

Markus Rise  
Øystein Jensen Borkamo

# Optimalisering av drift og vedlikehold av ventilasjons- og varmesystemer i fotballhaller

Bacheloroppgave i VVS-teknikk og Drifts- og vedlikeholdsteknikk  
Veileder: Bjørn Austbø og Viggo Gabriel Borg Pedersen

Mai 2020



Markus Rise  
Øystein Jensen Borkamo

# **Optimalisering av drift og vedlikehold av ventilasjons- og varmesystemer i fotballhaller**

Bacheloroppgave i VVS-teknikk og Drifts- og vedlikeholdsteknikk  
Veileder: Bjørn Austbø og Viggo Gabriel Borg Pedersen  
Mai 2020

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for ingeniørvitenskap  
Institutt for maskinteknikk og produksjon



Kunnskap for en bedre verden



## RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel:

Optimalisering av drift- og vedlikehold av ventilasjons- og varmesystemer i fotballhaller.

Optimization of operation and maintenance HVAC systems in sports buildings.

Prosjektnummer:

**MTP-D-2020-04**

Forfattere:

Markus Rise

Øystein Jensen Borkamo

Oppdragsgiver eksternt:

Bjørn Aas ved Senter for idrettsbygg og teknologi

Veiledere internt:

Bjørn Austbø og Viggo Gabriel Borg Pedersen

Rapporten er ÅPEN

Dato levert:

19.05.2020

Kort sammendrag:

Oppgaven omhandler hvordan varme- og ventilasjonsanlegg i fotballhaller bør driftes og vedlikeholdes. Med utgangspunkt i komponenters nødvendige funksjon og deres kritikalitet for kontinuerlig drift.

This thesis addresses how operation and maintenance of HVAC systems in indoor football halls should be carried out. Based on components necessary function and criticality to maintain a continuous operation.

Stikkord:

Optimalisering

Drift og vedlikehold

VVS

Keywords:

Optimization

Operation and maintenance

HVAC

## Forord

Denne rapporten er et resultat av bacheloroppgaven i den 3 årige bachelorutdanningen maskin-ingeniør innenfor linjene VVS-teknikk og drift og vedlikehold ved Norges tekniske-universitet Trondheim våren 2020. Oppgavens omfang er på 20 studiepoeng under fagkoden TMAS3001. Oppgaven er gitt av Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT).

Vi vil takke våre veiledere Bjørn Austbø og Viggo Gabriel Borg Pedersen for god hjelp til å gjennomføring av oppgaven. Vi vil også gi en takk til vår eksterne veilder og oppgavegiver Bjørn Aas fra Senter for idrettsbygg og teknologi(SIAT) for god hjelp og veiledning. I tillegg vil vi takke Flatåshallen for å bistå med deres anlegg og tid. For bruk av målinger fra tidligere arbeid i Flatåshallen vil vi takke Alexander Olsen, Magnus Borisoff, Fredrik Andresen, Erlend Reinfjord, Nicolai Lindaas, og Emil Sørheim som ga oss tillatelse til å bruke deres målinger.

Trondheim, mai 2020



Øystein Jensen Borkamo

Trondheim, mai 2020



Markus Rise

## Oppgavebeskrivelse

Idrettsbygg er komplekse systemer av bygningsmasse, tekniske installasjoner og idrettsspesifikke installasjoner. Åpningstiden er lang, aktivitetsnivået svært varierende, og aktiviteten stiller strenge krav til materialer, stabilitet i tekniske systemer og pålitelighet i drift. Idrettsbygg typisk har høye vann- og energikostnader, og høye vedlikeholdskostnader både på bygning og tekniske installasjoner.

## Mål

Målet med denne bacheloroppgaven er å redusere totalkostnadene på drift- og vedlikehold i fotballhaller, samt redusere eventuell nedetid på anlegget. Oppgaven skal også gi en pekepinne på hvordan man kan drifte ventilasjonsanlegget for å skape et bedre inneklima.

## Resultatmål

1. Ståstedsanalyse: Finner ut hvordan tilstanden på drift- og vedlikehold er
2. Kritikalitetsanalyse: Finne kritiske komponenter i anlegget, og finne kritiske driftsbetingelser
3. Målinger: Finne svar på hva som faktisk skjer med luftkvaliteten under drift
4. Forslag til forbedringer: Foreslå hvordan vedlikeholdet kan gjøres bedre, samt hvordan Flatåshallen kan driftes bedre

## Sammendrag

Ventilasjonsanlegg i idrettshaller bygges i dag etter forskriftene for vanlige hus og kontorbygg. Dette beror på at det ikke er en egne normer og forskrifter som gjelder for idrettsbygg i dagens kravspesifikasjoner. Ventilasjonen er viktig både for inneklima og kan ha stor innvirkning på energibruken. I fotballhaller og idrettsbygg brukes ofte stoffer som emitterer, og med varierende aktivitet som begge har innvirkning på ventilasjonsbehovet. Det er ofte lange driftstider, med stor variasjon i belastning. Dette gjør at driften av tekniske systemer kan være krevende.

Drift og vedlikehold av haller kan utføres av frivillige fra idrettslag, som ikke nødvendigvis har samme kompetanse som fagpersonell. Dette gjør at gode drifts- og vedlikeholdsprotokoller er viktige, for unngå unødvendige kostnader.

Målet med denne oppgaven er å få en bedre oversikt over hva drift- og vedlikeholdsansvarlige i fotballhaller bør være oppmerksom på, ut fra komponentenes kritikalitet og brukerens behov. Målet er at totalkostnadene for drift og vedlikehold skal bli lavest mulig, samt at inneklimate for brukerne av hallen skal være godt.

I denne oppgaven ble det ikke gjennomført forsøk ettersom Flatåshallen ble stengt før bachelorgruppen fikk satt igang med dette arbeidet og dermed ble det kun gjort beregninger ut fra antagelser. De planlagte målingene var temperatur, CO<sub>2</sub>, vibrasjon, støv, partikler i luften og relativ luftfuktighet.

I fotballhaller bør varmegjenvinnere med adskilt luftstrøm benyttes for å redusere overføring av luftbårne partikler og fuktighet. Disse kan også være mer driftsikre da de fleste typer ikke har bevegelige deler. Ved å benytte temperatur regulering på varmebatteriet vil man øke driftssikkerheten til anlegget ytterligere, mot å benytte mengderegulering.

Ventilasjonsløsningen bør vurderes fra hall til hall fordi haller har ulike byggetekniske løsninger. Dette fører til at haller har forskjellige behov når det kommer til ventilasjon. Det må tas hensyn til personbelastning, emisjoner, fukttilførsel og varmebehov.

Når kunstgressmatter skal legges innendørs, bør man tenke på inneklima og ikke bare kostnad. Derfor bør man velge en miljøvennlig løsning som både inneholder og emitterer lite farlige stoffer. Med de miljøvennlige løsningene, vil det bli mindre emisjoner fra kunstgressmatten enn om man velger gummigranulat.

I nye idrettsbygg kan det være lurt å investere i utstyr for overvåkning slik at man unngår unødvendig nedetid og vedlikeholdskostnader. Dette vil gjøre det enklere for brukerne å holde en kontinuerlig god drift i hallen.

Innendørs kunstgressbaner er en mulig kilde til støv i fotballhaller. Støv kan være en utfordring i fotballhaller. Årsaken til spredning av støvet som ligger i gresset kan være prepareringen av banen, og dermed burde det undersøkes om det bør brukes lukkede prepareringsmaskiner.



## Abstract

Sport buildings with artificial turf are today built with the same requirements as houses and office buildings. Currently there are no specific norms or specifications for sport buildings. Ventilation is important for indoor environment and can affect the buildings' energy consumption. Football halls often use materials that emits gases and have big activity variations, both which influence the ventilation demands. Opening hours are often long with great differences in human impact, which makes operations of technical systems difficult.

Operation and maintaince of football halls are sometimes done by volunteers from a sports club. These volunteers don't always have the same expertise as professionals. This can make operations and maintaince protocols important to avoid unnecessary costs.

The goal for this thesis is to get a better overview of what the operations and maintenance manager should keep in mind. Based on components criticality and user demands. The reason for this is to reduce the total cost and simultaneously maintain a good indoor environment.

There were no measurements carried out in this thesis because Flatåshallen was closed due to Covid-19 before the bachelor group could carry out any experiments. The result of this has been that in this thesis there are only assumptions and calculations. Planned measurements for collection in this research were temperature, CO<sub>2</sub>, vibration, dust, air particles and relative humidity.

Heat exchangers with separated air flow are considered a better solution in sport buildings with artificial turf, to reduce transfer of airborne particles and moisture. These types are often more reliable due to less moving parts. A temperature regulated air heater could improve the reliability off the system further, opposed to flow control.

Ventilation solutions should in general be looked at individually, because halls have different layouts, solutions and requirements. This causes football halls to have different requirements to ventilation with regards to personal impact, emissions, moisture supply and heat requirements.

When new Astroturf is installed indoors it is important to consider indoor air quality and not only price. For this reason environment friendly solutions should be considered, because they often emit less gases and contain less dangerous substances. With the environment friendly solutions emissions would be less of a problem than if you choose rubber granulate.

In new sports buildings investments in condition monitoring the technical equipment to reduce unnecessary downtime and maintenance costs could be well worth the expence. This would make it easier to operate the hall at every hour.

Indoor Astroturf can be a possible source of dust in football halls. Dust can therefore be a challenge dealing with in a football hall. One reason for the spreading of dust can be inappropriate method of equalizing the field fill, and thus it should be investigated whether closed groomers could be used.

# Innhold

<b>Oppgavebeskrivelse</b>	<b>III</b>
<b>Mål</b>	<b>III</b>
<b>Sammendrag</b>	<b>IV</b>
<b>1 Innledning</b>	<b>1</b>
1.1 Formål og tilnærming . . . . .	1
1.2 Oppbygging . . . . .	1
1.3 Begrensninger og antakelser . . . . .	1
<b>2 Teori</b>	<b>3</b>
2.1 Inneklima . . . . .	3
2.1.1 Temperatur . . . . .	3
2.1.2 Karbondioksid . . . . .	3
2.1.3 Luftfuktighet . . . . .	4
2.1.4 Svevestøv . . . . .	4
2.2 Ventilasjon . . . . .	5
2.2.1 Luftmengder . . . . .	5
2.2.2 Regulering og styring . . . . .	6
2.2.3 Varmegjenvinner . . . . .	7
2.2.4 Filter . . . . .	8
2.2.5 Omluft . . . . .	9
2.2.6 Varme- og ventilasjonsbatteri . . . . .	9
2.3 Oppvarming . . . . .	9

2.3.1	Vannbårne oppvarmingssystem . . . . .	9
2.3.2	Fjernvarme . . . . .	10
2.3.3	Reguleringsprinsipper . . . . .	10
2.4	Kunstgress . . . . .	11
2.4.1	Granulattyper . . . . .	12
2.5	Styreenheter . . . . .	15
2.5.1	Arduino . . . . .	15
2.6	Sensorer . . . . .	16
2.6.1	Luftfuktighet- og temperatursensor . . . . .	16
2.6.2	Partikkelsensor . . . . .	17
2.6.3	CO <sub>2</sub> og temperatursensor . . . . .	18
2.6.4	IoT . . . . .	18
2.7	Vedlikeholdsstyringsløyfen . . . . .	18
2.8	FMECA . . . . .	19
2.9	RCM . . . . .	20
2.10	Vedlikehold . . . . .	20
2.10.1	Korrektivt vedlikehold . . . . .	21
2.10.2	Forebyggende vedlikehold . . . . .	21
<b>3</b>	<b>Metode</b>	<b>23</b>
3.1	Ståstedsanalyse . . . . .	23
3.2	Målinger . . . . .	23
3.3	FMECA . . . . .	26
3.4	RCM . . . . .	26
3.5	Litteraturstudie . . . . .	27

