og god regulering av tilluften. Den relative fuktigheten på 46.5% ligger innenfor intervallet på 40-60%. Gjennomsnittlig ΔT på 11.2°C gir god margin før det dannes kondens.

Tabell 5.14: Oppsummering – Hall 3.

Parameter	**Gjennomsnitt**	**Minimum**	**Maksimum**
T_{inne} [°C]	13,5	12,5	18
T_{ute} [°C]	-1,9	-12,3	4,5
RH_{inne} [%]	46,6	33	52,5
$\Delta T = T_{\text{inne}} - T_{d,\text{inne}}$ [°C]	11,2	9,7	15,4
$\text{CO}_{2\text{inne}}$ [ppm]	487	273	752

Tabell 5.15 viser sammenligning av partikkelkonsentrasjon for uten mot lett aktivitet. Differansen viser en tydelig økning i antall grove partikler, som indikerer økt oppvirvling ved aktivitet. Partikler i intervallet $N_{0.3-0,5}$ viser en nedgang ved aktivitet. Dette kan skyldes at de virvles opp og ut av oppholdssonen. Partikler i intervallet $N_{0.5-1.0}$ viser derimot en økning ved aktivitet, som kan sammenfalle ved at de med er tyngre, og dermed ikke blir virvlet like høyt som de enda finere fraksjonene. Dette kan også være tilfeldig. Den høye indikative massekonsentrasjonen kan samsvare med at hallen har relativt lavt innhold av fuktighet i luften i forhold til de andre hallene.

Tabell 5.15: Partikkelmålinger – Hall 3. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og aktivitet. Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Ingen aktivitet**	**Aktivitet**	**Δ (Aktivitet–Ingen)**
$0.3 - 0.5$	2,055	0,974	-1,081
$0.5 - 1.0$	0,397	0,560	0,163
$1.0 - 3.0$	0,223	0,688	0,465
$3.0 - 5.0$	0,027	0,214	0,187
$5.0 - 10.0$	0,012	0,207	0,195
> 10	0,003	0,060	0,057

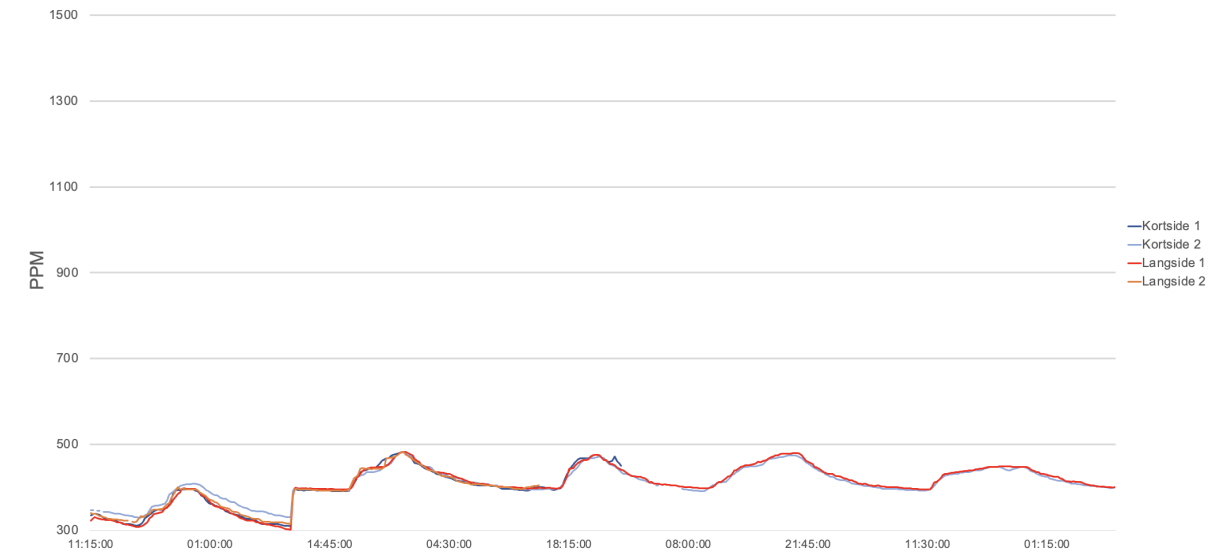
5.7 Hall 4

Målinger for hall 4 ble gjennomført i perioden 25.02-2.03. Under målingene ble to av CO_2-sensorene sparket ned, men to fungerte videre. Den første nedsparkede sensoren var fungerende i 52 timer, og den andre i 62 timer. Sensorene som ble påvirket var langs kortside 1 og langside 2.

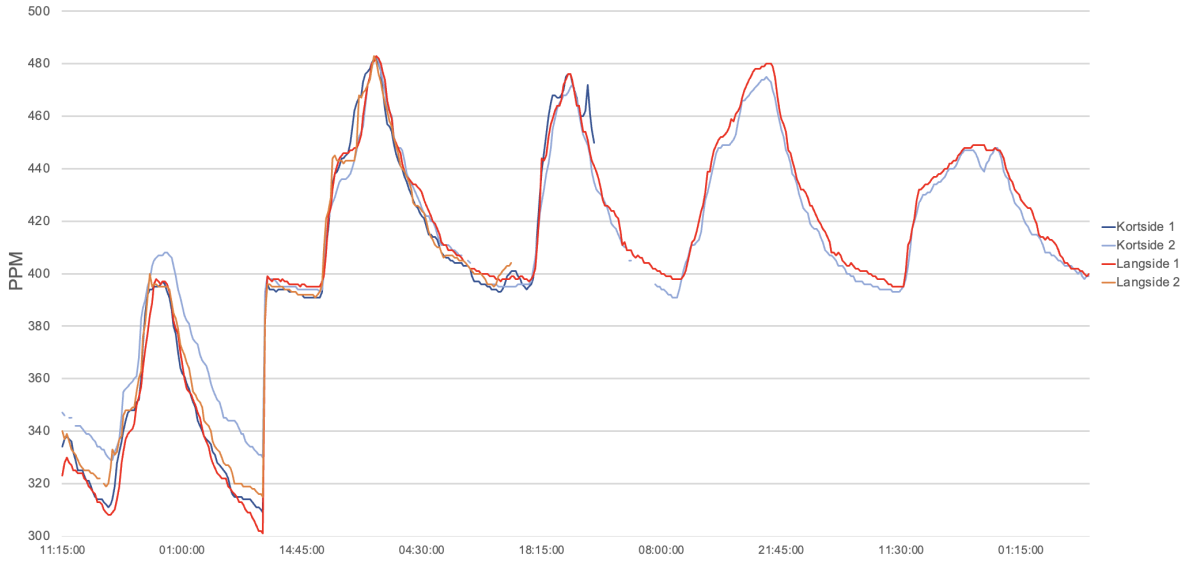
5.7.1 CO_2-Målinger

Figur 5.14 og 5.15 viser CO_2-konsentrasjonen i måleperioden. I disse periodene varierte konsentrasjonen mellom omtrent 400 PPM og 480 PPM, med topper på ettermiddag/kveld. Konsentrasjonstoppene var høyest sent på kvelden, rundt kl. 23:00, før den sank kontinuerlig til under 400 påfølgende morgen omtrent kl 10:00. Dette indikerer kontinuerlig drift av ventilasjonsanlegget. Seksjonen i perioden 23:00-10:00 er uniforme og tyder på lik ventilering på kveldstid.

Grafene viser også en svært rask stigning fra 300 PPM til 400 PPM fra morgenen til ettermiddag på dag 2. Samtlige målinger lå under 500 PPM, og det forekom ikke lengre perioder med forhøyet konsentrasjon. Kortside 2 hadde to perioder hvor den ikke logget under måledøgn 2 og 3. Under måledag to hadde alle sensorene en periode med unaturlig bratt stigning fra 300 PPM til omtrent 400 PPM. Den raske stigningen kan skyldes en automatisk basisjustering i sensoren, men dette er ikke verifisert.



Figur 5.14: CO_2-målinger - Hall 4

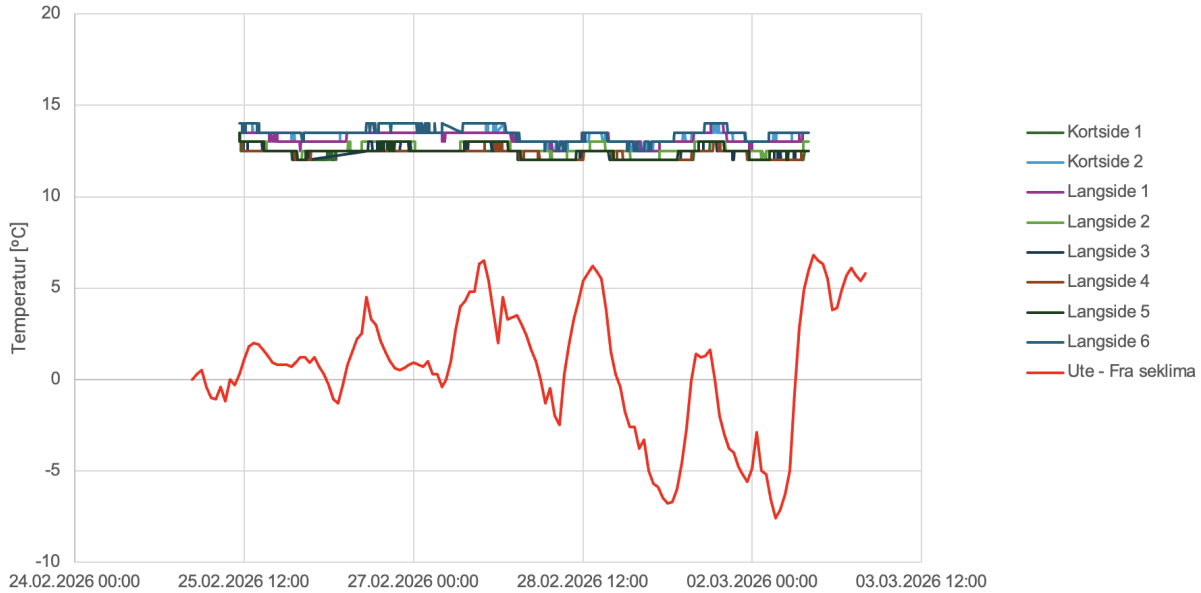


Figur 5.15: CO_2-målinger (Tilpasset intervall) - Hall 4

5.7.2 Relativ fuktighet, duggpunkt og temperatur

Temperatur

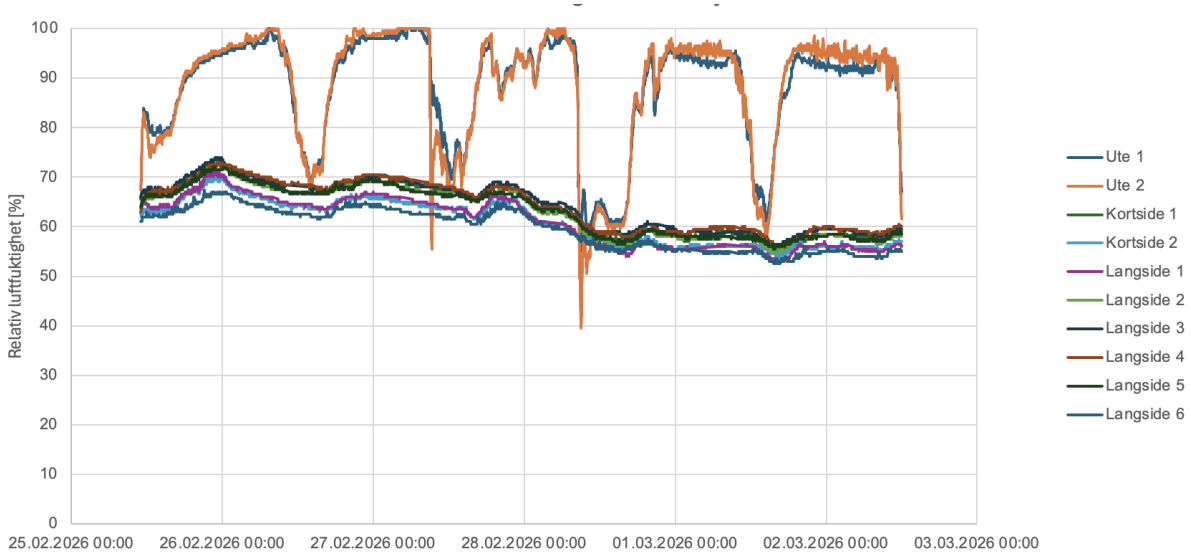
Figur 5.16 viser at innetemperaturen i hallen var konstant mellom 12-14 C°, uten nevneverdige sprang i temperatur. Gjennomsnittstemperaturen innendørs var i perioden 12,8 C°. Temperaturen ute var varierende mellom omtrent -7 til 6 C°. Figuren viser at innetemperaturen i svært liten grad påvirkes av kaldere temperaturer ute.