<b>4 Gjennomføring</b>	<b>28</b>
4.1 Ståstedsanalyse . . . . .	28
4.2 Målinger . . . . .	28
4.2.1 Gjennomførte målinger . . . . .	29
4.3 Risikoanalyse . . . . .	30
4.4 RCM . . . . .	30
4.5 Utregninger . . . . .	31
<b>5 Resultater</b>	<b>32</b>
5.1 Ståstedsanalyse . . . . .	32
5.2 Målinger . . . . .	36
5.3 Beregninger . . . . .	37
5.3.1 Beregning av fukttilførsel i hallen . . . . .	37
5.3.2 Beregning av temperatur i hallen dersom aerotempere streiker . . . . .	40
5.3.3 Breregning av sikkerhet for ulike reguleringsprinsipper av varmebatteri	41
5.4 Risikoanalyse . . . . .	44
5.4.1 FMECA . . . . .	44
5.4.2 RCM . . . . .	45
<b>6 Diskusjon</b>	<b>46</b>
6.1 Inneklima . . . . .	46
6.2 Risikoanalyse og vedlikeholdstiltak . . . . .	49
6.3 Tekniske løsninger i fotballhalen . . . . .	53
6.3.1 Varmegjenvinner . . . . .	53
6.3.2 Varme batteri . . . . .	53

6.3.3	Oppvarming . . . . .	54
<b>7</b>	<b>Konklusjon</b>	<b>55</b>
<b>8</b>	<b>Videre arbeid</b>	<b>57</b>
<b>9</b>	<b>Vedlegg</b>	<b>62</b>

## Figurer

1	Forskjeller i luftmengde mellom CAV, VAV brukerstyrt og behovsstyrt . . . . .	7
2	Prinsipp for styring av VAV-spjeld . . . . .	7
3	Regenerativ gjenvinner . . . . .	8
4	Rekuperativ gjenvinner . . . . .	8
5	Temperaturregulering til ventre og mengderegulering til høyre . . . . .	10
6	Oppbygning av kunstgressbane[51] . . . . .	11
7	Oppbygning av granulatløs kunstgressbane[3] . . . . .	11
8	Forurensing av forskjellige granulattyper[3] . . . . .	12
9	SBR granulatløs[46] . . . . .	12
10	EPDM granulatløs[36] . . . . .	13
11	TPE granulatløs[42] . . . . .	13
12	Industriell gummigranulat[24] . . . . .	14
13	Kork- og kokosgranulat[39] . . . . .	14
14	eCorkgranulat[50] . . . . .	15
15	Arduino Nano[41] . . . . .	15
16	AM2320, temperatur- og fuktighetsensor[1] . . . . .	17
17	SDS011 Partikkelsensor[38] . . . . .	17
18	CO <sub>2</sub> - og temperatursensor[37] . . . . .	18
19	Vedlikeholdsstyringsløyfen[35] . . . . .	19
20	Egenlaget sensor til målinger . . . . .	24
21	Målepunkter . . . . .	25
22	Viftepådrag fra SD-anlegg . . . . .	34
23	Historiske verdier av karbondioksidsensorer i hallen . . . . .	34

24	Kurve hentet fra produktblad til reguleringsventil [28] . . . . .	43
25	Eksempel på vedlikeholdsstyringsystem[19] . . . . .	51
26	Eksempel på Feiltreanalyse[49] . . . . .	53
27	Koblingskjema arduino . . . . .	62
28	Systemskjema Flatåshallen . . . . .	66

## Tabeller

1	Inneklima parametere . . . . .	3
2	Symbolbeskrivelse utrykk (2) . . . . .	4
3	Symbolbeskrivelse utrykk (3) . . . . .	4
4	Støvfraksjoner [22] . . . . .	5
5	Grenseverdier svevestøv [22] . . . . .	5
6	Anbefalte luftmengder fra Kulturdepartementet [25] . . . . .	5
7	Beskrivelse av utrykk (4) . . . . .	6
8	Filterklasser . . . . .	9
9	Symbolbeskrivelse utrykk (5) . . . . .	9
10	Symbolbeskrivelse (6) . . . . .	10
11	Oversikt over de mest vanlige gummigranulattypene[3] . . . . .	12
12	Symbolbeskrivelse av partikkel omgjørings formler . . . . .	30
13	Fornorskning av Nancy Regan sine 7 steps i RCM-prosessen . . . . .	31
14	Filtervirkningsgrad [29] . . . . .	33
15	Anleggskontroll[30] . . . . .	35
16	Målinger gjort i fotballhallen 29.10.19 på karbondioksid, temperatur og relativ fuktighet . . . . .	36
17	Støvmålinger før aktivitet . . . . .	37
18	Støvmålinger etter aktivitet . . . . .	37
19	Gjennomsnitt av målingen gjort i hallen . . . . .	37
20	Symbolforklaring . . . . .	38
21	Fysiologiskeverdier [16] . . . . .	38
22	Symbolbeskrivelse . . . . .	41



23	Scenario fra SD-anlegget . . . . .	42
24	Karakteristiske verdier varmebatteri . . . . .	42
25	Oversikt over kritikalitet . . . . .	45
26	Forslag til ekstra overvåkning og vedlikehold . . . . .	52

<b>Begrep</b>	<b>Forklaring</b>
VVS	Varme, ventilasjon og sanitær
Akkumulasjon	Oppsamling eller lagring
Feilmode	funksjonssvikt
Feileffekt	effekten en feil har på anlegget
Vedlikeholdsstyringssystem	Et systematisk program som holder oversikt over vedlikehold som er gjort og skal gjøres, samt et utstysregister
Latent varme	varme som er bundet opp i vanndamp
FDV	forkortelse for forvaltning, drift og vedlikehold. Samlebetegnelse for kostnader og aktiviteter gjennom byggets levetid
SD-anlegg	sentraldriftsanlegg, elektronisk system som overvåker og styrer automatiserte anlegg.
Ohmmeter	Et instrument som måler den elektriske resistansen i et medium
FMECA	En analysemodell for å finne kritikaliteten til komponenter, og hvordan dem feilerp
RCM	En metodikk for å kartlegge hvilke type vedlikehold som bør iverksettes på et utstyr
VAV	Variable air volume
CAV	Contant air volume

# 1 Innledning

Innendørs fotballspilling er en viktig del av fotballtreningen i Norge ettersom få fotballbaner er åpne for spilling om vinteren. På bakgrunn av dette har Norge flere fotballhaller. Inneklimaet er svært viktig for hvor godt hver enkelt fotballspiller klarer å prestere, og derfor er inneklimaet viktig for godt treningsutbytte. Behovet for ventilasjon vil være forskjellig fra hall til hall fordi de har ulike underlag og aktivitetsnivået til brukerne vil variere i hallene.

Dermed er det på tide å finne ut hvordan man skal drifte fotballhaller for å skape et godt inneklima for brukere av hallen, og for å gjøre det enklere for klubber å drifte dem.

Fotballhallen som blir tatt for seg i denne oppgaven er en sjuerbane med granulatløst kunstgress. Hallen er bygd opp med isolerte vegger og tak. Størrelsen på hallen er 46m ganger 66m, og den har et totalvolum på 28842m<sup>3</sup>. Av tekniske systemer er det behovsstyrt ventilasjonsanlegg og oppvarming via fjernvarmenettet i Trondheim.

## 1.1 Formål og tilnærming

Formålet med denne oppgaven er å få et innblikk i hvordan fotballhaller kan driftes bedre enn de gjør i dag. I dag bygges idrettbygg etter samme forskrifter som vanlige hus og kontorbygg. Idrettsbygg er ikke bygd opp på samme måte som hus og kontorbygg, og dermed vil vi se på om det bør tas andre hensyn når man bygger idrettshaller.

Det vil i tillegg bli sett på om vedlikeholdet som blir gjort er tilstrekkelig for å opprettholde et godt inneklima til enhver tid, og hvordan det bør gjøres i fremtiden. I tillegg vil det bli sett på om valg av underlag kan ha noen innvirkning på inneklimaet i idrettshaller.

## 1.2 Oppbygging

I første del av oppgaven vil det bli tatt for seg relevant teori for å forstå oppgaven, og begrunnelse for valg. I kapittel 3 vil det stå om hvordan det er planlagt å gjennomføre oppgaven. Etter dette vil det komme hva som ble gjort og resultater av ting som ble gjort. Dette innebærer også et kapittel om diskusjon rundt oppgaven, etterfulgt av en konklusjon.

## 1.3 Begrensninger og antakelser

Det ble funnet begrenset med litteratur om ventilasjon spesifikt om idrettsbygg, det som virket å være mest relevant litteratur var gamle bacheloroppgaver. Dermed er det meste av litteraturstudiet på VVS-delen gjort for vanlige bygg som kontorbygg. Prinsippene er de samme, men det kan være enkelte løsninger som ikke nødvendigvis er like godt egnet i en fotballhall som i et kontorbygg og motsatt.

Det ble heller ikke mulighet for noen forsøk inne i fotballhallen siden all idrett ble stengt ned i samhold med retningslinjene til regjeringen for å bekjempe Covid-19. Derfor vil resultatene i denne oppgaven basere seg på gamle målinger og antakelser.

## 2 Teori

I dette kapittelet skal det gås gjennom utvalgt teori for å forstå resten av oppgaven. Her blir det gjort sammenligning mellom forskjellige typer løsninger, og hvorfor spesifikke løsninger blir valgt. Dette gjør gruppen for å få innsikt i hvordan ting kan gjøres utover det som er gjort på anlegget.