Figur 5.16: Temperaturmålinger - Hall 4

Relativ luftfuktighet

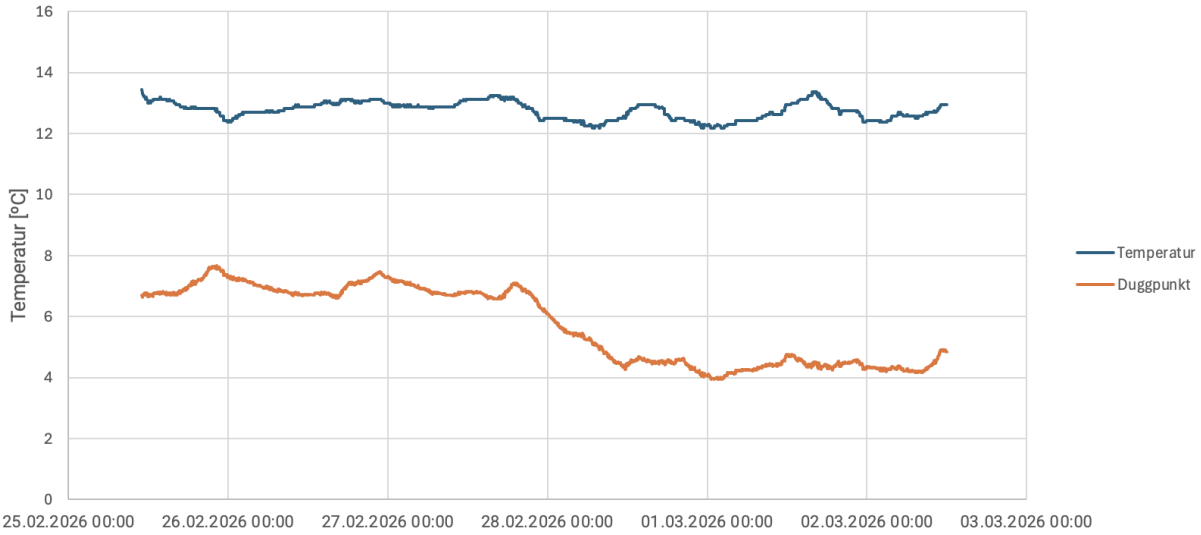
Figur 5.17 viser at relativ luftfuktighet innendørs varierte fra et minimum på 52,5 % til et maksimum på 73 %. Det observeres store svingninger i målingene tatt utendørs, med variasjoner fra 40 % til 100 %. Tidspunktene med lavest relativ fuktighet kommer midt på dagen samtidig som sol-eksponeringen er høyest. De innendørs målingene viser tilnærmet like verdier gjennom måleperioden, med små variasjoner fra plasseringen av sensorene. Gjennomsnittsverdien for innemålingene i perioden var 62,5 %.



Figur 5.17: Relativ luftfuktighet- Hall 4

Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur

Figur 5.18 viser gjennomsnittet av alle målepunkter innendørs for både temperatur og duggpunkt. Differansen mellom temperatur og duggpunktstemperatur, ΔT, varierte i perioden mellom 5,1 C° og 8,9 C°. Gjennomsnittlig ΔT var i perioden 7 C°.



Figur 5.18: Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur- Hall 4

5.7.3 Partikkelmålinger

Partikkelmålingene for hall 4 ble utført samme dag, før og rett etter aktivitet. Det ble derfor foretatt én utemåling for begge situasjonene. Tidsdifferansen mellom målingene er omtrent én time, og det kan derfor forventes at utemålingen er representativ for begge situasjonene.

Partikkelmålinger - Ingen aktivitet

Tabell 5.16 viser partikkelmålingene for hall 4. Konsentrasjonen av de fine partiklene er noe høyere utendørs enn innendørs. Forskjellene er derimot små relativt til de andre hallene. Konsentrasjonen av de grovere partiklene er gjennomgående høyere for partiklene inne enn ute.

Tabell 5.16: Partikkelmålinger – Hall 4. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier er gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	3,443	3,617	-0,174
$0.5 - 1.0$	0,381	0,526	-0,145
$1.0 - 3.0$	0,102	0,098	0,005
$3.0 - 5.0$	0,014	0,012	0,001
$5.0 - 10.0$	0,014	0,008	0,006
> 10	0,005	0,001	0,004

Partikkelmålinger - Lett aktivitet

Tabell 5.17 viser partikkelmålinger for hall 4, med lett aktivitet; 14 personer som benyttet halve spilleflaten. De fine partiklene er høyere ute enn inne. De grovere partiklene er gjennomgående høyere inne enn ute.

Tabell 5.17: Partikkelmålinger – Hall 4. Aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	3,187	3,617	-0,430
$0.5 - 1.0$	0,375	0,526	-0,151
$1.0 - 3.0$	0,118	0,098	0,020
$3.0 - 5.0$	0,024	0,012	0,012
$5.0 - 10.0$	0,028	0,008	0,020
> 10	0,011	0,001	0,010

Partikkelmålinger - Lett aktivitet - Omregnet til massekonsentrasjon

Tabell 5.18 viser resultatene av omregning til massekonsentrasjon. Utregningen baseres på samme situasjon som antallkonsentrasjonsmålingen i tabell 5.17.

Denne hallen skiller seg tydelig fra de andre. De indikative verdiene for både $PM_{2.5}$ og PM_{10} er lavere enn grenseverdiene. Videre er PM_{10}-verdien omtrent 3 ganger lavere enn hall 1 og 2 og omtrent 7 ganger lavere enn hall 3.

Tabell 5.18: Partikkelmålinger – Hall 4. Lett aktivitet: massekonsentrasjon inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdier gitt i $\mu g/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne ($\mu g/m^3$)**	**Ute ($\mu g/m^3$)**	**Δ (Inne–Ute)**
0.3 – 0.5	0.128	0.145	-0.017
0.5 – 1.0	0.099	0.139	-0.040
1.0 – 3.0	0.591	0.490	0.101
$PM_{2.5}$ (sum)	**0.819**	**0.774**	**0.046**
3.0 – 5.0	0.962	0.488	0.474
5.0 – 10.0	7.363	1.988	5.375
PM_{10} (sum)	**9.144**	**3.251**	**5.893**

5.8 Oppsummering av resultater hall 4

Tabell 5.19 viser den mest stabile driften av samtlige haller, og funnene samsvarer med ventilasjonsprinsippet. Omrøringsventilasjon fra to aggregat med samlet volum på 38 000 m^3/h med SD-styring kombinert med ett luftvolum på 124 000m^3 holdes CO_2 konsentrasjonen på gjennomsnittlig 403 PPM. Toppverdien blir ikke høyere enn 483 PPM. Verdiene ligger gjennomgående tett opp mot uteluftnivå. Dette tyder på kontinuerlig drift og effektiv fortynning på tross av stor kastelengde. Gjennomsnittlig innetemperatur på 12.8°C. Den er stabil mellom 12 og 14°C. Dette er i tråd med anbefalinger. Den gjennomsnittlige relative luftfuktigheten er på 62.6%. Dette er i øvre sjikt av anbefalt intervall, og kan ses sammen med jevnlig vanning av kunstgresset. ΔT på 7°C gir tilstrekkelig margin mot kondens, men lavere margin enn hallene som ikke vannes.

Tabell 5.19: Oppsummering – Hall 4.

Parameter	**Gjennomsnitt**	**Minimum**	**Maksimum**
T_{inne} [°C]	12,8	12	14
T_{ute} [°C]	-0,6	-7,6	6,8
RH_{inne} [%]	62,6	52,5	74
$\Delta T = T_{\text{inne}} - T_{d,\text{inne}}$ [°C]	7	5	8,9
$\text{CO}_{2\text{inne}}$ [ppm]	403	301	483

Tabell 5.20 viser sammenligning av partikkelmålinger ved ingen aktivitet og lett aktivitet. Konsentrasjonen av partikler i intervallet $N_{0.3-0.5}$ er lavere ved aktivitet. Det samme er $N_{0.5-1.0}$, men det er mindre markant. Videre er det en gjennomgående økning av grovere partikler, som indikerer resuspensjon av partikler under aktivitet. Likevel er det viktig å poengtere at svevestøvsnivåene gjennomgående er på et lavere nivå enn alle de andre hallene ved tilsvarende bruk. Dette kan mulig forklares ved hallens store volum, og mekanisk ventilasjon ved bruk av to aggregat. Videre er mulig høyere relativ luftfuktighet, spesielt i forhold til hall 3, en forklaring.

Tabell 5.20: Partikkelmålinger – Hall 4. Sammenlikning av gjennomsnitt inne ved ingen aktivitet og aktivitet. Verdier gitt i $\times 10^6$ $\#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Ingen aktivitet**	**Aktivitet**	**Δ (Aktivitet–Ingen)**
$0.3 - 0.5$	3,443	3,187	-0,256
$0.5 - 1.0$	0,381	0,375	-0,006
$1.0 - 3.0$	0,102	0,118	0,016
$3.0 - 5.0$	0,014	0,024	0,010
$5.0 - 10.0$	0,014	0,028	0,014
> 10	0,005	0,011	0,006

5.9 Hall 5

Målingene ble gjennomført i perioden 13.03 til 17.03.

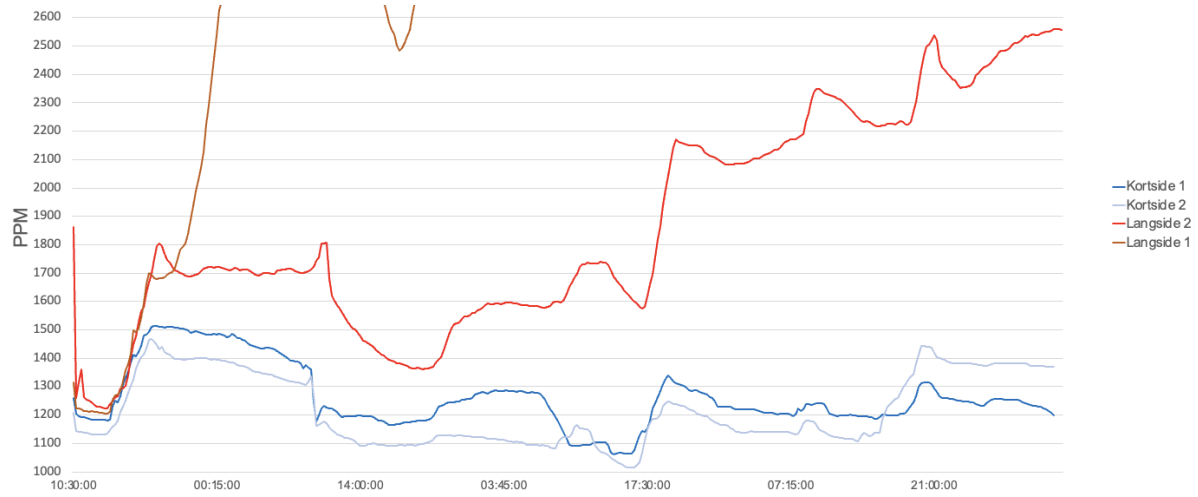
To av sensorene sluttet å fungere, sannsynligvis på grunn av den høye fuktigheten i hallen. Dette medførte sannsynligvis at ihvertfall to av sensorene rapporterte feilaktig fra midt på dagen i måledøgn 1.

5.9.1 CO2-Målinger

Figur 5.19 og 5.20 viser CO_2-konsentrasjonen under måleperioden for hall 5. Målingene viser store variasjoner mellom sensorene. Ingen av sensorene målte i perioden verdier under 1000 PPM. Videre varierer konsentrasjonen mellom 1000 og 1500 PPM for to av sensorene, mens de to andre målte verdier på 2500 PPM og oppover. Vurderingen som ble gjort er at to av sensorene sannsynligvis fungerte under måleperioden, og at de to andre sannsynligvis har rapportert feil grunnet kondens. Målingene fra de fungerende sensorene hadde konsentrasjonstopper på ettermiddag/kveld, som forble forhøyet fram til neste aktivitet på ettermiddag/kveld. Bratte fall i konsentrasjon tyder på utlufting av hallen.



Figur 5.19: CO_2-målinger - Hall 5

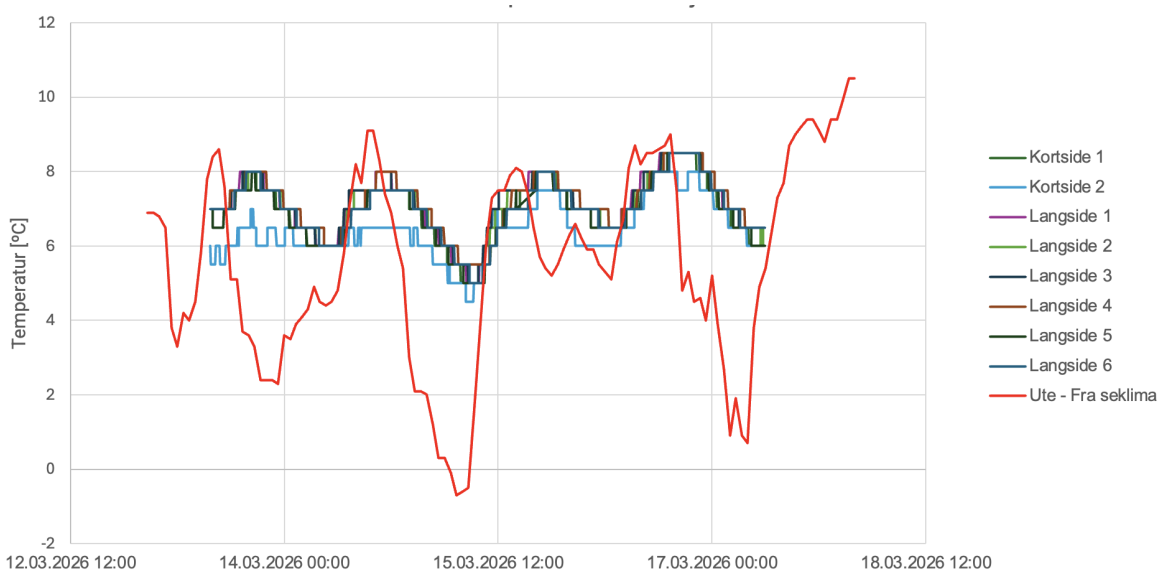


Figur 5.20: CO_2-målinger (Tilpasset intervall) - Hall 5

5.9.2 Relativ fuktighet og temperatur

Temperatur

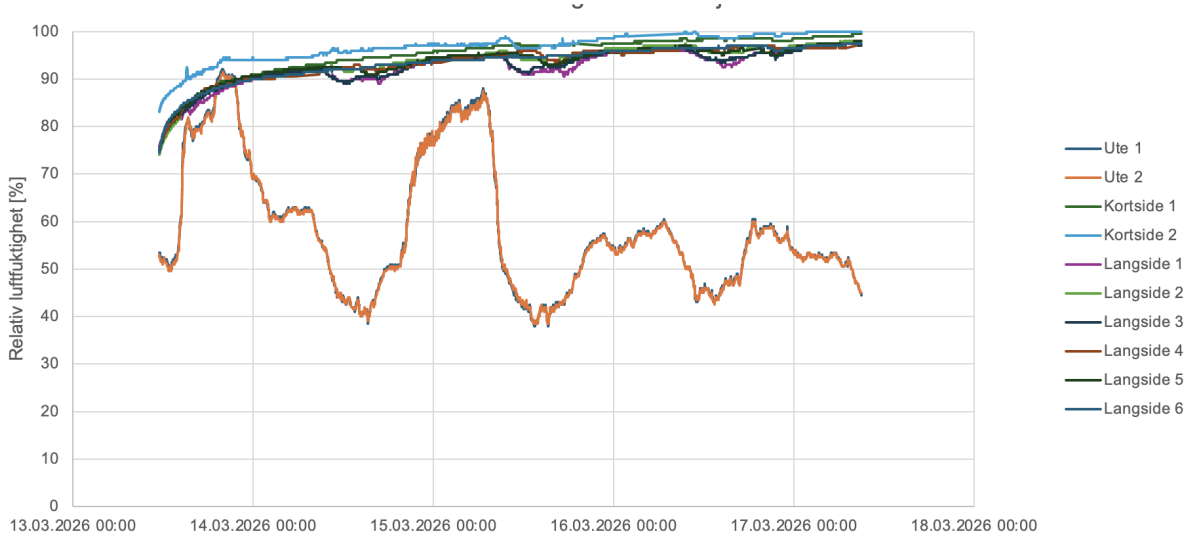
Figur 5.21 viser at temperaturen innendørs varierte i perioden fra 4,5 til 8,5 C°. Gjennomsnittstemperaturen var 7 C°. Utetemperaturen varierte mellom -3,5 og 11,5 C°. Sensoren på kortside 2 viste forskjell fra resten av sensorene i flere perioder, men aldri større enn 1 C°. Temperaturen var høyest på ettermiddag/kveld, før den sank gjennom natten. Utetemperaturen er her tilnærmet lik data fra værstasjon. Utemålingene anses derfor som gode.



Figur 5.21: Temperatur - Hall 5

Relativ luftfuktighet

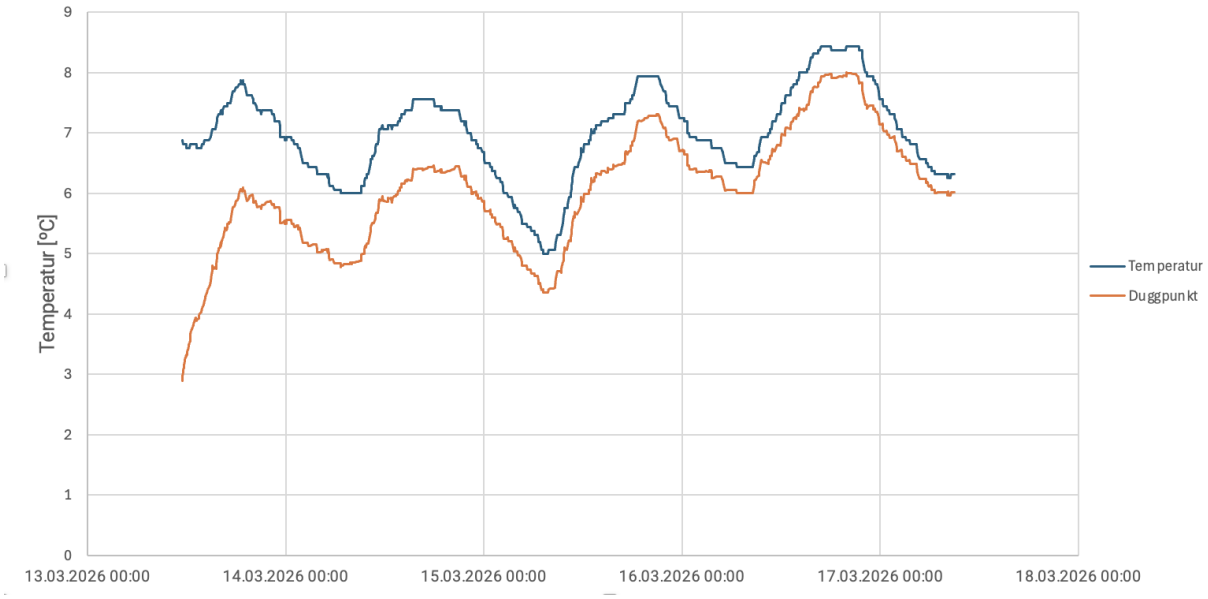
Figur 5.22 viser at relativ luftfuktighet gjennom hele perioden var svært høy, med et gjennomsnitt på 93,9 %. Maksimal verdi målt var 100%, mens den laveste verdien var 74%. Alle sensorene målte fra den 14.03 og ut perioden verdier over 90%. Utendørs var fuktigheten på det høyeste 94,5% og på det laveste 38,5%.



Figur 5.22: Relativ luftfuktighet - Hall 5

Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur

Figur 5.23 viser at gjennomsnittlig forskjell mellom innetemperatur og duggpunktstemperatur var 0,9 C°. Høyeste og laveste ΔT var henholdsvis 3,9 og 0,3 C°. Dette viser stor risiko for kondens på alle flater innendørs. Det ble observert kondens på veggene i forbindelse med målingene.



Figur 5.23: Sammenligning temperatur og duggpunktstemperatur - Hall 5

5.9.3 Partikkelmålinger

For hall 5 foreligger kun målinger uten aktivitet, da utesesongen hadde begynt og aktivitetsmålinger ikke lot seg gjennomføre. Dette innebærer også at omregning til massekonsentrasjon ikke er medtatt, da dette er mest hensiktsmessig å undersøke når hallen faktisk er i bruk.

Partikkelmåling - Ingen aktivitet

Tabell 5.21 viser partikkelmåling for hall 5 uten aktivitet. Målingene domineres innendørs av fine partikler, som er svært mye høyere enn målingene utendørs, spesielt for intervallet $N_{0.3-0.5}$. De grove fraksjonene ligger gjennomgående lavere inne i forhold til ute. Hallen har ingen ventilasjon eller omrøring, og den høye antallkonsentrasjonen inne kan tyde på at fine partikler akkumuleres når luften ikke skiftes ut tilstrekkelig.

Tabell 5.21: Partikkelmålinger – Hall 5. Ingen aktivitet: gjennomsnitt inne sammenliknet med samtidig utendørs referanse. Verdiene representerer differensierte målekanaler ($\Delta\#$) og er gitt i $\times 10^6\ \#/m^3$.

Partikkelstørrelseintervall [μm]	**Inne**	**Ute**	**Δ (Inne–Ute)**
$0.3 - 0.5$	19,567	0,722	18,845
$0.5 - 1.0$	1,526	0,291	1,235
$1.0 - 3.0$	0,319	0,431	-0,112
$3.0 - 5.0$	0,089	0,146	-0,057
$5.0 - 10.0$	0,031	0,164	-0,133
> 10	0,002	0,041	-0,039

5.10 Oppsummering av resultater hall 5

Tabell 5.22 viser et inneklima i ytterpunktet. Dette samsvarer med fravær av ventilasjon. Uten kontinuerlig luftutskifte akkumulerer CO_2 til verdier som ligger langt over anbefalt grense på 1000 PPM. Selv om gjennomsnittet og toppverdien er sterkt påvirket av sensorbortfall, viser de fungerende sensorene at konsentrasjonen aldri sank under 1000 PPM i måleperioden. Bratte fall i grafen knyttes til manuell utlufting ved åpning av garasjeporten eller hoveddør. Gjennomsnittlig relativ luftfuktighet ligger på 94% og ΔT på 0.9°C. Det mest kritiske med dette funnet er den lave ΔT. Så lave verdier gir stor fare for kondens, noe som også ble observert i måleperioden. Den lave innetemperaturen på 7°C henger sammen med at oppvarmingen er skrudd av. At to av CO_2 sensorene faller bort bekrefter et ekstremt inneklima.

Tabell 5.22: Oppsummering – Hall 5.

Parameter	**Gjennomsnitt**	**Minimum**	**Maksimum**
T_{inne} [°C]	7	4,5	8,5
T_{ute} [°C]	1,1	-7,2	7,8
RH_{inne} [%]	94	74	100
$\Delta T = T_{\text{inne}} - T_{d,\text{inne}}$ [°C]	0,9	0,3	4,0
$\text{CO}_{2\text{inne}}$ [ppm]	2434*	612*	10 000*

** Sterkt påvirket av sensorbortfall, sannsynlig pga. kondens. Verdiene må tolkes med forsiktighet.*

6 Diskusjon

Inndelingen i dette kapittelet parametervis, og hvert delkapittel tar for seg én parameter på tvers av hallene. Dette gjøres for å tydeliggjøre forskjeller mellom hallene. Først diskuteres premissene for sammenligning på tvers av hallene.

6.1 Premisser for sammenligning

6.1.1 Halltyper, volum og bygningskonstruksjon

De fem testobjektene varierer betydelig i både størrelse, utforming og alder. Dette gjør direkte sammenligning utfordrende. Hall 2 og hall 4 er storhaller med spilleflate på henholdsvis 66x100m og 68x108m, og tilhørende luftvolum på ca 110 000m^3 og 124 000m^3. Hall 1, 3 og 5 er treningshaller med spilleflate på rundt 40x60m og luftvolum mellom 16 800m^3 og 18 000m^3. Det store spennet i volum får direkte konsekvenser for hvordan en gitt forurensningskilde slår ut på målte konsentrasjoner. I et stort volum vil samme personbelastning eller emisjon gi lavere konsentrasjon enn i et lite volum, selv uten luftutskifte.

Byggeåret til hallene spenner fra 2013 med hall 2 til 2025 med hall 4. Dette gjenspeiles i de tekniske løsningene. De nyere hallene (Hall 1, 3 og 4) har balansert mekanisk ventilasjon med SD-anlegg, mens hall 2 og 5 ikke har mekanisk ventilasjon. Sammenligningen mellom hallene må derfor leses mer som en sammenligning av ulike løsningstyper enn som en isolert sammenligning av like anlegg.

6.1.2 Aktivitetsnivå og bruksmønster

Personbelastningen under måleperiodene var ulik, og ikke mulig å forutse basert på hallens aktivitetsplan. Dette medfører at absoluttverdiene for partikkelmålingene under aktivitet, dersom aktiviteten var høyere enn ”lett”, ikke kan sammenlignes helt direkte på tvers. Målinger som er gjort uten aktivitet ansees derimot som direkte sammenlignbare.

Av samme grunn må også CO_2-toppene tolkes i sammenheng med bruksmønsteret. Hall 1 hadde deler av måleperioden arrangert cup med 250-300 personer, mens de øvrige hallene hadde mer ordinær trening- og skolebruk. Hall 5 ble målt i overgangen mellom inne- og utesesong. Det var derfor ikke mulig å gjennomføre partikkelmålinger under aktivitet i denne hallen.

6.1.3 Måleperiode og værforhold

Måleperioden strakk seg fra 11. februar til 17. mars. Hall 1-4 ble målt sammenhengende i februar og begynnelsen av mars under stabile værforhold. Hall 5 ble målt i perioden 13.03-17.03 da utetemperaturen og fuktighetsforholdene utendørs var betydelig endret. Hall 5 hadde i måleperioden utetemperatur mellom -3,5 og 11°C, mens hall 1 i februar hadde utetemperatur ned mot -13°C. Uteklimaet i hall 5 sin måleperiode ga høyere utvendig fuktighet og lavere drivkraft for uttørking.

6.1.4 Drifts-og styringsstrategier som uavhengig variabel

De fem hallene representerer ulike driftsstrategier som beskrevet i kapittel 2.6.3. Hall 1, 3 og 4 har delvis behovsstyring gjennom SD-anlegg som tar inn målte verdier for temperatur, CO_2 og fukt. Styringen gjøres videre ved manuell bestemmelse av settpunkter. Hall 2 har manuell styring av oppvarming og utlufting, mens hall 5 i praksis ikke har en aktiv driftsstrategi for inneklima fordi oppvarmingen var skrudd av denne sesongen for å unngå kondens. Dette spennet i driftsstrategier gjør at strategien i seg selv blir en av de viktigste forklaringsvariablene for forskjellene som er observert.

6.2 CO_2-konsentrasjon og luftutskifte

Tabell 6.1: Sammenlikning av CO_2 (ppm) på tvers av haller.

Metrikk	**Hall 1**	**Hall 2**	**Hall 3**	**Hall 4**	**Hall 5**
CO_2 (gj.snitt)	629	872	487	403	2434*
CO_2 (min)	387	583	273	301	612*
CO_2 (maks)	1333	1098	752	483	10 000*

Hall 5 er sterkt påvirket av sensorbortfall pga. kondens.

Sammenheng mellom målt verdi og ventilasjonsstrategi

Tabell 6.1 viser en sammenligning av målte CO_2-konsentrasjoner for alle hallene.