### 2.1 Inneklima

Inneklima er et sammensatt begrep som avhenger av forskjellige faktorer. Inneklima er definert som det termiske, atmosfæriske, aktiniske, akustiske og mekaniske miljøet man oppholder seg i. Hva som oppleves som et godt inneklima vil være personavhengig. Grenseverdiene til parametrene for inneklima er satt slik at inneklimaet ikke er skadelig og tilfredsstillende de fleste. [29]

Parameter	Beskrivelse
Termisk miljø	Temperatur, fukt og trekk
Atmosfærisk miljø	Inneluft, friskluft og forurensninger
Aktinisk miljø	Stråling og belysning
Akustisk miljø	Lyd og akustikk
Mekanisk miljø	Fysiske objekter

Tabell 1: Inneklima parametere

#### 2.1.1 Temperatur

Temperaturen som skaper et godt inneklima er personavhengig. Samtidig vil personenes termiske komfort variere og påvirkes av aktivitetsnivå og bekledding. Dette gjør det vanskelig å angi en bestemt riktig temperatur. I idrettsbygg er utfordringen ekstra stor da det er stor variasjon i aktivitetsnivå og bekledding. For fotballhaller er minimumsdimensjonerende inne-temperatur i følge NFFs veileder 12°C.[26]

#### 2.1.2 Karbondioksid

Karbondioksidinnholdet i luften kan benyttes for å gi en indikasjon på luftkvaliteten i rom hvor mennesker står for den største forurensningskilden. Dette er en god indikator da produksjonen av CO<sub>2</sub> varierer med aktivitetsnivået og personbelastningen i rommet. Normen sier at grenseverdien for godt inneklima er 1000 ppm (parts per million). Karbondioksidproduksjonen kan sies å være lineær med metabolismen, slik som uttrykk (1) viser. [22] [29]

$$k = 0,015 \cdot M \tag{1}$$

### 2.1.3 Luftfuktighet

I inneklimasammenheng er det som oftest den relative luftfuktigheten det er snakk om. Relativ luftfuktighet er definert som forholdet mellom partielltrykket til vanddampen i luftblandingen og metningstrykket til vann ved den samme temperaturen. I VVS-sammenhenger brukes også absolutt fuktighet som er forholde mellom massen vann og massen tørr luft. [29]

$$\phi = \frac{p_v}{p_g} \quad (2)$$

Symbol	Beskrivelse
$\phi$	Relativ fuktighet
$p_v$	Damptrykk
$p_g$	Metningstrykk

Tabell 2: Symbolbeskrivelse uttrykk (2)

$$x = \frac{m_{damp}}{m_{luft}} \quad (3)$$

Symbol	Beskrivelse
$x$	Absolutt fuktighet
$m_{vann}$	Massen vann i luften
$m_{luft}$	Masse tørr luft

Tabell 3: Symbolbeskrivelse uttrykk (3)

En for lav luftfuktighet kan føre til tørre slimhinner, øyeirritasjons og tørr hud. Det er dermed anbefalt at den relative luftfuktigheten er over 20%. Luftfuktigheten bør heller ikke være for høy da relativ luftfuktighet over 70% kan skape lukt, mugg og bygningsskader. Men det er anbefalt at den relative luftfuktigheten er under 45% av hygieniske årsaker. [22]

For å hindre korrosjon av stål burde den relative luftfuktigheten være under 45%, grunnen til dette er at korrosjonsprosessen av stål starter ved dette nivået. Hvis den relative luftfuktigheten overstiger 55% vil stål korrodere forholdsvis mye[33]. Stål er ofte overflatebehandlet slik korrosjonsprosessen ikke skal starte, men dersom det blir en skade i overflaten kan korrosjonsprosessen allikevel starte. Hvis korrosjonsprosessen starter, kan det spre seg videre utover i stålet og ikke bare der skaden er. Dette kan utvikle seg til et stort problem.

### 2.1.4 Svevestøv

Svevestøv er små partikler med aerodynamisk diameter på mindre en  $10\mu m$ . Det er delt inn i tre deler grovfraksjon, finfraksjon og ultrafin fraksjon. Det er begrenset kunnskap om helseeffekten av svevestøv innendørs, men de studiene som er gjennomført tyder på at det er en mulig sammenheng mellom svevestøv og utvikling eller forverring av luftveissymtomer.

Svevestøv kan i tillegg inneholde biologiske komponenter som pollenkorn, muggsoppspor og bakterierester. [22]

Betegnelse	Størrelse	
$PM_{10} > PM_{2,5}$	$10 > 2,5 \mu m$	Grovfraksjon
$PM_{2,5} > PM_{0,1}$	$2,5 > 0,1 \mu m$	finfraksjon
$PM_{0,1}$	$< 0,1 \mu m$	ultrafin fraksjon

Tabell 4: Støvfraksjoner [22]

Det er ikke satt en egen grenseverdi for  $PM_{10}$  innendørs. Dette skyldes at innendørs vil  $PM_{10}$  fraksjonen domineres av småpartikler. For  $PM_{2,5}$  er det en bestemt grense for svevestøv. Denne grensen er den samme både utendørs og innendørs. For ultrafin fraksjon av støv er det ikke bestemte grenseverdier, verken innendørs eller utendørs. [22]

Midlingstid	24 timer	1 år
$PM_{2,5}$	$15 \mu g/m^3$	$8 \mu g/m^3$
$PM_{10}$	$30 \mu g/m^3$	$20 \mu g/m^3$

Tabell 5: Grenseverdier svevestøv [22]

## 2.2 Ventilasjon

Ventilasjon av bygg blir viktigere med strengere krav til energieffektivitet og et godt inn klima.

### 2.2.1 Luftmengder

Luftmengdebehovet i et rom avhenger av antall personer, aktiviteten til personene og emisjonene fra materialer. Siden det er vanskelig å måle emisjonene fra materialene i rommet, er denne som regel satt til en konstant luftmengde per kvadratmeter avhengig av hvilke materialer som er brukt. Personbelastningen er lettere å måle da det er flere variabler som produseres lineært med personbelastningen. Luftmengdene som er anbefalt fra kulturdepartementet for idrettshaller er listet i tabell nedenfor. Formelen nedenfor viser nødvendig luftmengde per person ut i fra  $CO_2$  produksjon. [12]

Funksjon	Luftmengde pr. pers.	Luftmengde pr. $m^2$	Kommentar
Idrettshall aktive utøvere	$150m^3/h$	$7m^3/h$	Behovsstyres $CO_2$ /temp
Idrettshall tilskuere	$26m^3/h$	$7m^3/h$	Behovsstyres $CO_2$ /temp

Tabell 6: Anbefalte luftmengder fra Kulturdepartementet [25]

$$q_p = 15000 \cdot M \cdot \frac{T_s}{T_i(C_i - C_o)} \cdot \frac{1}{\epsilon_v} [m^3/h] \quad (4)$$

Symbol	Beskrivelse
$q_p$	Nødvenidg luftmengde per person
M	Aktivitetsnivå/metabolisme [1 met]
$T_s$	Tilluftstemperatur [K]
$T_i$	Romtemperatur [K]
$C_i$	$CO_2$ -nivået inne [ppm]
$C_o$	$CO_2$ -nivået ute [ppm]
$\epsilon_v$	Ventilasjonseffektiviteten i oppholdsonen

Tabell 7: Beskrivelse av uttrykk (4)

### 2.2.2 Regulering og styring

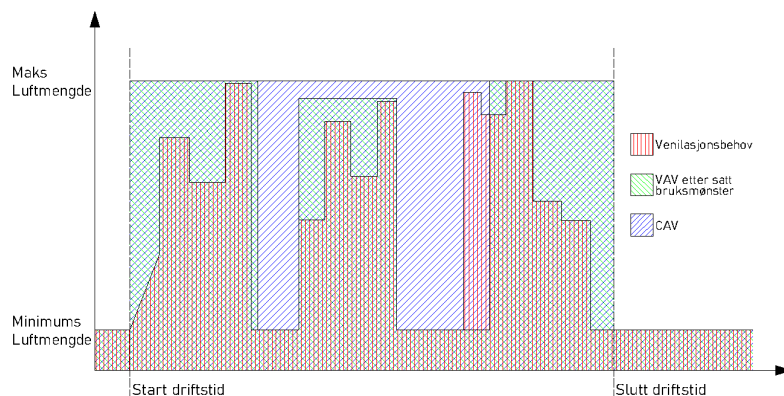
Styring og regulering av ventilasjonsanlegg kan gjøres på flere måter. Det skilles mellom variabel luftmengde ofte omtalt som VAV (variable air volume) og konstant luftmengde ofte omtalt som CAV (constant air volume). [13]

Systemer med konstant luftmengde er den simpleste formen for styring av ventilasjonsanlegg. Disse anleggene som er tidsstyrte bestemmer luftmengden (i systemet) utfra tidspunktet på døgnet. For bygninger med stor variasjon i belastning, vil slike systemer store deler av tiden ha for stor luftmengde i forhold til behovet. Det er ikke ønskelig å ha for høy luftmengde i anlegget over tid da dette fører til unødvendig bruk av energi til blant annet oppvarming og drift av vifter. [13]

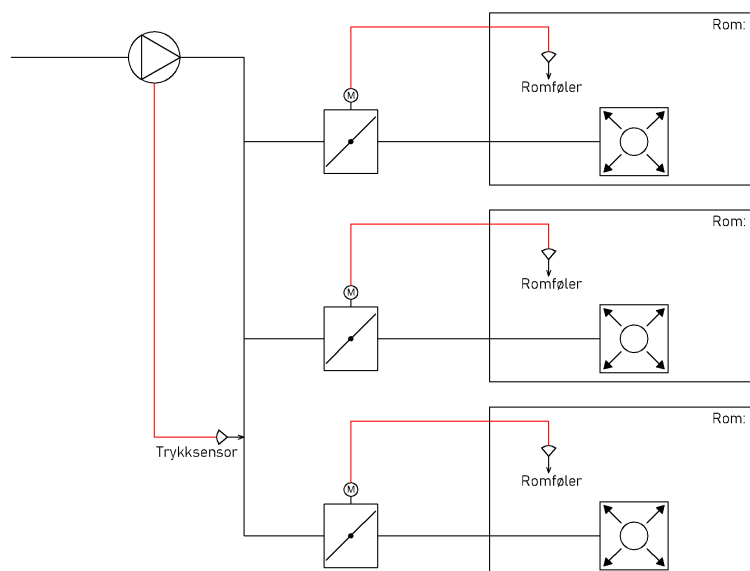
Et system med variabel luftmengdestyring behøver ikke å være behovsstyrt. I simple system kan et antatt ventilasjonsbehov styre luftmengden. Behovsstyrt ventilasjon regulerer luftmengden i rommet etter inneklimateparametre som  $CO_2$ , temperatur og luftfuktighet. Systemet behøver ikke kalles behovsstyrt selv om en sensor styrer luftmengden. Dersom en sensor styrer flere rom eller store områder, vil denne gjengi en gjennomsnittlig verdi forluftkvaliteten i oppholdssonen. Sensoren sier da i hovedsak om området er i bruk eller ikke. Systemer med variabel luftmengde der ventilasjonsbehovet er antatt på forhånd, behøver ikke nødvendigvis å treffe med bruksmønsteret til området slik som man kan se på figuren nedenfor. [13]

Styring av VAV-systemer kan gjøres på forskjellige måter avhengig av kompleksiteten på systemet. I enkle systemer hvor ventilasjonsaggregatet dekker et rom eller en sone som skal ha proporsjonal luftmengde i forhold til hverande, kan luftmengden styres direkte av viftepådraget. Dersom det er flere rom eller soner som skal ha forskjellig luftmengde, kreves det ofte flere komponenter. Den vanligste måten å gjøre dette på er at sensoren i rommet styrer posisjonen på et motorisert spjeld som tilhører rommet. Viften styres av en trykksensor ytterst i systemet, ved å opprettholde konstant overtrykk i dette punktet. Luftmengden vil da variere avhengig av motstaden i systemet (spjeldposisjonene). [13]





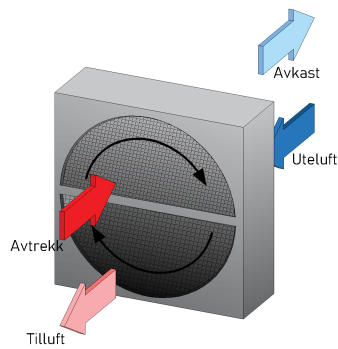
Figur 1: Forskjeller i luftmengde mellom CAV, VAV brukerstyrt og behovsstyrt



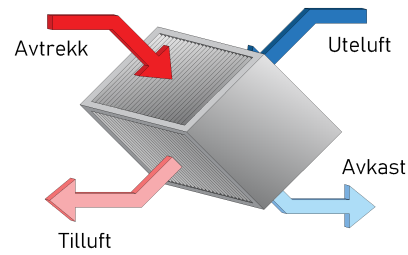
Figur 2: Prinsipp for styring av VAV-spjeld