Resultatene viser en tydelig sammenheng mellom ventilasjonsløsning og målt CO_2-konsentrasjon. De tre hallene med balansert mekanisk ventilasjon ligger jevnt under 800 PPM under normal

drift. Gjennomsnittet for hall 4 på 403 PPM lå under normale uteverdier på 420 PPM. Dette indikerer et høyt og kontinuerlig luftutskifte i forhold til personbelastning i måleperioden. Hall 2 som ikke har mekanisk ventilasjon hadde en gjennomsnittsverdi på 872 ppm gjennom hele måleperioden. Dette er på tross av et stort luftvolum på ca. 110 000m^3. At nivået ikke er enda høyere kan skyldes kombinasjonen av stort volum og aktiv bruk av brannluker og garasjeporter for utlufting. Hall 5 viser til tross for sensorbortfall gjennomgående høye verdier som indikerer utilstrekkelig luftutskifte gjennom hele måleperioden.

Personbelastning

Hall 1 illustrerer at selv velfungerende anlegg presses ved ekstrem belastning. Under cup'en med 250-300 personer ble det målt toppverdier på 1300 PPM, mens normal bruk holdt seg under 800 ppm. Den raske normaliseringen til under 500 PPM før neste dags aktivitet indikerer likevel at anlegget har tilstrekkelig kapasitet til å fortynne CO_2 etter belastningstopper. I hall 3 og 4 holder konsentrasjonen seg langt under grenseverdien på 1000 PPM. Dette tyder på at disse anleggene er overdimensjonert i forhold til faktisk personbelastning i måleperioden, eller at belastningen var lavere enn normalbruk.

Effekt av tids/behovsstyring

Et tydelig mønster er forskjellen i hvordan CO_2 utvikler seg på natten. I hall 3 faller CO_2 konsentrasjonen svært sakte gjennom natten før den faller raskere fra kl 09:00. Dette tyder på at anlegget enten skrus av eller går i redusert drift om natten og starter opp om morgenen. Hall 4 viser derimot uniforme verdier gjennom hele natten, noe som indikerer kontinuerlig drift. Hall 1 normaliserer seg til under 500 PPM før neste dags bruk. Dette indikerer også kontinuerlig drift gjennom natten. Direkte sett opp mot grenseverdien på 1000 ppm, fungerer både ren behovsstyring og hybride løsninger. Kontinuerlig drift gir åpenbart større margin når aktivitetsnivået skifter brått.

6.3 Termisk miljø; temperatur og innetemperatur

Veileder for fotballhaller [4] angir 12°C som anbefalt innetemperatur. Av hallene som ble målt er det bare hall 3 med snitt på 13,4°C og hall 4 med 12,8°C som ligger over denne anbefalingen. Hall 1 (9,1°C), hall 2 (8,5°C) og hall 5 (7°C) ligger under. For hall 1 kan dette være et bevisst valg knyttet til energipriser og lave utetemperaturer i måleperioden. Det var desidert kaldest i måleperioden for hall 1. For hall 5 er det opplyst om at oppvarmingen er skrudd av denne sesongen for å hindre kondens.

Stabiliteten over døgnet varierer mellom hallene avhengig av oppvarmingsmetode. Hall 4 varmes opp via seks aerotempere på et lavtemperaturanlegg med bergvarmepumpe. Denne hallen har en svært stabil innetemperatur mellom 12°C og 14°C. Hall 3 varmes primært opp med tilluft og har tilsvarende stabil profil, men med en lavere temperatur. Hall 2 viser et særegent mønster der to målere registrer gjentakende temperaturer opp mot 13,5°C i underkant av en time på natt/kveld. Disse målingene er tatt i umiddelbar nærhet til propanbrennere. Dette tyder på en tidsstyrt oppvarmingssekvens som skaper lokal oppvarming nær varmekilden. Temperaturen ellers i hallen ligger lavere, men viser også tendenser til økt temperatur i tidsrommet hvor brennerene skrus på.

Sammenhengen mellom oppvarmingsmetode og temperatur er derfor sentral. Oppvarming via ventilasjon og lavtemperaturløsninger med aerotempere gir jevnere forhold, mens punktoppvarming via gass gir lokal temperaturvariasjon. For hall 5 fungerer ikke prinsippet i praksis denne sesongen ettersom oppvarmingen er deaktivert.

6.4 Fuktighet, duggpunkt og kondensrisiko

Gjennomgående i diskusjonen i dette kapittelet benyttes tabell 6.2 som forklaringsstøtte.

Tabell 6.2: Sammenlikning av temperatur, fukt og kondensmargin ($\Delta T = T - T_d$) på tvers av haller.

Parameter	**Hall 1**	**Hall 2**	**Hall 3**	**Hall 4**	**Hall 5**
T_{inne} (gj.snitt) [°C]	9,1	8,5	13,5	12,8	7,0
T_{ute} (gj.snitt) [°C]	-5,7	-0,3	-1,9	-0,6	1,1
RH_{inne} (gj.snitt) [%]	30,8	64,3	46,6	62,6	94,0
RH_{inne} (min) [%]	24,5	46,5	33	52,5	74,0
RH_{inne} (maks) [%]	37,5	71,5	52,5	74	100,0
ΔT (min) [°C]	14,2	5,3	9,7	5,0	0,3

Relativ fuktighet i relasjon med vanningsintervaller

Hall 1 og Hall 3 har desidert lavest gjennomsnittsverdi for fuktighet. Hall 1 vanner ikke dekket, mens hall 3 vannes omtrent en gang i måneden. Forskjellen i gjennomsnittsverdi er omtrent 15 %, noe som antyder at selv vanning én gang i måneden kan påvirke denne parameteren betydelig. Hall 4 ligger derimot høyest av de tre hallene, med vanningssyklus oppgitt til en gang i uken, og da med 4500 L. Dette underbygger at vanning er en dominerende kilde til fuktbelastning i hallene, og at både hyppighet og vanningsmengde må hensyntas ved vurdering

av ventilasjonsbehov.

Ekstrem fuktighet

Hall 5 representerer et ytterpunkt i denne oppgaven. Hallen målte i gjennomsnitt 94 % luftfuktighet under perioden. En gjennomsnittlig ΔT på 0,9 C° vil bety at kondens vil oppstå på overflater som er marginalt kaldere enn luften. Ved kuldebroer og partier hvor isolasjonsevnen til materialet er lav er dette en kontinuerlig prosess, og ikke en enkelthendelse. Kondens ble også observert på vegger og tak under måleperioden. Langtidskonsekvensene av dette innebærer økt risiko for både muggvekst og korrosjon i konstruksjonen, som er beskrevet i teori kapittel 2.4.4. Dette viser at å etablere en form for utlufting, enten ved mekanisk ventilasjon eller faste rutiner for åpning av luker/dører er viktig for å holde fuktigheten på et lavt nok nivå.

Sammenligning av hallene uten ventilasjon

Hall 2 og hall 5 er de to eneste hallene uten mekanisk ventilasjon, men likevel er fuktbelastningen betydelig høyere i hall 5 enn i hall 2. Temperaturen i hallene viser en gjennomsnittlig forskjell på 1.5 C°, og det er ikke spesifisert at de vanner dekket.

Hall 2 har et mye høyere volum enn hall 5, som vil medføre økt fortynning av fukt i luftmassene. Dette vil i praksis innebære at fuktbelastningen øker saktere i hall 2.

Videre kan drift av anleggene benyttes som forklaringsvariabel. Dersom hall 2 oftere åpner eksempelvis brannluker eller garasjeporter, og i tillegg benytter viftene for å øke omrøringen av luftmassene, vil dette kunne bidra til å senke den relative fuktigheten.

En annen forklaring kan være infiltrasjon. Effekten av infiltrasjon er ikke undersøkt i denne oppgaven, men dette kan også være en medvirkende faktor til de lavere nivåene i hall 2.

Sammenligning hall 2 og 4 - Lik gjennomsnittsfuktighet - Ulike årsaker

Hall 2 og hall 4 har omtrent like gjennomsnittsverdier for fuktighet gjennom perioden. Men årsakene er sannsynligvis forskjellige. Hall 2 har ikke mekanisk luftutskifting, men viser likevel høye fuktighetsverdier. Hall 4 har mekanisk luftskifting, men måler høyere verdier på grunn av relativt hyppig vanning med vannmengder på omtrent 4500 L pr. syklus. Dette viser at selv med mekanisk ventilasjon, noe som bekrefter vanning må hensyntas under dimensjonering, slik at den gjennomsnittlig ikke ligger over 70 %.

Ventilasjon som en sikring mot kondens og fukt

Hall 2 og Hall 5 sammenlignet mot resten viser tydelig at luftutskifting spiller en sentral rolle i å ivareta akseptable verdier for innendørs fuktighet. Dette vises også i bygningskroppen til både hall 2 og hall 5; det er tydelige merker som med høy sannsynlighet skyldes høyere luftfuktigheter over lengre perioder. Hall 4 har i forhold til hall 1 og 3 høyere verdier som følge av vanning, og det er essensielt at dette hensyntas og kontrolleres i driften av anlegget.

Samlet sett viser analysen at fuktbelastningen i hallene styres av et samspill mellom ventilasjon, vanning, hallvolum og drift. Manglende luftutskifting gir høyere fuktighetsbelastning, spesielt i mindre haller med lavere luftvolum.

Samtidig viser analysen at selv haller med mekanisk ventilasjon kan ha høyere fuktbelastning på grunn av både vanningsintervall og mengde. Dette betyr at informasjon om planlagt vanningsmengde og intervall er essensielt under prosjektering av nye anlegg.

6.5 Partikkelmålinger

Tabell 6.3 og 6.4 benyttes som forklaringsstøtte i diskusjonen av partikkelmålingene. Premissene for sammenligningen er at de er basert på målinger ved lett/moderat aktivitet, for å vise nivåer som kan forventes ved en typisk brukssituasjon. Merk at målingene er representative for et øyeblikksbilde, og dermed ikke kan generaliseres for alle fotballhaller.

Aktivitet og partikkelkonsentrasjon

Sammenhengen mellom økt aktivitet og økte nivåer av grove partikler $> N_{1.0}$ er fremtredende i alle haller. Økningen kan forklares ved både oppvirvling av allerede akkumulert støv, samt at mekanisk belastning på underlaget kan øke emisjonen. I en tilsvarende studie ble det også observert at grove partikler øker ved bruk. [20] *Merk at antallkonsentrasjonen for hall 3 sammenlignet med hall 1 er over dobbelt så høy for partikler i intervallet $N_{3.0-5.0}$. Dette kan skyldes aktivitet som ikke har blitt observert i forkant av målingen, ettersom en senere måling med høyere personbelastning viste tilsvarende nivåer.

Akkumulering av finfraksjonspartikler i haller uten ventilasjon

Hall 2 har en avvikende verdi i forhold til resten for den fineste fraksjonen. Denne målingen er svært mye høyere enn resten. Målingen ble foretatt omtrent en måned senere enn de øvrige,

etter en periode med lite bruk av hallen. Dette kan ha ført til opphopning av finfraksjonspartikler som følge av manglende ventilasjon og utilstrekkelig luftutskiftning. Hall 5, som ikke ble målt ved aktivitet hadde også høye verdier av den fineste fraksjonen, dog målt uten aktivitet. Siden begge hallene mangler ventilasjon, indikerer dette på at manglende luftutskiftning kan bidra til akkumulering av de fineste partiklene.

Tabell 6.3: Sammenligning av antallkonsentrasjon ved ingen aktivitet og aktivitet for de ulike hallene. Verdier gitt i $\times 10^6$ #/m^3.

Hall	**Tilstand**	$N_{0.3–0.5}$	$N_{0.5–1.0}$	$N_{1.0–3.0}$	$N_{3.0–5.0}$	$N_{5.0–10.0}$
Hall 1	Ingen aktivitet	3.320	0.509	0.261	0.031	0.016
	Lett Aktivitet	2.782	0.704	0.527	0.109	0.096
Hall 2	Ingen aktivitet	39.909	1.078	0.129	0.025	0.029
	Moderat Aktivitet	2.599	0.571	0.416	0.108	0.096
Hall 3	Ingen aktivitet	2.055	0.397	0.223	0.027	0.012
	Lett Aktivitet	0.974	0.560	0.688	*0.214	*0.207
Hall 4	Ingen aktivitet	3.443	0.381	0.102	0.014	0.014
	Lett Aktivitet	3.187	0.375	0.118	0.024	0.028
Hall 5	Ingen aktivitet	19.567	0.854	0.112	0.013	0.010
	Aktivitet	-	-	-	-	-

Ekstremsituasjon mot lett aktivitet

Det ble også foretatt støvmålinger ved to anledninger med høy aktivitet. Dette gjaldt for hall 1 og hall 3. For hall 1 var dette ved en cup med omtrent 250 personer tilstede. For hall 3 var dette spill på hele flaten med omtrent 100 personer tilstede. Denne sammenligningen medtas for å se på sammenhengen mellom ytterligere økt aktivitet og partikkelnivå. I tabell 6.4 vises sammenligning av antallkonsentrasjonen ved høy aktivitet og lett aktivitet.

Tabell 6.4: Sammenligning av antallkonsentrasjon ved høy og lav aktivitet

PM [μm]	**Hall 1**		**Hall 3**	
	Høy aktivitet	Lett aktivitet	Høy aktivitet	Lett aktivitet
0.3-0.5	6.702	2.782	7.564	0.974
0.5-1.0	3.036	0.704	0.757	0.560
1.0-3.0	3.986	0.527	0.509	0.688
3.0-5.0	1.117	0.109	0.172	0.214
5.0-10.0	0.958	0.096	0.192	0.207

Det observeres en betraktelig økning i antall partikler av alle fraksjoner i hall 1. I hall 3 er

økningen kun gjeldende for de fineste fraksjonene $N_{0.3-1.0}$. Dette kan trolig skyldes den uvanlig høye verdien til hall 3 for lett aktivitet. Dette gjør det utfordrende å trekke tydelige konklusjoner om sammenhengen mellom personbelastning og partikkelnivå i hall 3.

Likevel ligger begge målingene aktivitetsmålingene for hall 3, omregnet til massekonsentrasjon, over dobbelt så høyt som anbefalt grenseverdi for PM_{10}.

For hall 1 vil antallkonsentrasjonen omregnet til en indikativ PM_{10}-verdi være 320 $\mu g/m^3$, noe som er omtrent 10 ganger høyere enn anbefalt grenseverdi.

Fuktighet og partikkelkonsentrasjon

Det var på forhånd forventet at høyere fuktighet ville redusere partikkelnivåer ved at støvpartiklene bindes sammen med vannmolekyler i luften, og deretter avsettes på overflater. Dette styrkes av en studie gjort i lukkede klasserom, hvor man så at massekonsentrasjonen i både størrelsesorden $PM_{2.5}$ og $PM_{10.0}$ viste lavere verdier når fuktigheten ble økt. [39] Dette avsnittet diskuterer sammenhenger mellom fuktighet og partikkelkonsentrasjon i hallene med ventilasjon.

Hall 1 og 3 er haller som er sammenlignbare i størrelse, ventilasjonsprinsipp og ved ifyllstype. Hall 3 har oppgitt et vanningsintervall på omtrent én gang i måneden, men da med relativt små mengder. Hallen har omtrent 15 % høyere gjennomsnittlig luftfuktighet enn hall 1.

Likevel viser tabell 6.3 at spesielt de groveste fraksjonene øker betraktelig mer hos hall 3 enn hos hall 1 ved lett aktivitet. Dette er tidligere i diskusjonen identifisert som en mulig feilkilde, og reduserer datagrunnlagets egnethet til å trekke entydige konklusjoner om sammenhengen mellom fuktighet og svevestøv.

Dersom man derimot sammenligner verdiene for høy aktivitet i begge haller, ser man en betydelig høyere svevestøvsverdi hos hall 1, for alle fraksjoner bortsett fra $N_{0.3-0.5}$. Dette indikerer at høyere luftfuktighet kan bidra til å binde grovere partikler.

Dette støttes delvis av målingene i hall 4, hallen med høyest luftfuktighet av de tre. Verdiene for disse målingene er gjennomgående lavest, både for ingen og lett aktivitet. Dette kan også forklares med ulik ifyllstype og volum, så dataene er ikke entydige nok til å konkludere sikkert.

Samlet sett indikerer resultatene på at luftfuktighet kan ha en dempende effekt på grove partikler, men denne effekten er ikke entydig og kan påvirkes av flere samtidige faktorer.

Ifyllstype og partikkelnivå

Det ble forsøkt å undersøke korrelasjoner mellom type ifyll og partikkelnivå. Målingene som ble utført viser en lavere partikkelkonsentrasjon i hall 4, men dette kan skyldes både vanningshyppighet og mengde, samt hallens volum i forhold til de andre. Det er også verdt å påpeke at ifyllet i hall 4 er nytt, og slitasje på både dekket og ifyllet sannsynligvis er minimal.

Mellom hall 1 og hall 3, som i større grad er sammenlignbare, gir ikke måledataen tilstrekkelig grunnlag til å gi ett entydig svar om ifyllstypen har en innvirkning.

For å kunne si noe entydig om sammenhengen mellom ifyllstypens påvirkning, hadde det vært nødvendig med mer kontrollerte forhold; samme vanningsmengde og hyppighet, likt hallvolum og utforming, lik personbelastning og tilsvarende slitasjegrad på dekket. Dette peker på et behov for videre forskning på området.

Omregning til massekonsentrasjon og vurdering av svevestøv mot grenseverdier

I resultatdelen ble tilnærminger til massekonsentrasjon for de ulike hallene presentert. Tabell 6.5 oppsummerer disse funnene. Det mangler data for aktivitet fra hall 5, så denne medtas ikke i denne delen av diskusjonen.

Sammenlignet mot resultater for en tilsvarende studie er verdiene som ble funnet gjennomgående lavere ved de fineste fraksjonene $N_{0.3-1.0}$. I denne studien ligger verdiene (gjennomsnitt) i intervallet mellom omtrent 30-70 $\mu g/m^3$. Sammenlignet for partikler $> N_{1.0}$ ligger verdiene i studien (gjennomsnitt) mellom omtrent 15-40 $\mu g/m^3$ [20].

Interessant nok er antallkonsentrasjonene som ble funnet i denne oppgaven i tilsvarende størrelsesorden.

Det blir i den tilsvarende studien presisert at massekonverteringen ikke ble gjort manuelt, men ved omregning gjort av måleinstrumentet selv. Dette indikerer at forskjellen i hovedsak kan knyttes til metoden for omregning til masse, snarere enn forskjeller i faktisk partikkelnivå.

Siden antallkonsentrasjonen er tilsvarende, kan dette tyde at våre antagelser om partikkeltetthet er underestimerte. Det ble i den tilsvarende oppgaven derimot presisert at den automatiske omregningen kan være en feilkilde, siden den også benytter en antagelse om partiklenes tetthet.

Det er derfor usikkerhet knyttet til masseberegningene, men de kan indikere at svevestøvsverdiene i hall 1, 2 og 3 sannsynligvis er over anbefalte verdier fra FHI, se kapittel 2.4.3 i teori.

Det understrekes derfor at; For å kunne måle nøyaktig, må det derfor benyttes instrumenter som kan måle hvilke typer partikler som finnes i luften, for å gi sikre svar på den faktiske svevestøvsbelastningen i hallene.

Tabell 6.5: Sammenligning av massekonsentrasjon ved lett aktivitet for de ulike hallene. Verdier gitt i $\mu g/m^3$.

Hall	**$PM_{2.5}$ (µg/m^3)**	**PM_{10} (µg/m^3)**	**Vurdering**
Hall 1	2.95	32.90	Litt over grenseverdi for PM_{10}
Hall 2	2.35	32.00	Litt over grenseverdi for PM_{10}
Hall 3	3.65	67.20	Dobbelt så høy som grenseverdi for PM_{10}
Hall 4	0.82	9.14	Under grenseverdi
Hall 5	-	-	Ikke vurdert*

Selv med en sannsynligvis underestimerende modell, er de indikative svevestøvsverdiene for PM_{10} for hall 1 og 2 rundt grenseverdi, og over det dobbelte for hall 3. Hall 4 har derimot verdier lavere enn grenseverdiene.

Ventilasjon og partikkelnivå

For hallene med mekanisk ventilasjon er det en tidligere presisert at det er en tydelig trend med at partikkelnivåene, og spesielt de grove fraksjonene øker ved aktivitet. Samtidig viser sammenligningen mellom ekstrem og lett aktivitet at fine fraksjoner også øker betraktelig. Dette taler for at svevestøvsbelastningen, i alle fraksjoner, hovedsaklig kommer innenfra. Dette indikerer at mekanisk ventilasjon, i den utformingen oppgaven har undersøkt, ikke er tilstrekkelig for å fjerne partikler fra luften.

6.6 Utvidet diskusjon

Ventilasjonsløsninger i andre spesialbygg

Gjennom diskusjonen er det understreket hvor kompleks teknisk utforming av en fotballhall kan være. Fra et ventilasjonsteknisk perspektiv kan enkelte forhold sammenlignes med andre spesialbygg, eksempelvis svømmehaller. Dette på bakgrunn av høy fuktbelastning, spesielt i haller uten ventilasjon og med hyppig vanning, samt tidvis høye emisjoner fra kunstgressdekket.

I svømmehaller ligger det høyest konsentrasjon av forurensninger rett over vannflaten [40]. Dette kan direkte sammenlignes med fotballhaller, hvor den høyeste konsentrasjonen med stor

sannsynlighet ligger rett over kunstgresset. Dette taler for at en hensiktsmessig løsning kan være å etablere avtrekk langs spilleflaten, slik at man i større grad kan fange opp partikler nær kilden til forurensning. En begrensning til denne løsningen er den etablerte sikkerhetssonen rundt hele spilleflaten som er anbefalt av NFF [4]. Det bør derfor videre undersøkes om man kan fravvike dette, eller benytte en annen løsning for lavt avtrekk, eksempelvis under tribuner eller ved avtrekksdomer.

I svømmehaller benyttes omluft med filtrering for å hindre spredning av partikler og svevestøv [40]. Dette er en mulig løsning som kan implementeres i allerede eksisterende ventilasjonsanlegg i fotballhaller. Omluft kan forøvrig også være fordelaktig for å minimere energibruk, og således være et bærekraftsfremmende tiltak [40]. Dette krever derimot relativt god kontroll på fuktigheten i luften, slik at man ikke får problemer med verken aggregat eller bygningskropp.

Luftmengekrav i veiledere

I teorien ble dimensjonerende luftmengder i henhold til veileder for fotballhaller presentert. Veilederen viser til både TEK-17 og veileder for idrettshaller, som oppgir ulike dimensjoneringstall. Utregningen viste at dimensjonerende luftmengder for en typisk storhall ville være omtrent 20 000 m^3/h ved bruk av TEK-17 og omtrent 60 000 m^3/h dersom veilederen for idrettshaller følges. Se kapittel 2.5.1 i teori.

Ved å benytte veilederen for idrettshaller vil dette i praksis medføre at man i storhaller i betydelig grad ventilerer i hovedsak for emisjoner og ikke for personbelastning.

For hall 4 benyttes to aggregat med en samlet nominell luftmengde på 38 000 m^3/h. CO_2-nivåene for denne hallen viste gjennomgående lave konsentrasjoner, som indikerer at luftmengden er tilstrekkelig for denne parameteren. Hallen ligger derfor mellom TEK-17 og veileder for idrettsbygg og kan dermed tolkes som et kompromiss mellom dimensjoneringsgrunnlagene.

Treningshallene med ventilasjonsanlegg har nominelle luftmengder på henholdsvis 23 000 m^3/h for hall 1 og 19 000 m^3/h for hall 3. I dette tilfellet er begge haller nærmere dimensjoneringsgrunnlaget til veileder for idrettshaller enn TEK-17. Dersom man legger CO_2-målingene til grunn, er det rimelig å anta at TEK-17 kravet på 7300 m^3/h trolig ikke ville ført til tilstrekkelig luftskifte.

Samlet sett understreker dette spriket at dimensjoneringsgrunnlagene varierer betydelig med hallstørrelse, samt at det ikke finnes en entydig konklusjon om hva som bør benyttes som grunnlag. Likevel tyder resultatene på at luftmengder for treningshaller bør ligge nærmere veileder for idrettshaller sitt dimensjoneringsgrunnlag, mens det for storhaller kan være hensiktsmessig med et kompromiss. Dette kan også indikere at veileder for idrettshaller gir konservative luftmeng-

der, spesielt for storhaller hvor energikonsekvensene blir betydelige. Til slutt understrekes det at dette må sees på som en avveining mellom energibruk, inneklima og ventilasjonskapasitet, og vurderes i hvert enkelt tilfelle.

7 Konklusjon

Denne oppgaven har kartlagt inneklima i fem fotballhaller i Trondheimsområdet gjennom målinger av CO_2, temperatur, relativ luftfuktighet, duggpunkt og partikkelkonsentrasjon. Målet har vært å belyse hvordan ulike tekniske løsninger og driftsstrategier påvirker inneklimaet.

Et godt inneklima i en fotballhall defineres av flere parametere. CO_2-nivået bør ligge under faglig norm på 1000 PPM. Innetemperaturen bør ligge på et nivå som er tilstrekkelig for termisk komfort, men for å motta spillemidler må den i praksis ligge rundt 12°C. Den relative luftfuktigheten bør ligge mellom 40 og 60% for å bevare bygningskroppen og forhindre dannelse av mugg og sopp. Differansen mellom duggpunkt og innetemperatur må også være tilstrekkelig stor for å unngå kondens. I tillegg bør svevestøv holdes under anbefalte grenseverdier, både for PM2,5 og PM10. Det er kombinasjonen av disse parameterne som avgjør hvor bra inneklimaet er, ikke enkeltverdiene isolert sett.

Oppgaven viser at haller uten mekanisk ventilasjon har betydelig høyere CO_2-konsentrasjon og bruker lengre tid på å returnere til grunn-nivå etter aktivitet. Dette indikerer utilstrekkelig luftutskifting ved normal bruk, og spesielt ved høy belastning. Haller med mekanisk ventilasjon hadde i perioder også høye konsentrasjoner av CO_2, spesielt under høy aktivitet, men viste rask regenereringstid til normalnivå.

Videre viser oppgaven at haller uten ventilasjon hadde gjennomgående høyere fuktighet uten spesifisert tilførsel av vann. Dette gir økt risiko for problemer med bygningskroppen, men er også forbundet med helserisiko da det øker sannsynligheten for sopp- og muggdannelse.

Analysen viser at dimensjonering av luftmengder for fotballhaller er et komplekst spørsmål, der ulike veiledere gir et betydelig sprik i anbefalte luftmengder. I praksis blir dette en avveining mellom tilstrekkelig luftskifte og energibruk. Resultatene indikerer at lavere dimensjoneringsverdier, som i TEK-17, kan medføre utilstrekkelig luftskifte, spesielt i treningshaller. Høyere verdier, som i veileder for idrettsanlegg, kan medføre overdimensjonering, spesielt i storhaller.