### 2.2.3 Varmegjenvinner

En varmegjenvinner bruker varmen fra avtrekket til å varme opp tilluften. Dette reduserer oppvarmingsbehovet i bygget. Varmegjenvinnere deles inn i to kategorier; regenerative (sykliske) og rekuperative (statiske). I regenerative gjenvinnere brukes et akkumulerende materiale som vekselvis er i kontakt med kald og varm luftstrøm, dette sørger for varmetransport mellom kald og varm side. Dette fører til at regenerative gjenvinnere kan ha overføring av fukt og luft mellom avtrekk og tilluften. I rekuperative gjenvinnere er luftstrømmene adskilt og det vil dermed ikke overføres fuktighet. Regenretive gjenvinnere har høyre virkningsgrad enn rekuperative. [14]



Figur 3: Regenerativ gjenvinner



Figur 4: Rekuperativ gjenvinner

#### 2.2.4 Filter

Filter i ventilasjonsanlegg har i oppgave å filtrere uønskede partikler fra luften. Dette gir bedre innemiljø siden det filtrerer pollen, støv, partikler og gasser, samt beskytter anlegget mot unødvendig vedlikehold og slitasje. Høyt partikkelinnhold i luften kan føre til tilsmussing av ventilasjonskanaler som kan føre til ubalanse i systemet, redusert luftkvalitet og økt vifteeffekt. [29]

#### Virkemåter [29]

- Sil-effekten stopper partikler med diameter som er større enn avstand mellom fibrene i filteret. Dette fører til at filteret fort blir tett.
- Kollisjonseffekten benytter partiklenes treghet for å filtrere luften. Større partikler hindres å følge luftstrømmen rundt fibrene av treghetskrefter. Tregheten øker med lufthastigheten og metoden vil derfor være mer effektiv med høyere lufthastighet.
- Oppfangingseffekten stopper lette partikler som følger luftstrømmen rundt fibrene, men har en bane som går for tett på fibrene og blir sittende fast. Bedre effekt med større partikler og mindre fiberdiameter.
- Diffusjonseffekten går ut på at små partikler beveger seg på tvers av strømningsretningen og har dermed større sannsynlighet for å treffe fibrene.
- Partikler med elektrostatiske ladning kan filters ved å sette en motsatt ladning i filteret som tiltrekker seg partikkelen og stopper de.

Filtertyper	Størrelse	Partikkel type
Grovfilter	$20\mu m$	Grove partikler, insekter, synligstøv etc.
Medium-/finfilter	$1 - 5\mu m$	Støv, pollen, bakterier, sporer etc.
EPA-filter	$0,1 - 1\mu m$	Bakterier, forbrenningspartikler, aerosole mikropartikle
HEPA-filter	$0,1 - 1\mu m$	Oljerøyk, aerosole mikropartikler
ULPA-filter	$0,1 - 1\mu m$	-

Tabell 8: Filterklasser

### 2.2.5 Omluft

Omluft er prinsipp som går ut på å resirkulere luften, ved å filtrere luften og bruke den på nytt ved et omluftsspjeld. Omluft skal i følge TEK17 ikke benyttes dersom det forurenses rom hvor mennesker er til stede. [15]

### 2.2.6 Varme- og ventilasjonsbatteri

Varmebatteri brukes for å varme opp ventilasjonsluften til ønsket tempertur etter varme gjenvinneren. Disse kan være både vannbaserte og elektriske. Temperaturvirkningsgrader for vannbaserte varmebatteri er: [54]

$$\eta_v = \frac{T_{v,t} - T_{v,r}}{T_{v,t} - T_{l,i}} \quad (5)$$

Symbol	Beskrivelse
$\eta_v$	Temperaturvirkningsgrad
$T_{v,t}$	Turtemperatur vann
$T_{v,r}$	Returtemperatur vann
$T_{l,i}$	Temperatur inn luft

Tabell 9: Symbolbeskrivelse uttrykk (5)

## 2.3 Oppvarming

Bygninger med bruksareal på over  $100 \text{ m}^2$  skal ha fleksible oppvarmingssystem. Fleksible oppvarmingssystemet er systemer som gjør det mulig å dekke varmebehovet med ulike varmekilder. Fleksible systemer skal dekke 60% av normert netto varmebehov. [15]

### 2.3.1 Vannbårne oppvarmingssystem

Vannbårne oppvarmingssystem er varmesystem som benytter varme som distribusjonsmedium. Vannbårne oppvarmingssystem er har stor fleksibilitet ved bruk av forskjellige varmekilder. Ulike varmekilder kan benyttes i samme system, noe som gir høy fleksibilitet og driftssikkerhet. [54]

### 2.3.2 Fjernvarme

Fjernvarmeanlegg kan forklares som et sentralvarmeanlegg som forsyner flere bygninger. Disse anleggene er vannbaserte og frakter varme i nedgravde isolerte rør. Fjernvarme kan ha forskjellige typer energikilder som avfall, biobrensel, varmepumper, deponigass, naturgass, propan/butangass eller elektrisitet. I fjernvarmeanlegg skilles det ofte mellom grunnlast og topplast. Der grunnlasten er en billigere energikilde som dekker store deler av energibehovet, men dekker ikke de største effekttoppene. De største effekttoppene dekkes av toppplasten og er som oftest en dyrere energikilde. Dette gir et fleksibel energikilde som gir høy leveringssikkerhet. [47]

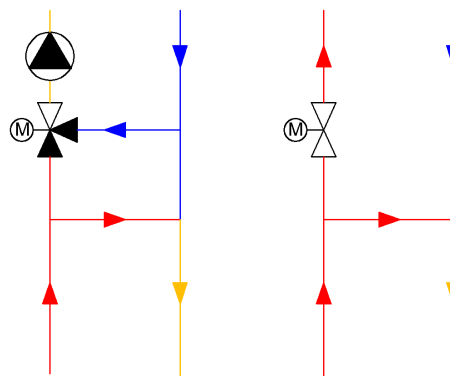
### 2.3.3 Reguleringsprinsipper

I vannbaserte oppvarmingssystemer skilles det mellom to hovedreguleringsprinsipper, temperaturregulering og mengderegulering. Temperaturregulering har konstant volumstrøm og regulerer turtemperaturen på vannet. Ved forskjellig turtemperatur er temperaturendringen over varmeelementet varierende. Ved mengderegulering er turtemperaturen konstant, men mengden vann som går gjennom varmeelementet varierer avhengig av effektbehovet. [54]

$$\Phi = \Delta t \cdot \dot{m} \cdot c \quad (6)$$

Symbol	Beskrivelse
$\Phi$	Varmestrøm
$\Delta t$	Temperatur endring
$\dot{m}$	massestrøm
$c$	Varmekapasitet

Tabell 10: Symbolbeskrivelse (6)

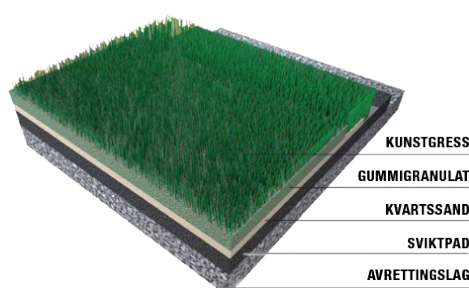


Figur 5: Temperaturregulering til venstre og mengderegulering til høyre

## 2.4 Kunstgress

Kunstgressbaner er bygd opp av plastfibre som består av PE eller PE/PP plast som er festet til en teppebunn som er polypropylen eller polyester. Teppebunnen er belagt med et bindemiddel som for eksempel er styrenbutadienlateks som herdes i en ovn. For å sikre at banedekket blir liggende på plass og gir banen en elastisitet brukes en blanding av sand og elastisk granulat.[3]

I senere år er det gjort forsøk på å ha et elastisk lag under matten for å spare på granulaten per arealenheter. Dette gjør at det blir mindre forurensinger av granulat i naturen, og at kostnaden ved å bruke mer miljøvennlige alternativer av granulat reduseres.[3]



Figur 6: Oppbygning av kunstgressbane[51]

I de senere årene har det også kommet kunstgressmatter uten granulat. Denne kunstgressstypen har mye tettere med strå i bunnen slik at behovet for granulat blir borte. Kunstgress uten granulat bruker sand og/eller annet fyllmateriale. Ulempen med denne typen underlag er at underlaget er hardt og spillkvaliteten er dårlig.[48]

Siden banen ikke trenger granulat, er den billigere i drift, men dyrere i innkjøp. Sanden i banen trenger ikke like mye påfyll som granulat, men banen må fremdeles prepareres. Fyllmaterialer består stort sett av biologisk nedbrytbare materialer, eller naturlige materialer, og får derfor ikke deponeringskostnader. Fyllet kan bestå av for eksempel forskjellige typer sand, olivenstein eller kokosfibre.[17][40][27]



Figur 7: Oppbygning av granulatløs kunstgressbane[3]

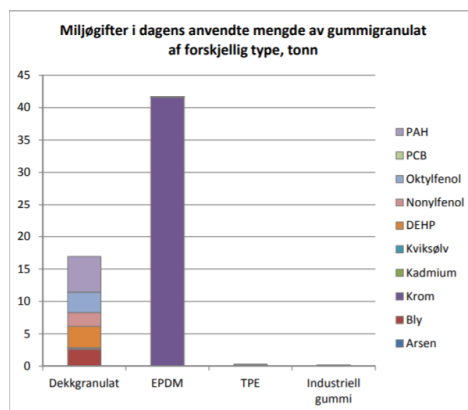
### 2.4.1 Granulattyper

Granulatet har siden 1990 stort sett vært SBR(styrenbutadienrubber) som kommer fra gamle bildekk. Det finnes også belagt SBR-granulat der dekkingen stort sett er for å få fargen på granulatet grønt. Belegget som brukes da er typisk polyuretan. I senere tid er det kommet flere typer granulattyper på markedet.[3]

Granulattype	SBR	EPDM	TPE	Industriell gummi
Bruksprosent	90	5	3	2

Tabell 11: Oversikt over de mest vanlige gummigranulattypene[3]

De siste årene er det kommet granulat av andre materialer enn gummi og. Disse granulattypene har fått variert tilbakemeldinger. Kork- og kokosinnfyll er det mest vanlige miljøvennlige tilbudet av granulat i Norge.[31]



Figur 8: Forurensing av forskjellige granulattyper[3]

### SBR

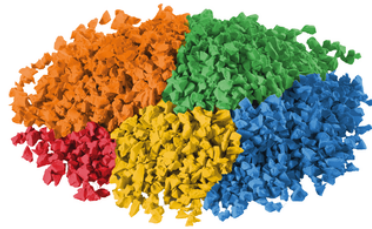
SBR-granulat kommer fra oppmalte bildekk der kornstørrelsen er mellom 0,8-3mm store. Fordelen med denne typen granulat er at den gir muligheter for godt spill og er billig. Ulempene med en slik type granulat er svartfargen som kan gi høye temperaturer i solen, og ikke er like estetisk fin, noe lukt, varierende innhold av uønskede stoffer, og at det blir lett med på tøy og i sko som gjør at banen tømmes for granulat, og at granulat kommer på avveie. Denne granulattypen er ikke bra for miljøet da den består av en del miljøskadelige stoffer.[31]



Figur 9: SBR granulat[46]

## EPDM

EPDM(ethylene propylene diene monomer)-granulat er en type granulat som består av en renere gummi enn SBR, men har en lik kornstørrelse som SBR-granulaten. EPDM har ganske like egenskaper som SBR, men er en litt høyere prisklasse. Fordelene til EPDM er at det er mindre lukt enn SBR, og at man kan velge farge på granulatet. Ulempene med EPDM er at det er store kvalitetsforskjeller på granulatet, og at det er vanskelig å se forskjell på kvalitetene for ukyndig personell.[31]



Figur 10: EPDM granulat[36]

## TPE

TPE (thermo plastic elastomer) er en type granulat som produseres spesielt for kunstgress. De fleste produsenter av TPE kan legge frem dokumentasjon på at granulatet er rent og fritt for uønskede stoffer. Denne granulattypen kan produseres i alle farger, og man kan velge mellom små plaskuler eller sylindre på ca 2mm. Denne formen gjør at granulaten ikke like lett blir med på klær og i sko. TPE kan også leveres som oppmalt materiale. Ulempen med TPE kontra de andre typene er at det er dyrere, og at de fleste typene er vesentlig hardere enn EPDM og SBR. Dette gjør at man bør/må bruke støtdempende underlag (pad).[31]



Figur 11: TPE granulat[42]

## Industriell gummi

Industriell gummi er overskuddsgummi fra andre industrier. Ofte hentes denne gummien fra vinduspakningsindustrien. Denne gummitypen regnes som mer miljøvennlig enn de andre gummigranulatene fordi den har lite til ingen uønskede stoffer. Dette er ofte lett å få vite fra leverandøren. Industriell gummi er lik i oppbygning som SBR og EPDM, og gir dermed de samme fordelene. Ulempen med industriell gummi i forhold til de andre, er at denne typen er dyrere.[31]



Figur 12: Industriell gummigranulat[24]

## Kork- og kokosinfyll

Granulat av kork- og kokos er miljøvennlig, og gir mulighet for godt spill. Prisen på denne typen granulat er heller ikke så høy. En annen fordel er at det ikke fester seg like mye til klærne i forhold til gummigranulat. Ulempene er at det fryser lett og at det trenger vanning når det er langvarig tørke, og granulaten støver ved langvarig tørke.[31]



Figur 13: Kork- og kokosgranulat[39]

## eCork

eCork er ekspandert kork fra korkeik. Ekspanderingen tilfører korken unike egenskaper sammenlignet med andre typer granulatt. Dette innebærer at cellene blir stengt slik at det ikke tar opp vann, og dermed ikke fryser. eCork har også bedre varmeledningsevne enn andre granulattyper, det vil si at på sommerstid gir det en avkjølende effekt, og på vinterne vil det bli en varmende effekt.[50][55]

eCork sies å være det beste alternativet for totaløkonomien. Dette er fordi at eCork trenger mindre vedlikehold enn SBR, samtidig som det ikke er så mye dyrere enn SBR. Det er ingen klare ulemper med eCork som gruppen klarer å finne.[50][55]





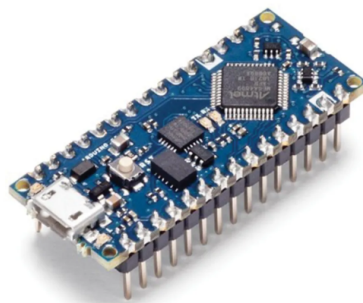
Figur 14: eCorkgranulat[50]

## 2.5 Styreenheter

En styreenhet er en komponent som gjør innsignaler til utsignaler for styring av andre komponenter. Styreenhetene er ofte elektriske og bruker en datahjerne til å sammenligne elektriske signaler som kommer fra for eksempel sensorer for å gi et utgangssignal som kan styre andre komponenter som for eksempel en sylinder. Utgangssignalene blir ofte sendt til en signalforsterker eller signalomformer for å gi et styresignal som er kraftig nok, eller av rett type.

### 2.5.1 Arduino

En arduino er en programmerbar enhet som er produsert av selskapet Arduino. Enheten er utstyrt med programmerbare inn- og utganger der man velger selv hva de enkelte portene skal brukes til.



Figur 15: Arduino Nano[41]

Maskinvaren til arduinoen har en innbygd støtte for seriell kommunikasjon på pinne 0 og 1 (som også går til pc via USB). Den innebygde støtten for seriell kommunikasjon skjer via en del av maskinvaren som er innebygd i chippen som er kalt UART. Denne maskinvaren gjør det mulig å motta seriell kommunikasjon, samtidig som arduinoen arbeider med andre oppgaver så lenge det er 64-bits seriell buffer.[41][5][7]

Universal Asynchronous Receiver/Transmitter (UART) kontrolleren er en viktig komponent i seriell kommunikasjon for en datamaskin. UART tar bits med data og overfører de individuelle bitsene i ensekvensiell orden. Når dataen har kommet dit den skal står det en ny UART som setter sammen igjen bitsene til komplette bytes.[8]

Programmeringen av arduinoenheten skjer ved hjelp av Arduino IDE som er programmet deres for å programmere i. Programmeringsspråket som brukes i Arduino IDE er C++, men har i tillegg noen undergrupper av C i biblioteket. Språket kan deles inn i 3 hoveddeler, funksjoner, verdier (variabler og konstanter) og struktur.[6]

Funksjonene i programmeringen er for å få arduinoen til å gjennomføre beregninger. Arduinoen gjør beregningene utfra programmerte innstillinger som gjør om inngangssignaler til utgangssignaler.

Verdiene består av konstanter og variabler der konstantene er av eller på, mens variablene er signaler som varierer mellom 0 og 100% av ønsket inngangsverdi. Utgangsverdiene er enten av/på eller variable utgangsverdier etter ønske.

Strukturen er der man setter opp hvordan programmet fungerer. I struktureringen blir komponenter inkludert og man bestemmer hva som er oppsett av programmet, og hva som er prosesseringsbiten.

## 2.6 Sensorer

En sensor er et instrument som registrerer kvalitet i omgivelsene. Sensorer brukes ofte i produksjonsanlegg og forskning for å registrere de fysiske forholdene rundt observasjonen[32]. Da sensorene ofte blir brukt til styring er det svært viktig at de viser rett verdier, og dermed må sensorene kontrolleres og kalibreres med jevne mellomrom. Hvis ikke dette skjer, er det en stor fare for at styringen ikke fungerer som den skal.

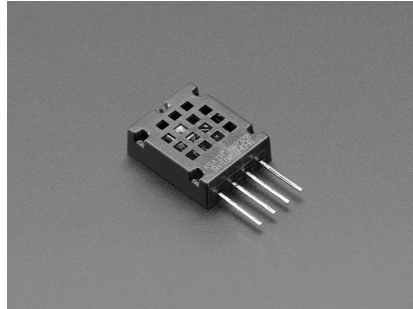
### 2.6.1 Luftfuktighet- og temperatursensor

I denne oppgaven ble det brukt en Adafruit-am2320 luftfuktighet- og temperatursensor. Sensoren bruker et kapasitivt fuktighetselement for å måle fuktighet, og en resistans som lett endrer motstand etter temperaturendringer for å måle temperatur. Nøyaktigheten på sensoren er +/-0,5°C og +/-3%.[1]

Temperatursensoren måler temperaturen ved å måle endringer i den indre motstanden som er i sensoren. Motstanden i sensoren øker når temperaturen øker. Med et metall som lett endrer motstand i sammenheng med temperatur vil man kunne måle temperaturen presist med et ohmmeter. Resultatet må man kjøre gjennom en signalomformer for å få resultatet i den formen man vil ha det i.

Fuktighetsessoren måler luftfuktighet ved å måle resistansen i luften mellom to ledere. Ved høyere luftfuktighet blir det lavere resistans i luften, og dermed overføres strømmen lettere mellom lederne. Med dette kan man konvertere måleresultatet ved hjelp av en signalomformer for å få det ut på den måten man vil ha resultatet.

AM2320 kommuniserer ved å bruke en singel singel bus, toveis kommunikasjonsstandard som heter  $I^2C$ . Dette gjør det mulig med enkel og rask kommunikasjon i små enheter som bruker lite energi. Signalet med  $I^2C$  kan fungere på avstander på opptil 20 meter.  $I^2C$  kommunikasjon bruker standard kommunikasjonssekvenser som gjør det mulig å koble til  $I^2C$  kommunikasjonsbussen uten ekstra koblinger.[4]



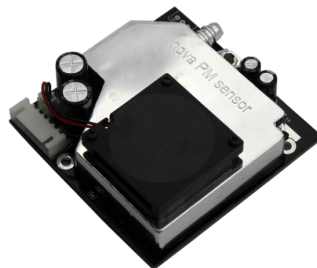
Figur 16: AM2320, temperatur- og fuktighetsensor[1]

$I^2C$  (Inter-integrated Circuit) er en kommunikasjonsprotokoll som gjør det mulig å ha flere integrerte slavekretser(chipper) som kommuniserer med hverandre med en eller flere "master" chipper. Som Serial Peripheral Interface (SPI) er  $I^2C$  lagd for å kommunisere over korte avstander inni en enhet. Og med likehet med asynkront serielt grensesnitt(som for eksempel RS-232 eller UARTs) trenger man bare to signalkabler for å drive kommunikasjonen.[45]

### 2.6.2 Partikkelsensor

I denne oppgaven blir det brukt en Nova PM sensor SDS011. Dette er en lasersensor som måler partikler i luft mellom 0,3 til  $10\mu\text{m}$ . Sensoren fungerer med å ta inn luft på ene siden av sensoren og luft ut på andre siden. Inni sensoren er det en laser som merker partiklene som passerer lyset. Disse signalene blir omgjort til elektriske signaler som blir forsterket og prosessert. Diameteren på svevestøvet kan bli identifisert med analyse siden signalets bølgeform har en sammenheng med diameteren på det sensoren registrerer. [38]

Sensoren har en standardinnstilling for å måle PM2,5 og PM10, og bruker UART som kommunikasjonsprotokoll. Oppgitt levetid på laseren i sensoren er 8000 timer.



Figur 17: SDS011 Partikkelsensor[38]

### 2.6.3 CO<sub>2</sub> og temperatursensor

Sensoren som brukes i hallen i dag er en Micro Matic TE 1000. Denne sensoren måler CO<sub>2</sub> og temperaturen i hallen. Nøyaktigheten på sensoren er +/-30 ppm og +/-3% rel. Driftsbedingungen for sensoren er at den må ligge mellom 0 og 50°C og mellom 0 og 95% RH. Fra fabrikken er instillingene stilt inn med måleområde 0-50°C og 0-2000ppm.[37]



Figur 18: CO<sub>2</sub>- og temperatursensor[37]

### 2.6.4 IoT

IoT(internet of things) eller tingenes internett er en fellesbetegnelse for ting som fungerer i lag over internett. Dette vil si at man kan ha mange sensorer koblet opp mot internett slik at de kommuniserer i lag med hverandre. Dette har blitt mulig de siste årene siden prosesseringskraften til datamaskinene er blitt kraftig nok, og sensorer har blitt svært billig i forhold til det de var før.

I dag brukes IoT til alt fra styring av store produksjonsanlegg til å styre ulike innretninger i hus med smarte løsninger som for eksempel smartlys, smart varmestyring og kjøleskap som sier ifra om det man trenger å handle. I industrien vil det være mange sensorer som måler på hvert sitt punkt for å få et best mulig helhetsbilde. Disse sensorene sender signaler til en datamaskin som prosesserer informasjonen fra alle sensorene samtidig for å finne ut hva som faktisk foregår.

I bygg blir disse sensorene koblet opp mot et SD-anlegg for å styre bygget mest mulig optimalt. Dette gjelder for eksempel ventilasjonssystemer eller sentralvarmeanlegg.