Med hensyn til partikler er det funnet at finere fraksjoner av partikler, $N_{0.3-1.0}$, kan akkumuleres over tid i haller uten tilstrekkelig luftskifte. Ventilasjon, slik den er utformet i de undersøkte hallene, ser ikke ut til å fjerne grovere partikler som virvles opp under aktivitet. Dette viser at partikkelproblematikk i større grad omhandler aktivitet og oppvirvling, og i mindre grad tilført luft. Fokuset bør på bakgrunn av dette flyttes fra total luftmengde til luftutskifting i oppholdssonen. Det bør derfor videre kartlegges alternative løsninger for å hensynta dette. Diskutert i oppgaven er eksempelvis omluft med filtrering og avtrekk nærmere spilleflaten.

Resultatene viser at driftsstrategi er en av de mest avgjørende faktorene for godt inneklima i de

undersøkte hallene. Kontinuerlig drift gir mest stabile forhold, mens manuelle eller fraværende styringsstrategier gir store variasjoner og opphopning av CO_2 og fukt.

Manuelle løsninger som i hall 2 er avhengige av at brukerne åpner luker og porter for utlufting. Hall 5 viser hva som skjer når aktiv styring uteblir. Fordi oppvarmingen og ventilasjonen er deaktivert akkumuleres både CO_2 og fuktighet til kritiske nivåer. Vanning av kunstgressdekket er også en sentral driftsfaktor. Hall 4 hadde høyere relativ fuktighet enn hall 1 og 3, og forskjellen kan i stor grad knyttes til vanning.

Fra resultatene kan det også defineres enkle prinsipielle tilrådninger for hvordan eksisterende løsninger kan tilpasses;

- Haller uten ventilasjonsanlegg bør tilrettelegge for luftutskifte, enten ved bevisst og systematisk åpning av lufteluker, eller ved installasjon av enkle vifter for omrøring og kombinert med spjeldstyrte åpninger i bygningskroppen.
- Det bør etableres en fast rutine på rengjøring av spilleflaten for å minimere akkumulering av støv, samt forhindre vekst av mugg og sopp.
- Dersom hallen skal vannes bør dette gjøres med forsiktighet, og med sensorer for overvåkning av relativ fuktighet.

Funnene viser samlet sett at inneklima i fotballhaller styres av et samspill mellom bygningskropp, ventilasjonsprinsipp, driftsstrategi og vanning. Det finnes ingen enkeltløsning som passer alle anlegg, men de undersøkte hallene tyder på at balansert mekanisk ventilasjon med kontinuerlig drift gir det jevneste og mest forutsigbare inneklimaet. For fremtidige byggherrer bør valg av tekniske løsninger være et resultat av tverrfaglig samarbeid med utgangspunkt i hallens størrelse, planlagt bruk og praktiske driftforhold. Oppgaven kan brukes som et kunnskapsgrunnlag for slike valg, og målingene gir et bilde av hvilke nivåer som kan forventes ved ulike løsninger.

8 Forslag til videre arbeid

I denne oppgaven har det ikke blitt sett på fortrengningsventilasjon, verken i tradisjonell form eller som stempelventilasjon. Begge prinsippene er interessante i sammenheng med fotballhaller, og bør undersøkes nærmere i videre arbeid. Stempelventilasjon med avtrekk ved gulvnivå bør prioriteres, da dette prinsippet potensielt kan gi effektiv fjerning av forurensninger som genereres nær spilleflaten, der både brukere og banedekke befinner seg.

Naturlig ventilasjon er et annet prinsipp som bør kartlegges. Et sentralt spørsmål er hvorvidt mekanisk ventilasjon er nødvendig, eller om en naturlig ventilert hall kombinert med oppvarming av spilleflaten kan gi tilfredsstillende inneklimaforhold. I denne sammenhengen blir det også relevant å avklare hvilke krav som bør stilles til en fotballhall som bygningstype. Er det tilstrekkelig med et kaldt overbygg som holder banen tørr, eller må hallen dimensjoneres for å imøtekomme krav knyttet til toppidrett?

Kunstgresset utgjør en sentral problemstilling for inneklimaet i fotballhaller, og emisjoner fra kunstgress under varierende forhold bør undersøkes nærmere. Dekket eksponeres for vanning, svette, spytt og hudrester, og det er i dag uklart hvor store emisjoner som faktisk stammer fra selve gresset. Det bør utredes hvorvidt personbelastningen i hallen er neglisjerbar, og om dimensjoneringen av ventilasjonsanlegget heller bør ta utgangspunkt i emisjoner fra banedekket. Videre arbeid på dette området bør omfatte kontrollerte forsøk der emisjoner fra kunstgress med ulike typer innfyll måles, samtidig som organisk materiale fra brukere og fukt tilføres. Forsøkene må gjennomføres under kontrollerte betingelser, slik at hver enkelt parameter kan studeres isolert. Slik kan man også bekrefte om partikkelnivåene i fotballhaller er for høye, og videre undersøke om dette kan være helseskadelig for brukere.

9 Kilder

[1] NFF. *Handlingsplan Trøndelag 2026-2030*. Hentet 05.05.2026. URL: https://www.fotball.no/globalassets/krets/trondelag/klubb-leder-og-trener/anlegg/anleggsplan-for-nff-trondelag-20262030.pdf.

[2] NFF. *Krav til ifyll i kunstgress etter mikroplastforbudet – dette må du vite nå*. Hentet 26.04.2026. URL: https://www.fotball.no/klubb-og-leder/anleggsutvikling/2025/krav-til-ifyll-i-kunstgress-etter-mikroplastforbudet--dette-ma-du-vite-na/.

[3] Morten Roa. *Idrettshaller: Planlegging og bygging*. Veileder V-0989-B. Utgitt februar 2016, med redaksjonelle endringer 2025. Utarbeidet i samarbeid med Norges idrettsforbund og olympiske og paralympiske komité. Hentet 11.05.2026. Kulturdepartementet, 2016. URL: https://files.nettsteder.regjeringen.no/wpuploads01/sites/492/2025/03/V-0989-B-Idrettshaller-planlegging-og-bygging-2016.pdf.

[4] Norges Fotballforbund. *Veileder fotballhaller*. Veileder. Versjon 11.10.2022. Hentet: 09.05.2026. Norges Fotballforbund, 2022. URL: https://www.fotball.no/globalassets/klubb-og-leder/anlegg/veileder-fotballhall-2022.pdf.

[5] Direktoratet for byggkvalitet. *§ 13-3. Ventilasjon i byggverk for publikum og arbeidsbygning*. Byggteknisk forskrift (TEK17). Hentet 09.05.2026. 2017. URL: https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-3.

[6] Gode idrettsanlegg. *Fotballhall*. Publisert 05.02.2020, sist endret 31.01.2025. Kunnskapsportalen for idretts- og nærmiljøanlegg. Hentet 09.05.2026. 2020. URL: https://www.godeidrettsanlegg.no/anleggstype/fotballhall.

[7] Senter for Idrettsanlegg og Teknologi. *Kunstgressets historie*. Tekn. rapp. Del av prosjektet Kunstgress2021 (KG2021). Hentet 09.05.2026. Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), Senter for Idrettsanlegg og Teknologi, 2021. URL: https://www.ntnu.no/documents/11601816/1285177107/KG2021+Kunstgresshistorien.pdf.

[8] Saltex. *Granulat og infill til kunstgræs*. Saltex Oy Danmark. Hentet 09.05.2026. 2024. URL: https://saltex.eu/da/gummigranulat-infill-til-dit-kunstgraes.

[9] David McGhie. *Støtdemping i kunstgressystemer med organisk ifyll: Hvilken effekt har dempematter, ifyll og temperatur?* Sammendrag av vitenskapelig artikkel. Del av prosjektet KG2021. Publisert 07.07.2022, sist endret 01.03.2023. Hentet 09.05.2026. 2022. URL: https://www.godeidrettsanlegg.no/publikasjon/stotdemping-i-kunstgressystemer-med-organisk-ifyll.

[10] Norges Fotballforbund. *NFFs ifyllsveileder*. Oppdateres fortløpende. Hentet 09.05.2026. 2024. URL: https://www.fotball.no/klubb-og-leder/anleggsutvikling/ifyllsguide/.

[11] Lekolar AS. *Kunstgress*. Produktkategori: Fallunderlag. Hentet 09.05.2026. URL: https://www.lekolar.no/sortiment/lekeplassutstyr-utemiljo/fallunderlag/kunstgress/.

[12] Sturla Ingebrigtsen. *Ventilasjonsteknikk Del 1*. Skarlandpress, 2015.

[13] Miljørettet Helsevern i Vestfold. *Inneklima*. Miljørettet Helsevern i Vestfold, Tønsberg kommune. Hentet 09.05.2026. URL: https://www.mhvivestfold.no/inneklima.

[14] Iu. D. Gubernskii. «Rationale for the permissible level of carbon dioxide in indoor air in residential and public buildings with the permanent human presence». Russisk. I: *Gigiena i Sanitariia* 93.6 (2014), s. 37–41. ISSN: 0016-9900.

[15] Kenichi Azuma mfl. «A review of the effects of exposure to carbon dioxide on human health in indoor environment». Engelsk. I: *Proceedings of Healthy Buildings Europe 2017*. Lublin: International Society of Indoor Air Quality og Climate, 2017. ISBN: 978-837947260-4.

[16] Xiaojing Zhang, Asit Mishra og Pawel Wargocki. «Carbon dioxide levels in buildings, cognitive performance, physiological responses, and health effects». Engelsk. I: *Proceedings of the 17th International Conference on Indoor Air Quality and Climate (INDOOR AIR 2022)*. International Society of Indoor Air Quality og Climate, 2022.

[17] Direktoratet for byggkvalitet. *§ 13-1. Generelle krav til ventilasjon*. Byggteknisk forskrift (TEK17). Sist endret 01.07.2023. Hentet 09.05.2026. 2017. URL: https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1.

[18] Norsk Helseinformatikk. *Inneklima – svevestøv*. Først publisert 05.09.2002, sist oppdatert 20.12.2022. NHI.no. Hentet 09.05.2026. 2022. URL: https://nhi.no/livsstil/egenomsorg/svevestov.

[19] Folkehelseinstituttet. *Svevestøv*. Først publisert 04.12.2017, sist endret 24.01.2025. Folkehelseinstituttet (FHI). Hentet 09.05.2026. 2025. URL: https://www.fhi.no/mh/luftforurensninger/luftkvalitet/temakapitler/svevestov/.

[20] Astrid Oline Almli Ressem. «Ventilasjon av fotballhaller». Masteroppgave. Trondheim: Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU), jun. 2018.

[21] Helsedirektoratet. *Miljø og helse*. Siste faglige endring: 7. januar 2026. Hentet 12.05.2026. 2026. URL: https://www.helsedirektoratet.no/forebygging-diagnose-og-behandling/forebygging-og-levevaner/miljo-og-helse.

[22] Finn E.S. Levy. *Luftfuktighet – inneklima*. Store medisinske leksikon. https://sml.snl.no/luftfuktighet_-_inneklima. Oslo universitetssykehus. Sist oppdatert 26.11.2024. Hentet 09.05.26. 2024.

[23] Huseierne. *Sørg for godt inneklima i boligen din*. Sist oppdatert 14.11.2025. Hentet 09.05.2026. 2025. URL: https://www.huseierne.no/alt-om-bolig/inneklima-og-miljo/godt-inneklima-i-boligen/.

[24] Arbeidstilsynet. *Inneklima og luftkvalitet på arbeidsplassen*. Hentet 09.05.2026. URL: https://www.arbeidstilsynet.no/arbeidsmiljo/inneklima/.

[25] Direktoratet for byggkvalitet. *§ 13-10. Fukt fra grunnen*. Byggteknisk forskrift (TEK17), kapittel 13 VI: Fukt, våtrom og rom med vanninstallasjoner. Hentet 11.05.2026. 2017. URL: https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/13/vi/13-10.

[26] Byggforsk. *Nye anbefalinger for plassering av radonsperre*. Hentet 05.05.2026. URL: https://www.byggforsk.no/nyheter/2/nye_anbefalinger_for_plassering_av_radonsperre/1570.

[27] Annagha Mital. «Natural Ventilation Modeling in ZEB Lab». Department of Energy and Process Engineering, Faculty of Information Technology and Electrical Engineering. Master's thesis in Energy and Environmental Engineering. Trondheim, Norway: Norwegian University of Science og Technology, jul. 2020.

[28] Direktoratet for byggkvalitet. *§ 14-1. Energi - Generelle krav*. Byggteknisk forskrift (TEK17), kapittel 14 1: Energi - generelle krav. Hentet 3.05.2026. 2017. URL: https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/14/14-1%5C#panel4b.

[29] EK Teknikk AS. *AREO S aerotemper: 6 modeller for damp 10 bar, 180/12–93 kW*. Produktside for AREO S aerotemper. Effektområde: 12–93 kW. Hentet 11.05.2026. URL: https://ek-teknikk.no/produkt/areo-s-aerotemper-6-modeller-for-damp-10-bar-180-12-93-kw/.

[30] TSI Incorporated. *AeroTrak™ Handheld Particle Counter Model 9306: Specifications*. P/N 5001211, Rev. N. Hentet 10.05.2026. 2024. URL: https://tsi.com/getmedia/a243f94f-bedb-473d-b8bc-a1da3a974980/5887984413_AeroTrak-Handheld-9306_A4_5001211_RevN_Web?ext=.pdf.

[31] Wireless Value. *Wireless CO_2 Climate Sensor DLCCL*. Produktspesifikasjon. Hentet 11.05.2026. URL: https://products.wirelessvalue.nl/en/wireless-co2-climate-sensor-dlccl-europe-china-209.

[32] Lascar Electronics. *EasyLog EL-USB-2+: Temperature and Humidity Data Logger*. Produktside. Temperaturmåleområde: -35 til +80°C, fuktighet: 0–100 %RH, over 16 000 målinger. Artikkelnummer: EL-USB-2+. Hentet 11.05.2026. URL: https://lascarelectronics.com/product/data-loggers/temperature-humidity/el-usb-2-plus/.