## 2.7 Vedlikeholdsstyringsløyfen

Vedlikeholdsstyringsløyfen er et prinsipp som brukes i henhold med vedlikeholdsutvikling. Prinsippet baserer seg på å utvikle en vedlikeholdsstrategi for bedriften. Dette er en kontinuerlig syklus som skal forbedre vedlikeholdet til bedriften mens man lærer seg å kjenne anlegget.

Der tar man for seg hva som er målet og hvilke strategier man skal ha for vedlikeholdet. Etterpå bestemmer man seg for hvilke måltall og akseptkriterier bedriften skal ha. Måltall er tall man setter utfra mål om oppetid, og akseptkriterier er kriterier man setter seg i forhold til hvor godt maskineriet skal levere når det går.

Når måltall og akseptkriterier er satt, setter man seg ned og lager et vedlikeholdsprogram. Her skal det stå hva som skal vedlikeholdes og hvor ofte det skal gjøres. I tillegg kan man beskrive hvordan vedlikeholdet skal gjøres.

Neste steg i sløyfen er planlegging av vedlikeholdet. Her skal man ta for seg hvordan man skal gjennomføre vedlikeholdet. Dette innebærer klargjøring av igangsetting av vedlikehold som for eksempel finne frem nødvendig utstyr og gjøre klart for at utstyret skal være ute av drift. Etter planleggingen kommer gjennomføringen. Her blir vedlikeholdet gjennomført.

Ved endt vedlikehold skal alt rapporteres inn i et system for å holde oversikt over hva som er gjort. Rapporteringen skal inneholde vedlikeholdsobjekt, hva som ble gjort og når. Det kan være lurt å vurdere tilstanden til vedlikeholdsobjektet også.

Etter rapporteringen er gjort skal arbeidet analyseres. Her skal man ta for seg hva som fungerer og hva som kan gjøres bedre med den planen man har satt til nå, samt lage forslag til forbedringer i vedlikeholdsplanen. Når dette er gjort, må det implementeres i bedriften.

Når alt dette er gjort, begynner man på nytt med mål og akseptkriterier. Dette er fordi meningen med vedlikeholdsstyringsløyfen er å kontinuerlig forbedre vedlikeholdet. Derfor må bedriften jobbe med dette hele tiden.



Figur 19: Vedlikeholdsstyringsløyfen[35]

## 2.8 FMECA

Feilmode- og kritikalitetsanalyse (FMECA) er en kvalitativ analysemodell som har som mål å identifisere mulige feilmoder, bestemme årsaker til feilmoder, bestemme feilmodens innvirkning på systemet og bestemme alvorligheten av de ulike feileffektene. Dette gjøres ved å først avdekke de ulike feilmodene. Da må feilmodene defineres på en klar og entydig måte. Det må fastlegges hvilke funksjoner enhetene er tiltenkt å utføre, og definere feilmodene som

kan opphøre av disse funksjonene. Feilmodene deles ofte inn i to hovedgrupper: Total bortfall av funksjon og feilaktig funksjon eller delvis bortfall av funksjon[10]. FMECA brukes ofte i sammenheng med RCM.

Før analysen starter må man bestemme randbetingelsene. Med randbetingelser menes: hvilke deler av anlegget som skal analyseres, hvilke tilstander som skal betraktes, fastsetting av detaljenivå, og så må man velge et egnet FMECA-skjema. Før utfyllingen av skjemaet begynner bør det gås gjennom følgende trinn: dele opp systemet i delsystemer, etablere et funksjonsdiagram for totalsystemet og sette opp en komplett komponentoversikt for hvert delsystem. [10]

Det er også lurt å finne ut hva som er årsaken til mulige feil når man holder på med en FMECA-analyse, da kan det være lurt å gjennomføre en rotårsakanalyse(RCA). Dette er en systematisk analyse der man går gjennom mulige feil og hva som kan være årsaken til den eventuelle feilen. Når man har gjort dette, er det lett å vite hva slags forebyggende vedlikehold som bør gjøres.[10]

## 2.9 RCM

RCM(Reliability Centered Maintenance) er en metodikk som benyttes i forbindelse med vedlikeholdstekniske analyser. RCM bør brukes i alle faser av anleggets levetid, fra prosjekteringen og drifting til utfasingen. Målet med RCM-analyse er å få et mest mulig optimalt vedlikehold i henhold til hvordan anlegget fungerer. Når man skal opp med et vedlikeholdsforslag, skal analysen ta for seg alle aspekter. Dette gjelder aspekter knyttet til helse, miljø, kvalitet, tilgjengelighet, sikkerhet, økonomi eller andre parametre som bedriften tar for seg. [11]

RCM-metodikken har noen prinsipper som kan anvendes under følgende faser:konseptevaluering, design- og driftsforberedelsesfasen, og driftsfasen. Konseptevalueringen går ut på krav til vedlikehold for forskjellige konseptalternativer. Design- og driftsforberedelser går ut på å identifisere behov for endringer av design for å oppfylle ulike krav som HMS, tilgjengelighet og vedlikeholdskostnader. I denne fasen skal man også utarbeide et effektivt vedlikeholdsprogram. Driftsfasen går ut på å optimalisere eksisterende vedlikeholdsopplegg, og kontinuerlig forbedringer av vedlikeholdsopplegget. Identifisering av behov for utfasing av utstyr skal også gjøres i denne fasen. [11]

## 2.10 Vedlikehold

Det flere måter å drive vedlikehold på. Her bruker man å skille mellom forebyggende vedlikehold og korrektivt vedlikehold. Korrektivt vedlikehold baserer seg på å fikse ting som er blitt ødelagt, mens forebyggende vedlikehold baserer seg på å fikse ting før de blir ødelagt. Det er ikke en fasit på hvilke vedlikeholdsstrategi som er best, dette kommer an på kritikalitetetn til

utstyret, pris og vedlikeholdsvenlighet.

### **2.10.1 Korrektivt vedlikehold**

Korrektivt vedlikehold baserer seg på å skifte ut eller reparere etter feil har oppstått. Når korrektivt vedlikehold skjer, må man ofte drive med feilsøking før man kan starte vedlikeholdet. Dette gjør man for å identifisere og diagnosere feilen.

Når det gjelder korrektivt vedlikehold, skiller man mellom forskjellige typer. Disse typene er forutsett, uforutsett, utsatt og akutt korrigerende vedlikehold.

#### **Forutsett korrigerende vedlikehold**

Denne typen korrigerende vedlikehold baserer seg på å la utstyret kjøre til det ikke fungerer. Filosofien bak dette er at det er billigere å la utstyret kjøre til svikt fordi utstyret ikke er så kritisk for resten av systemet, og ofte går det fort å bytte ut.

#### **Uforutsett korrigerende vedlikehold**

Dette er vedlikehold som settes igang for å gjenopprette funksjonsevnen til utstyret etter at utstyret har sviktet utenom det brukerne har klart å forutse. Uforutsette vedlikeholdsaksjoner er stort sett uønsket siden man ikke har kontroll over hva som skjer, og da kan stopp forekomme på et uønsket tidspunkt.

#### **Utsatt korrigerende vedlikehold**

Utsatt korrigerende vedlikehold er vedlikehold som ikke settes igang umiddelbart etter at feilen er oppdaget. Denne vedlikeholdsformen brukes stort sett på utstyr med lav kritikalitet. Vedlikeholdet utsettes fordi komponenten ikke er kritisk og man anser at vedlikeholdet kan utsettes uten at det går ut over driften.

#### **Akutt korrigerende vedlikehold**

Akutt korrigerende vedlikehold er vedlikehold som settes igang med en gang en feil oppdages. Dette er stort sett aktuelt på kritisk utstyr som har mye å si for produksjonen.

### **2.10.2 Forebyggende vedlikehold**

Innenfor forebyggende vedlikehold er det ulik praksis. I de senere årene er tilstandsbasert vedlikehold ofte brukt, men før har tidsbasert vedlikehold vært veldig vanlig.

#### **Tilstandsbasert vedlikehold**

I tilstandsbasert vedlikehold baserer man seg i hovedsak på kontinuerlige målinger. Disse målingene merker tilstanden til utstyret. Dette har blitt mulig de siste årene fordi sensorer har blitt billigere, og datamaskinene har fått nok kapasitet til å håndtere dataen fra sensorene. Med maskinlæring kan datamaskinen i tillegg regne ut hva forventet levetid på utstyret er.

Med tilstandsbasert vedlikehold unngår man unødvendig vedlikeholdskostnader, nedetid og arbeid. Dette er sterkt anbefalt på dyre og kritiske systemer siden det er den mest pålitelige måten å drive vedlikehold på hvis det gjøres rett.

### **Tidsbasert vedlikehold**

Tidsbasert vedlikehold kommer ofte som anbefalinger fra leverandører. Disse anbefalingene er ofte satt slik at utskiftning av deler skjer før det egentlig er behov for utskiftning. Dette kan være på grunn av ønske om økt salg av reservedeler eller for å unngå å at det blir problemer grunnet slitt utstyr.

Problemet med å skifte ut deler før tiden er ofte at man påfører systemet nye problemer fordi man ikke klarer å sette på plass den nye delen helt 100% likt. Dette er det gjort flere studier på som viser at man kan påføre nye problemer med unødvendig vedlikehold. De mest kjente studiene på dette er fra den amerikanske marinen og det amerikanske luftforsvaret[43].



## 3 Metode

I dette kapittelet redegjør vi for hvilke metoder og målinger som var planlagt, for å få en oversikt over drift og vedlikehold i Flatåshallen og om vi kunne forslått endringer og forbedringer.

### 3.1 Ståstedsanalyse

Hensikten med ståstedsanalysen er å få et innblikk i hvordan Flatåshallen driftes i dag, og hvilke problemer de har. Ståstedsanalysen vil i tillegg gi en indikasjon på hvordan oppgaven bør angripes for å løse den på best mulig vis.

Når ståstedsanalysen skal gjennomføres blir det stilt kvalitative spørsmål til de som drifter anlegget for å få tak i informasjonen om anlegget. Dette vil bli gjort samtidig med en befarings på anlegget for å få en best mulig forståelse av anlegget. Det vil også bli gått gjennom drifthistorikk for å se om de har problemer med noe på anlegget.

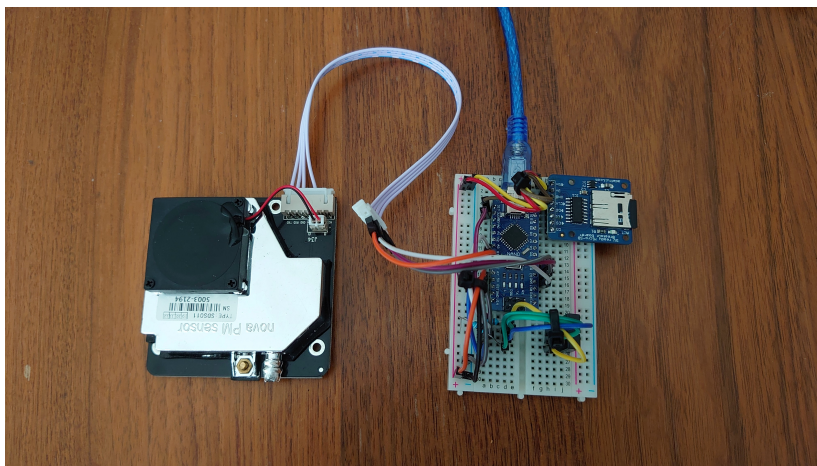
Det er også en del målehistorikk som skal gås gjennom. Dette ligger som kvantitativ data som må systematiseres og brytes ned for å få et innblikk i hvordan inneklimate i hallen er gjennom uken.