[33] Michael A. R. Tawadrous, Alex K. Y. Lee og Arthur W. H. Chan. «Characterization of airborne PET nanoplastic particles using aerosol mass spectrometry». I: *Aerosol Science and Technology* 59.6 (2025), s. 691–704. DOI: 10.1080/02786826.2025.2451070.

[34] Min Hu mfl. «Estimation of Size-Resolved Ambient Particle Density Based on Measurements of Aerosol Number, Mass, and Chemical Size Distributions». I: *Environmental Science Technology* 42.11 (2008), s. 3954–3960. DOI: 10.1021/es702823w.

[35] Ruoyu You, Bin Zhao og Chun Chen. «Developing an Empirical Equation for Modeling Particle Deposition Velocity onto Inclined Surfaces in Indoor Environments». I: *Aerosol Science and Technology* 46.10 (2012), s. 1090–1099. DOI: 10.1080/02786826.2012.695096.

[36] U. Olofsson og Y. Lyu. «A Pendulum Rig Study on Airborne Transmission and Migration of Particles from Artificial Football Turf». I: *Proceedings of the 10th International Conference BALTTRIB 2019*. 2019, s. 126–131. DOI: 10.15544/balttrib.2019.21.

[37] Meteorologisk institutt. *Seklima – historiske værdata*. 2026. URL: https://seklima.met.no (sjekket 05.05.2026).

[38] Tormund Gerhardsen. *Hva koster strømmen i Trondheim 17. februar 2025?* Spotpris inkl. 25 % mva., uten nettleie og strømstøtte. Prisdata hentet fra ENTSO-E / Nordpool. Hentet 13.05.2026. Feb. 2025. URL: https://www.hvakosterstrommen.no/i/trondheim/2025-02-17.

[39] Sunghee Cho mfl. «Study on Characteristics of Particulate Matter Resuspension in School Classroom through Experiments Using a Simulation Chamber: Influence of Humidity». I: *International Journal of Environmental Research and Public Health* 18.6 (2021), s. 2856. DOI: 10.3390/ijerph18062856.

[40] Therese B. Nitter. *Ventilasjon og luftkvalitet i svømmeanlegg*. Hentet 18.05.2026. Senter for idrettsanlegg og teknologi, 2018. URL: https://www.godeidrettsanlegg.no/sites/default/files/bilder/Om-ventilasjon-svommehall-litteraturstudie-TBN.pdf.

A Vedlegg

A.1 Partikkelmålinger - Omregning til massekonsentrasjon fra antallkonsentrasjon

I dette vedlegget presenteres én detaljert beregning gjort for omgjøringen til massekonsentrasjon fra antallkonsentrasjon i henhold til kapittel 3.4.5 i metode. Formålet er å tydeliggjøre fremgangsmåten som er benyttet for alle haller.

Utregningene er gjort i excel for å håndtere datamengden på en hensiktsmessig måte. Dette legges i tillegg ved ett utklipp fra excel for referanse. Denne viser utregningen for alle partikkelfraksjoner for hall 1 - ingen aktivitet.

A.1.1 Eksempelberegning for $N_{0.3-0.5}$ for hall 1 - ingen aktivitet

Formler, som vist i 3.4.5:

$$m_p = \rho \cdot V = \rho \cdot \frac{1}{6}\pi d^3 \tag{A.1}$$

$$C_m = N \cdot m_p \tag{A.2}$$

$$C_m = N \cdot \rho \cdot \frac{\pi}{6} d^3 \tag{A.3}$$

$$d_m = d_{\mu m} \cdot 10^{-6} \tag{A.4}$$

Antatt massetetthet for partikler i modellen er:

$$\rho = 1.2\, g/cm^3 = 1200\, kg/m^3 \tag{A.5}$$

Volumet av én partikkel blir da, med midtpunkt for $N_{0.3-0.5} = 0.4\mu m$:

$$V = \frac{\pi}{6} \cdot (0.4 \cdot 10^{-6})^3 = 3.35 \cdot 10^{-20}\, m^3 \tag{A.6}$$

Masse per partikkel:

$$m_p = 1200 \cdot 3.35 \cdot 10^{-20} = 4.02 \cdot 10^{-17}\, kg \tag{A.7}$$

Antall partikler per volum:

$$N = 3.320 \cdot 10^6 \text{ partikler/m}^3 \tag{A.8}$$

Massekonsentrasjonen blir da:

$$C_m = 3.320 \cdot 10^6 \cdot 4.02 \cdot 10^{-17} = 1.33 \cdot 10^{-10}\, kg/m^3 \tag{A.9}$$

Omregnet til $\mu g/m^3$:

$$C_m = 1.33 \cdot 10^{-10} \cdot 10^9 = 0.133\, \mu g/m^3 \tag{A.10}$$

Denne beregningen er representativ for fremgangsmåten som er benyttet for alle partikkelfraksjoner.

Figur A.1 viser utklipp fra excel og utregning for en hel hall under gitt situasjon. Alle beregninger ved omgjøring fra antall til massekonsentrasjon er gjort ved bruk av pivottable og manuell utregning i excel.

Gjennomsnitt av Antall_pr_m3/1e6	Kolonneetiketter		
Radetiketter	Inne	Ute	Differanse
0,3	3,320	25,473	-22,153
0,5	0,509	3,174	-2,665
1	0,261	0,315	-0,054
3	0,031	0,026	0,005
5	0,016	0,026	-0,010
10	0,003	0,004	-0,001

Intervall	Inne(Antall partikler p	Ute (Ant	midtpunkt (mikrometer)	d (m)	rho, tetthet (kg/m^3)	Volum av kule	Inne(Antall partikler pr m^3)	Ute (Antall partikler pr m^3)	masse/m^3 (kg/m^3) (inne)	masse/m^3 (kg/m^3) (ute)
0.3-0.5	3,320	25,473	0,40	0,0000004	1200,00	3,35103E-20	3319523,81	25472500	1,33486E-10	1,02431E-09
0.5-1	0,509	3,174	0,75	0,00000075	1200,00	2,20893E-19	508968,254	3174285,714	1,34913E-10	8,41414E-10
1-3	0,261	0,315	2,00	0,000002	1200,00	4,18879E-18	260833,3333	315000	1,31109E-09	1,58336E-09
3-5	0,031	0,026	4,00	0,000004	1200,00	3,35103E-17	31349,20635	26071,42857	1,26063E-09	1,04839E-09
5-10	0,016	0,026	7,50	0,0000075	1200,00	2,20893E-16	16071,42857	26428,57143	4,26008E-09	7,00547E-09
	0,003	0,004								

Masse (mikrogram/m^3) Inne	Masse (mikrogram/m^3) ute
0,133485973	1,024310002
0,134913172	0,841413882
1,311091334	1,583362697
1,260626385	1,048394348
4,260083788	7,005471118
Sum:	Sum:
7,100200652	11,50295205

Figur A.1: Figuren viser oppsett i excel og tilhørende pivottabell benyttet for omgjøring til massekonsentrasjon for alle haller

A.2 Værdata

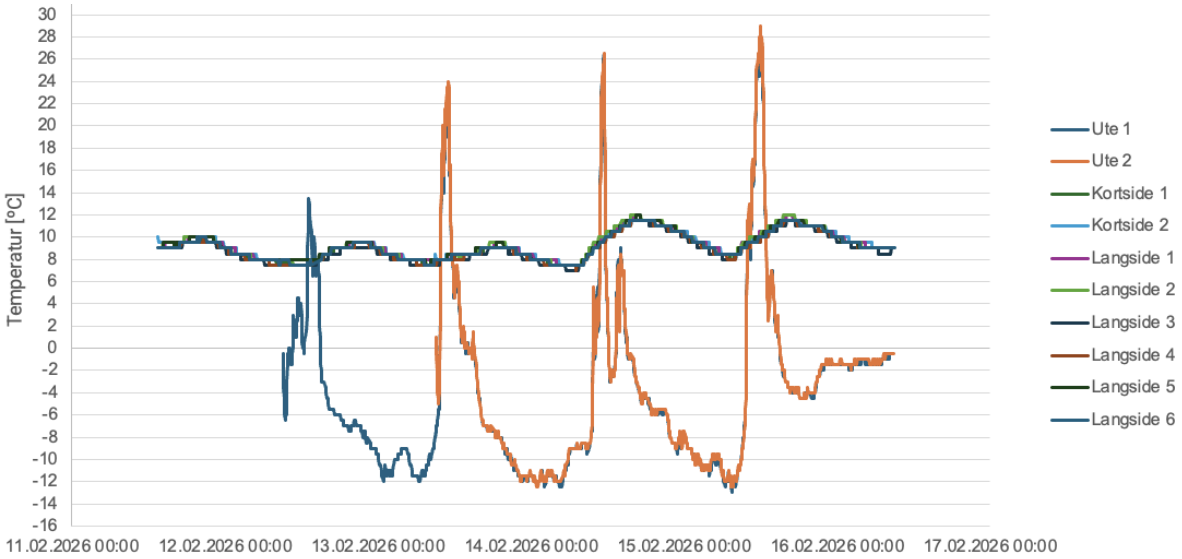
Værdata hentet fra seklima er under lagt ved for hver hall og dens respektive måleperiode. [37] Videre er også grafer hvor easylog-sensorene har åpenbare målefeil vedlagt.

A.2.1 Hall 1

Måleperioden for hall 1 ble gjennomført i perioden 11.02-16.02. Værdata for perioden:



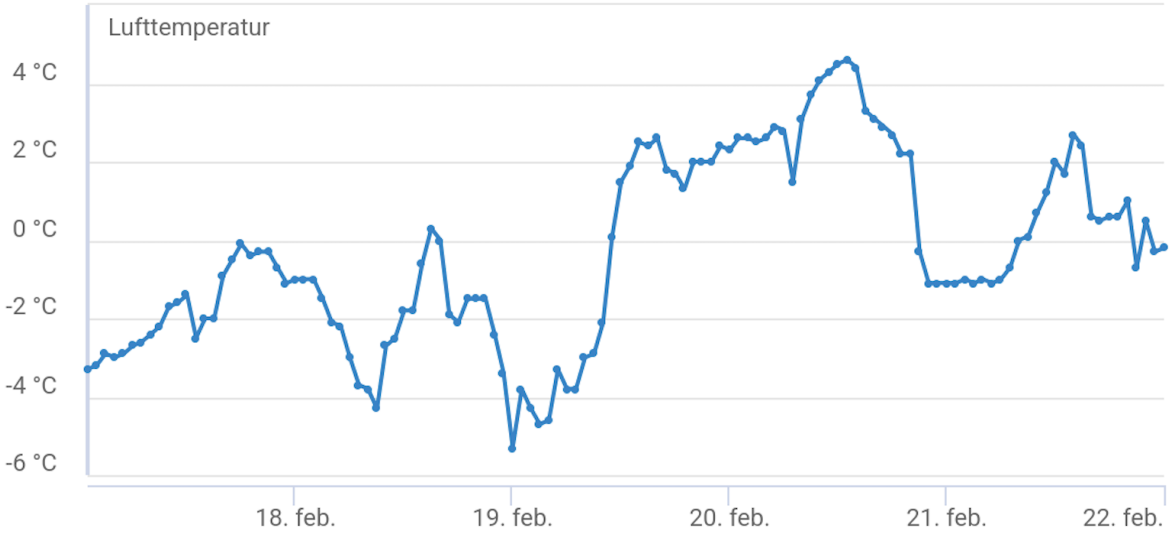
Figur A.2: Værdata 12.02-17.02 , hentet fra seklima.met.no



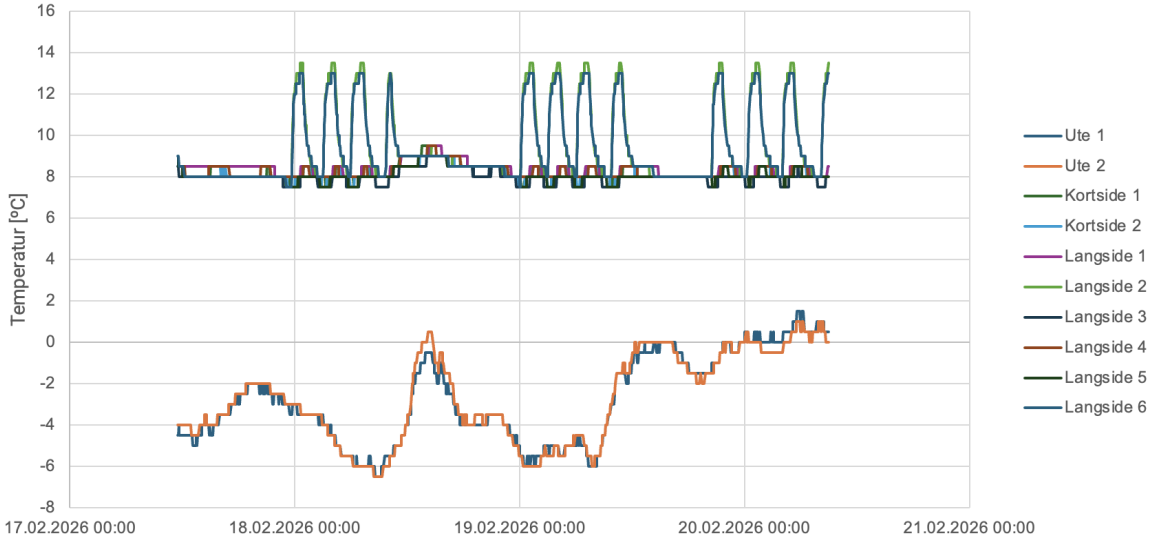
Figur A.3: Temperatur - Hall 1

A.2.2 Hall 2

Måleperioden for hall 2 var fra 17.02 til 20.02. Værdata for området fra perioden:



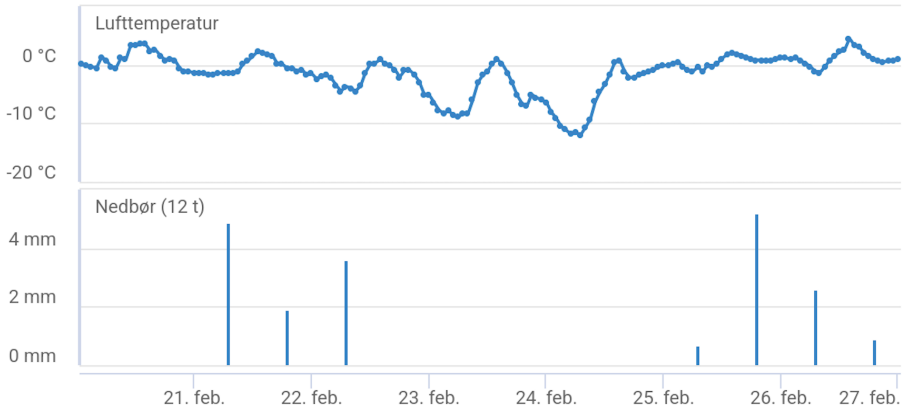
Figur A.4: Værdata 17.02-22.02 , hentet fra seklima.met.no



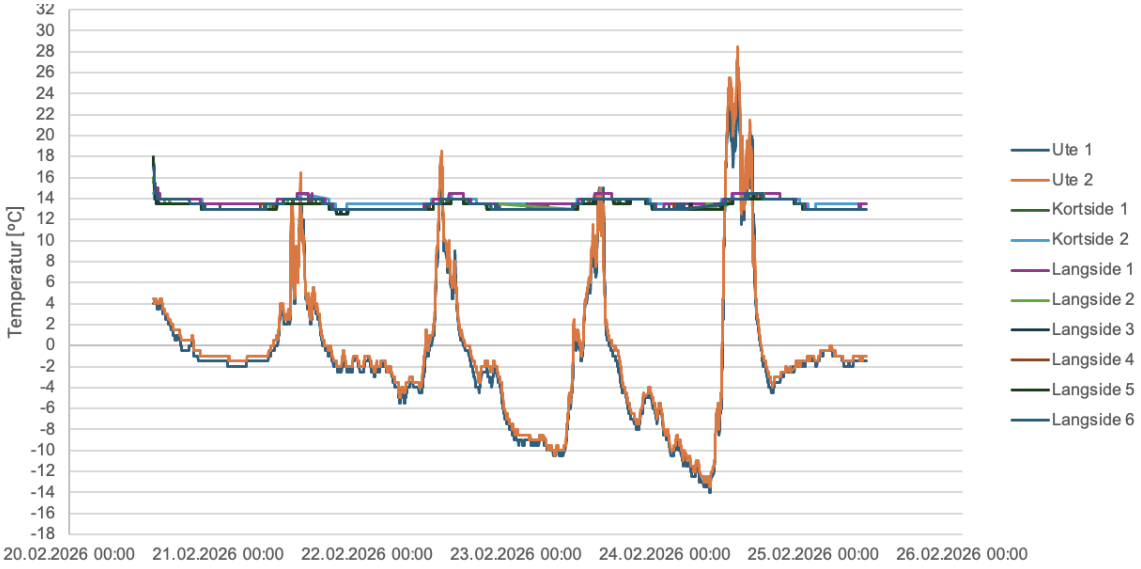
Figur A.5: Temperatur - Hall 2

A.2.3 Hall 3

Målingene for hall 3 ble gjennomført i perioden 20.02 - 25.02. Værdata for området:



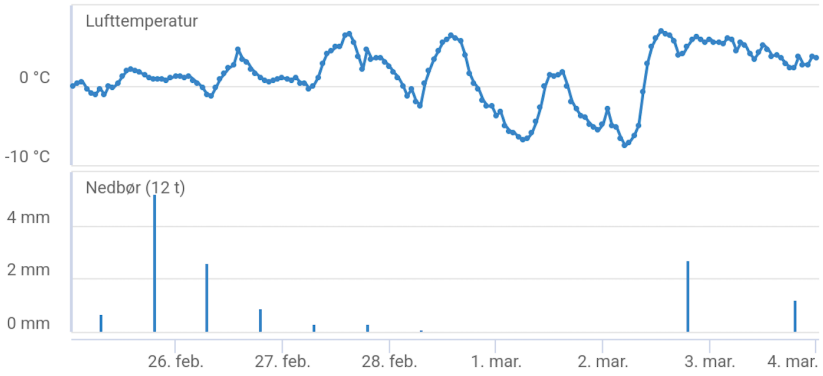
Figur A.6: Værdata for området i perioden 20.02-25.02.



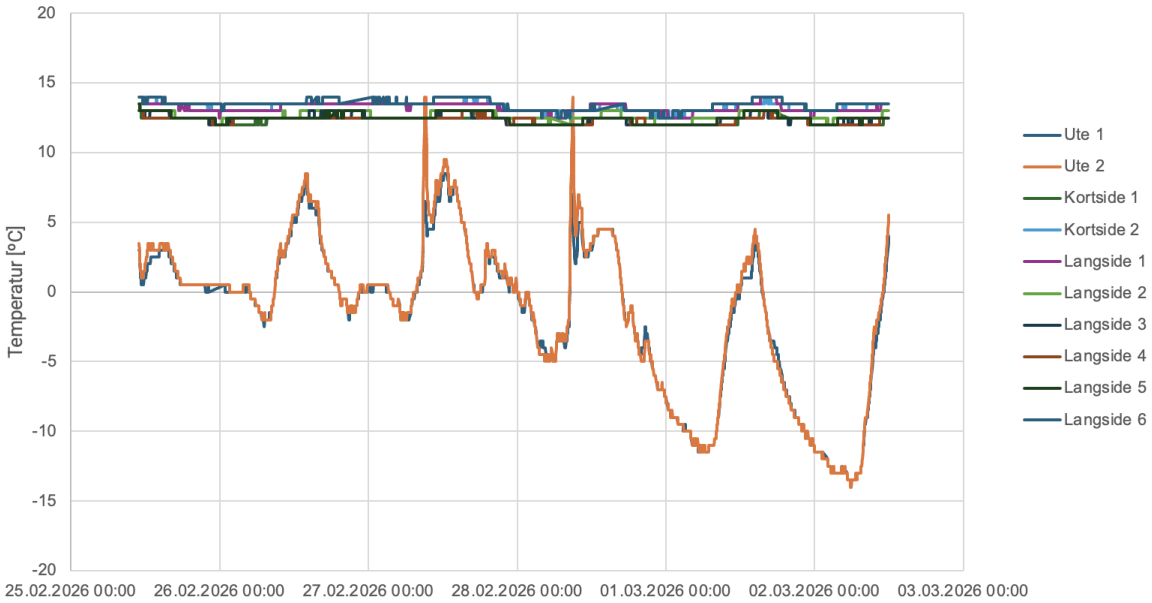
Figur A.7: Temperatur - Hall 3

A.2.4 Hall 4

Målingene ble gjort i tidsrommet 25.02-2.03. Værdata for perioden:



Figur A.8: Værdata fra området i perioden 25.02-02.03



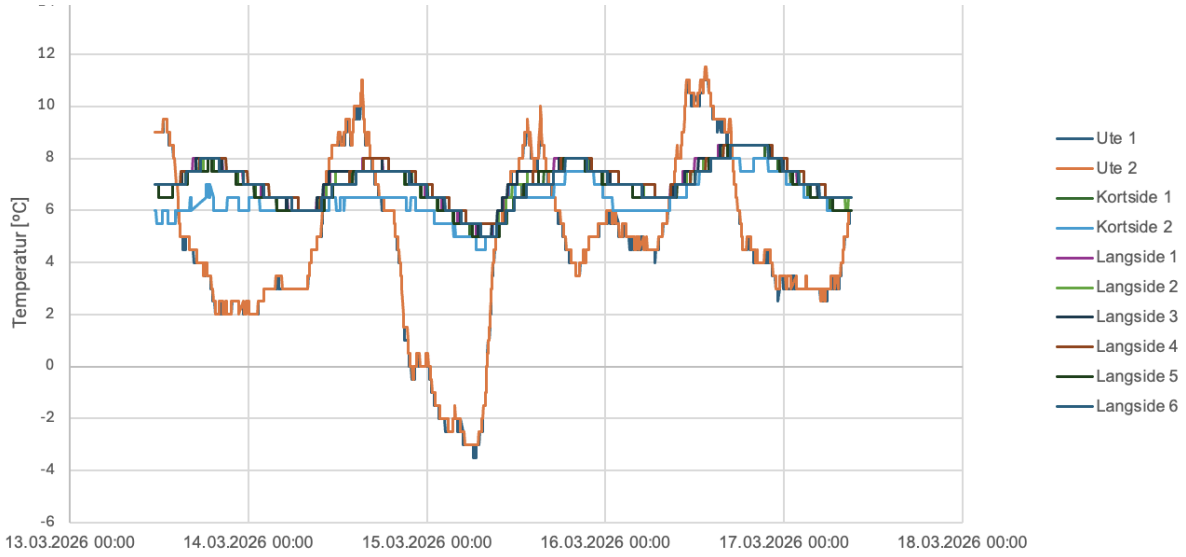
Figur A.9: Temperaturmålinger - Hall 4

A.2.5 Hall 5

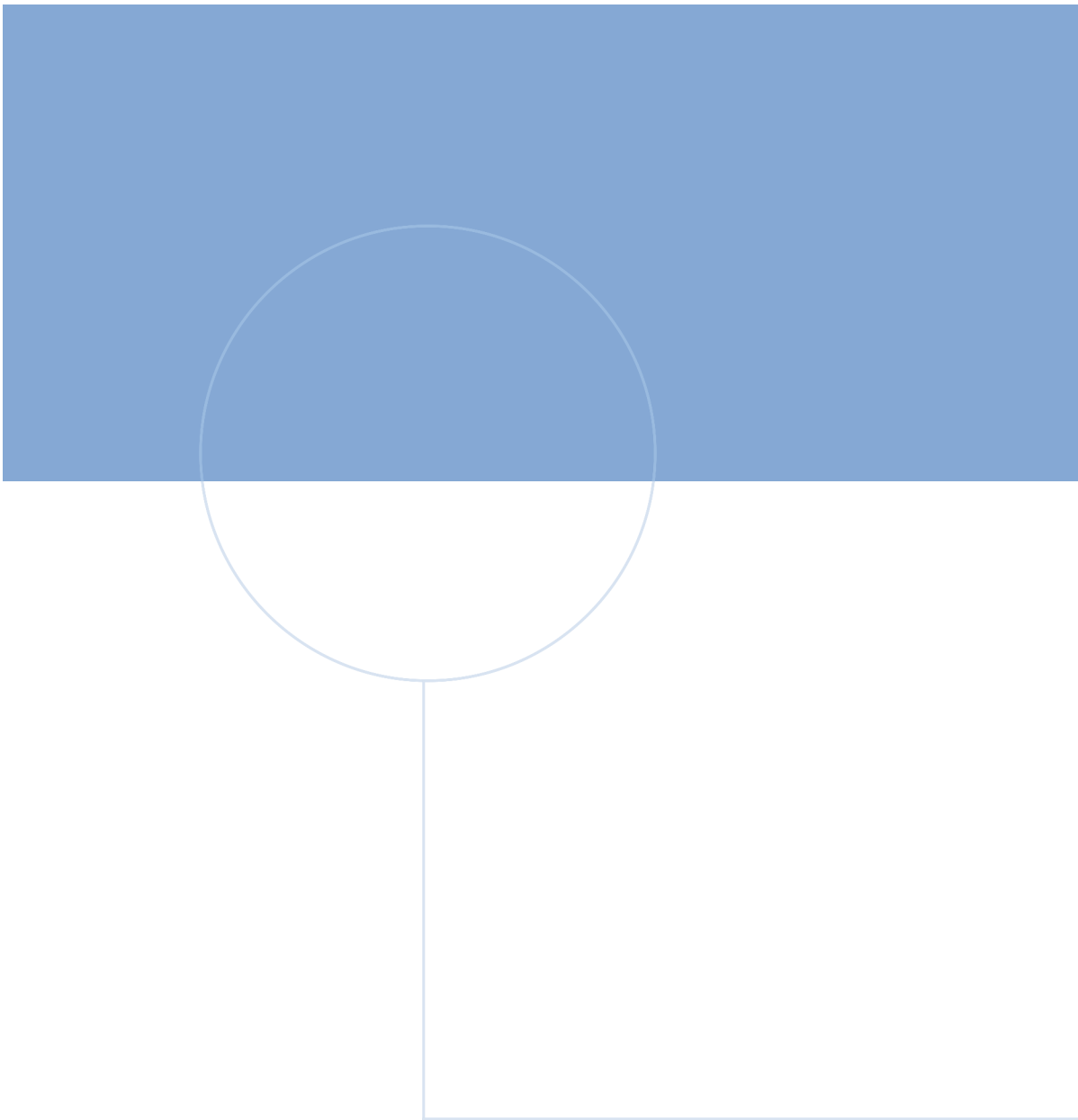
Målingene ble gjennomført i perioden 13.03 til 17.03. Værdata for perioden:



Figur A.10: Værdata for området i perioden 13.03-17.03.



Figur A.11: Temperatur - Hall 5



NTNU

Kunnskap for en bedre verden