Denne informasjonen er svært viktig for å få korrekt utgangspunkt for det videre arbeidet med oppgaven.

### 3.2 Målinger

Hensikten med målingene er å få et helhetsbilde av hvordan luftkvaliteten i Flatåshallen er. Fra før av er det bare temperaturmåling og CO<sub>2</sub>-måling. Ved å gjøre målinger i tillegg til de som allerede gjøres i hallen i dag, vil vi kunne vurdere om målingene som gjøres er gode nok for å sikre et godt inneklimate.

De målingene som planlegges gjennomført er målinger av luftfuktighet, temperatur, PM<sub>2,5</sub> og PM<sub>10</sub> i tillegg til de målingene som allerede blir tatt som er temperatur og CO<sub>2</sub>. Dette blir gjort for å få en bedre oversikt over helhetsbilde i hallen. Sensorene som bachelorgruppen skal bruke til ekstramålingene er en Arduino NANO som er koblet opp med en Adafruit AM2320 og Nova Fitness SDS011. Loggingen av resultatene blir ført over på SD-kort underveis via en Adafruit 254 før de blir lagt over på pc. I tillegg vil det bli brukt el-Watch luftfuktighet- og temperatursensorer. Sensoren som brukes i hallen i dag er Micro Matic TE1000.



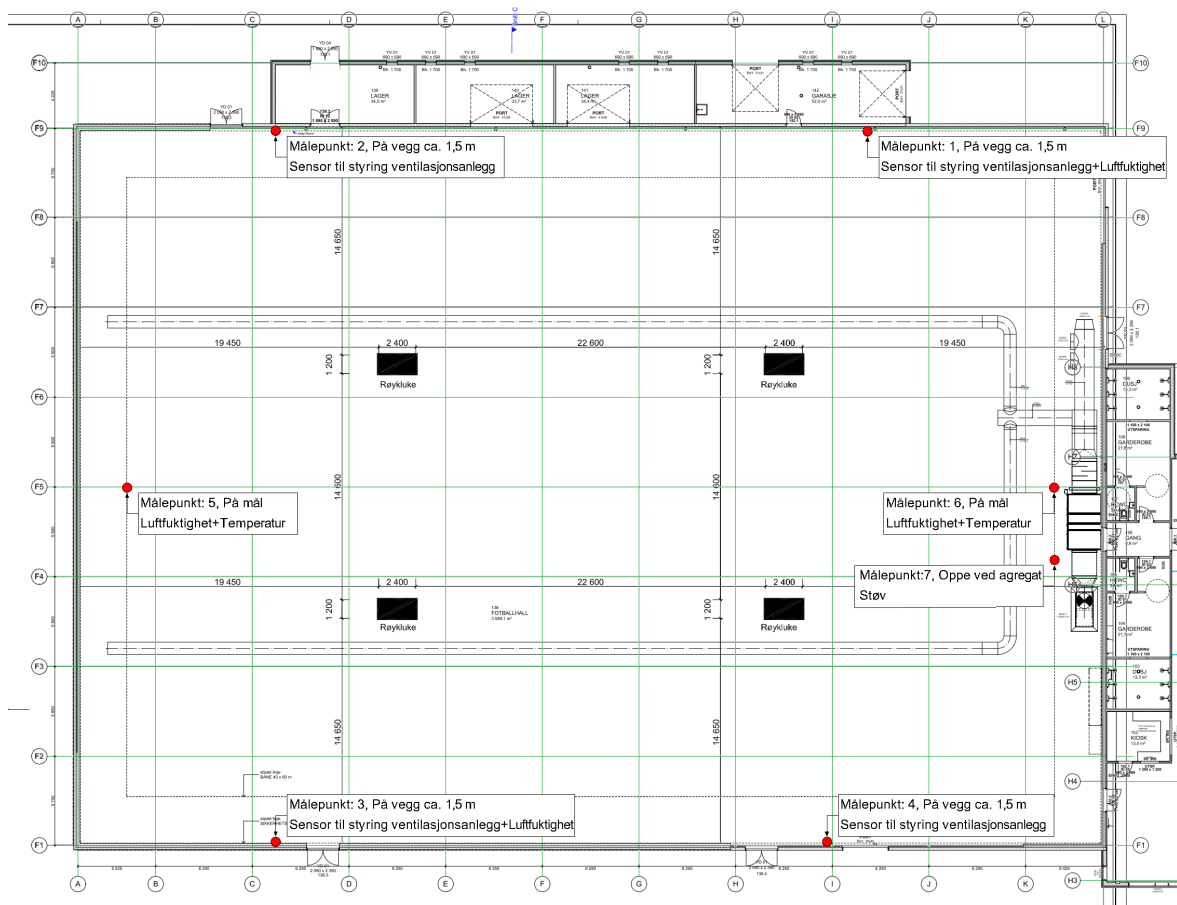
Figur 20: Egenlaget sensor til målinger

Målepunktene som vil bli brukt er plassert på veggene som anvist på figur 21, og i tillegg vil det bli målt temperatur og luftfuktighet på begge fotballmålene. Disse punktene velges fordi det er punkter som er egnet å utføre målinger over lengre tid. Ventilasjonstyringen benytter også noen av disse målepunktene i dag. Målingene vil gå sju dager i strekk for å få en oversikt over hvordan ukessyklus fungerer i hallen. Utover i uken vil enkelte sensorer bli flyttet, da det er flere målepunkter enn sensorer tilgjengelig.

Det vil i tillegg bli brukt en partikkelsensor med høyere nøyaktighet, for å se om de endringer som den egenlagde sensoren til bachelorgruppen har de samme endringene over tid. Begrunnelsen for denne avgjørelsen er at sensoren som er egenlagd ikke er så dyr. Vi er derfor usikre på hvor godt den fungerer. Den dyre partikkelsensoren vil ligge på et beskyttet sted oppe ved ventilasjonsaggregatet, for å unngå skade på den.

Bakgrunnen for målingene er basert på befaringen i Flatåshallen. Det var det mye støv på alt av flater inne i hallen. Bachelorgruppen har fått innspill fra Bjørn Aas hos SIAT at erfaringer fra tidligere oppgaver tyder på at luftfuktighet kan være en bedre indikasjon enn CO<sub>2</sub> for inneklime i idrettsbygg.[23]. Disse målingene mener bachelorgruppen er nok for å få et bra helhetsbilde av inneklimate i fotballhallen.

Det vil i tillegg bli gjort målinger på selve ventilasjonsaggregatet. Her vil det bli tatt vibrasjonsmålinger på motoren og støvprøver i selve aggregatet. Støvprøvene vil bli tatt fordi bachelorgruppen har lyst til å se om det er overføring av støv over varmegjenvinneren siden dette er en roterende varmegjenvinner. Mistanken om overføring av støv beror på tips fra Bjørn Aas og tidligere kunnskap fra studie. Vibrasjonsmålingene vil bli gjort for å få en referanseverdi hvis Flatåshallen bestemmer seg for å bruke vibrasjonsmåling til overvåking i tiden fremover.



Figur 21: Målepunkter

Støvmålingen i aggregatet vil være å tørke av overflater for å se om det er støv der, og i tillegg vil det bli brukt støvtape for å måle hvor mye støv det går gjennom varmeveksleren. Støvtapen vil bli brukt før og etter varmeveksleren for å få en sammenligning.

Vibrasjonsmålingene vil bli gjort slik at man kan få en kontroll over tilstanden til motorene i ventilasjonsaggregatet. Dette kan gjøres hvis man velger å fortsette med kontinuerlige målinger slik at man får fulgt med på vibrasjonsutviklingen. Vibrasjonen vil kunne si noe om tilstanden ved å kjøre dataen fra sensoren inn i et dataprogram som transformerer dataen til noe lesbart. Ofte brukes noe som kalles fouriertransform. Dette gjør at man får resultatene i en graf med forskjellige topper. Jo høyere en topp er, jo dårligere er tilstanden.

Vibrasjonsmålinger kan også gjøres ved at alle toppene kommer samlet slik at man ikke kan finne tilbake til den aktuelle komponenten. Dette er det som er relevant for denne oppgaven.

En annen funksjon som vibrasjonsensoren har, er at den registrerer om det fester seg støv på viftene. Dette skjer ved at støvet som legger på viftebladene skaper ubalanse. Ubalansen på viften vil føre til et økt vibrasjonsnivå som sensoren registrerer. Sensoren vil ikke nødvendigvis vite hvor vibrasjonen kommer fra, dette kommer an på hvilken type sensor man installerer.

Økt vibrasjonsnivå gir uansett indikasjon på at noe er feil, og hvis man sjekker viften vil man fort kunne se støvet på viftebladene.

Vi og Bjørn Aas har mistanke om at det kommer fukt fra bakken inn i fotballhallen. Det vil derfor bli utført fuktighetsmålinger å avgjøre om dette stemmer. Den enkleste måten å undersøke dette på, vil være å se om fuktighetsnivået i hallen øker når ventilasjonsanlegget er avslått, lukket og ingen oppholder seg i hallen.

Underveis i målingene er det viktig å forhøre seg med brukerne om hvordan opplevd luftkvalitet, er slik at man får sammenlignet opplevd luftkvalitet med resultatene fra målingene. Dette gjør det mulig å si noe om hvordan man bør regulere idrettshaller i fremtiden.

Før målingene starter må alle instrument kalibreres for å få et mest mulig rett helhetsbilde av hva som skjer i fotballhallen.

### **3.3 FMECA**

Hensikten med å gjennomføre en FMECA er å finne de kritiske komponentene i anlegget, slik at man vet hvilke komponenter det bør bli tatt mer hensyn til når det planlegges et vedlikeholdsprogram.

For å komme igang med FMECAen må gruppen som skal være med på analysen finne alle komponentene som skal være med i analysen. Etterpå må det undersøkes hva som er kritiske driftskriterier på de forskjellige funksjonene. Når dette er gjort, må gruppen finne et passende FMECAskjema for å bruke under undersøkelsen.

Når alt er klart for analysen må gruppen gå sammen og diskutere rundt de forskjellige komponentene og deres funksjon. Gruppen bør bestå av folk fra flere forskjellige avdelinger for å få en bredest mulig forståelse. Her må det tas hensyn til hvor stor feil en enhet kan ha før enheten ikke klarer å levere krev nivå, og hvilken funksjon/funksjoner som mistes hvis en enhet feiler. Denne informasjonen skal gruppen bruke til å fylle ut skjemaet, med dette finner man kritikaliteten til hver enkelt komponent.

### **3.4 RCM**

Hensikten med en RCM-analyse er å utbedre det allerede eksisterende vedlikeholdsprogrammet som er hos eieren av anlegget. I denne analysen vil det bli tatt for seg hvilke tiltak man mener er nødvendig for å unngå nedetid på anlegget.

Når man skal gjøre en RCM-analyse, er det lurt å gjøre en FMECA som første del av analysen. FMECA blir brukt underveis i RCM-analysen for å vite kritikaliteten på utstyret som skal analyseres. Underveis i RCM-analysen vil det bli tatt for seg en og en komponent der man

bestemmer prioritering på vedlikehold, og hvilken vedlikeholdsstrategi man skal ha for hver komponent.

Underveis i RCM-analysen vil det komme frem om man trenger ekstra overvåkningsutstyr på utstyret. Etter analysen er ferdig skal man kunne hente ut hva man mener er et fornuftig vedlikeholdsprogram, og hvordan man skal hente inn nødvendige driftsdata.

### **3.5 Litteraturstudie**

For å sikre et bra utgangspunkt når oppgaven blir skrevet er det viktig å sørge for å ha gode kilder. Derfor er det viktig å vurdere kildene som blir brukt. Dermed vil det i hovedsak kun bli brukt lærebøker, artikler fra kilder som virker valide og kjente fagbøker. På bakgrunn av dette blir det brukt mye informasjon som er hentet fra forskjellige departementer i Norge, datablad, tidligere oppgaver som ble anbefalt av Bjørn Aas, og forskjellige vitenskapelige institusjoner. Siden bibliotekene ble stengt ned på grunn av Covid-19 var det ikke mulighet å sjekke bøker som ikke ligger på nett hos NTNU.

Det er også viktig å vurdere hva man skal ha med før man søker opp informasjon slik at man unngår at det blir mye unødvendig informasjon i rapporten.

## 4 Gjennomføring

I dette kapittelet vil det bli beskrevet hvordan ting ble gjort underveis i bacheloroppgaven.

### 4.1 Ståstedsanalyse

For å få et bedre innblikk i ventilasjons- og varmeanlegget som tilhører fotballhallen på Flatåsen hadde bachelorgruppen en omvisning med driftansvarlig der. Drift- og vedlikeholdsansvarlig av hallen er en frivillig fra idrettslaget som gjør dette på kveldstid.

Under befaringen ble det stilt spørsmål om driften av anlegget, vedlikeholdet og om det var noen andre problemer knyttet til anlegget. Først ble gruppen vist anlegget før gruppen stilte spørsmålene til drift- og vedlikeholdsansvarlig. Etter spørsmålene var stilt, gjorde vi oss kjent med anlegget, og vurderte hvordan oppgaven skulle angripes.

Det første gruppen la merke til var at det var mye overflatestøv inne i fotballhallen. Støvet var godt synlig på alt av overflater, og festet seg til klær hvis vi kom borti en overflate. Dette ble ansett som en aktuell problemstilling. Noe annet som fort ble lagt merke til var luftkvaliteten. Luften virket veldig fuktig, men dette kan ha noe med at ventilasjonsaggregatet ikke hadde startet som det skulle dagen vi var på befarings.

Det kom også frem at det ikke er gjort noen store vedlikeholdsaksjoner på anlegget. Det eneste som skal være gjort er filterbytte etter at Flatåshallen byttet kunstgressmatten.

Etter befaringen snakket bachelorgruppen med Bjørn Aas om funnene hos Flatåshallen. Han mente at støvet kunne komme fra prepareringsmaskinen som er av en åpen type, og at den høye luftfuktigheten kunne komme fra grunnen hallen er bygd på. Når dette var gjort, ble det gjennomgang av dokumentasjonen til anlegget. Dette innebar å se på alt av tegninger og datablad om anlegget, i tillegg til å se på FDVen til anlegget.

Det siste som ble gjort ble gjort i ståstedsanalysen var å gå gjennom dokumentasjonen i SD-anlegget. Her var det oversikt over når ting har vært i drift, alarmer, temperatur- og CO<sub>2</sub>målinger. Dette ble gjort for å få en bedre oversikt over inneklimate og hvordan Flatåshallen kjører aggregatet.

### 4.2 Målinger

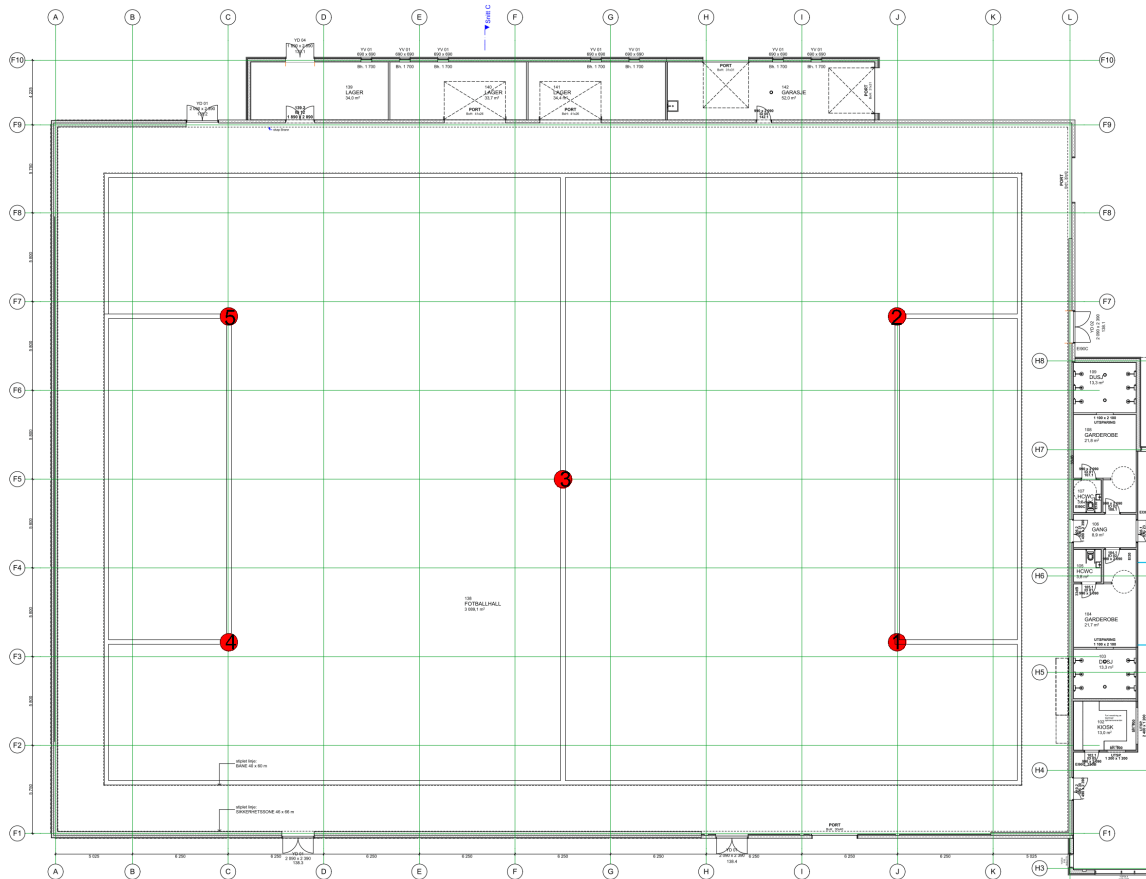
Etter befaringen i Flatåshallen fant bachelorgruppen ut at det var viktig å foreta støvmåling. Dermed ble det satt i gang et arbeid med å finne en passende partikkelsensor. Gruppen fant ingen ferdige sensorer til en overkommelig pris for budsjettet, dermed ble det tatt en beslutning om å lage en sensor med komponenter som man kan sette sammen selv. Etter at de passende komponentene ble funnet, ble det avklart at dette skulle styres fra en Arduino.

Når delene var kommet, måtte Arduinoen programmeres og kobles slik at den fikk den funksjonaliteten den skulle. Arduinoen ble programmert til å logge resultatene fra målingene hvert 20. sekund til et SD-kort. For å få sensorene til å fungere måtte forskjellige pakker hentes fra nettet og inkluderes i programmet.[1][38][2]

Grunnet Covid-19 ble det ikke mulighet å få gjennomført målingene siden hallen ble stengt ned. Dermed ble det brukt målinger fra et feltarbeid VVS-teknikk hadde høsten 2019. Feltarbeidet går ut på at VVS-linjen er på befarings av et bygg, hvor de gjør målinger og undersøker om VVS-anlegget fungerer som det er det skal. Dette gir studentene en praktisk forståelse av fagene og de får en innsikt i hvordan et anlegg er utformet.

#### 4.2.1 Gjennomførte målinger

Målingen i hallen ble gjort ved fem punkter i hallen som vist på figuren nedenfor:



#### Støvmålinger

Støvmålingen i hallen ble gjort med referanse til antall partikler per volumenheter, for å få en bedre forståelse for hvordan disse målingen forholder seg til kravene fra Helsedirektoratet. Måleresultatet er oppgitt i partikler per kubikkmeter og regnes om til massekonsentrasjon. Det er valgt å ta med PM10 selv om det ikke er krav til dette inndørs da det er mistanke om at noe av støvet som kommer fra banen er større partikler. Omgjøringsformler er hentet fra

Varme- og klimateknikk. [52]

$$N = A \cdot \int_{D_1}^{D_2} D^{-(n+1)} dD \Rightarrow A = \frac{N}{\int_{D_1}^{D_2} D^{-(n+1)} dD}$$

$$c = A \cdot \frac{\rho \cdot \pi}{6} \cdot \int_{D_1}^{D_2} D^{-(1+n)} dD \Rightarrow N \cdot \frac{\rho \cdot \pi}{6} \cdot \frac{\int_{D_1}^{D_2} D^{(2-n)} dD}{\int_{D_1}^{D_2} D^{-(n+1)} dD}$$

Symbol	Beskrivelse
N	Partikkelkonsentrasjon
$D_1$	Nedre aerodynamiskdiameter [0, 3 $\mu$ m]
$D_2$	Øvre aerodynamiskdiameter [3 $\mu$ m for $PM_{2,5}$ , 10 $\mu$ m for $PM_{10}$ ]
$\rho$	Massetetthet [Settes til 2055 $kg/m^3$ [18]]
$n$	Konstant [Settes til 2,5]

Tabell 12: Symbolbeskrivelse av partikkel omgjørings formler

### 4.3 Risikoanalyse

Da bachelorgruppen skulle gjennomføre risikoanalysen tok gruppen og gikk gjennom komponent for komponent fra systemskjemaet for anlegget. For hver komponent ble gjort en FMECA. FMECA-skjemaet som ble brukt ble hentet fra en øving i faget TMAS2001, og i skjemaet ble gjort små modifikasjoner før det ble overført til excel. Gjennom FMECA-analysen ble det vurdert feilmode, feilårsak, funksjon, operasjonell tilstand, feilmekanisme, deteksjon av feil, effekt på andre enheter og hovedfunksjon, feileffektgradering og feilreduserende tiltak.

Siden anlegget er nytt, og ikke har hatt noen problemer med drift, ble ikke feilrate brukt i analysen. For å kunne bruke feilrate måtte det ligget data til grunn for å finne dette, og det er vanskelig å si noe om dataene som ligger ute på internettet kan sammenlignes med anlegget i oppgaven på grunn av driftbetingelser.

Det ble ikke flere med på analysen enn bachelorgruppen grunnet coronatiltakene som var blitt satt igang i samfunnet, og det passet ikke med tidskjemaet for andre å gjennomføre denne. Dette svekker kvaliteten på analysen, siden det ikke er med noen med kjennskap til driften av anlegget og kan gi erfaringsbasert input.

### 4.4 RCM

Med resultatene fra FMECAen gikk gruppen videre med RCM-analysen. Her ble resultatene fra FMECAen sammenlignet med kostnader og kompleksitet for ekstra tiltak vurdert. Muligheten for vedlikeholdsstyringsystem ble også tatt i betraktning. RCM-analysen som ble gjort tok utgangspunkt i Nancy Regans "7 steps". Utfra dette ble det lagd et forslag på hvordan vedlikeholdet burde gjøres.



Steg	Beskrivelse
1	<b>Funksjon:</b> Registrer hva komponentene gjør(ikke hva de er). Inkluder ønsket ytelse på utstyret
2	<b>Funksjonssvikt:</b> Dokumenter hvordan en enhet kan feile slik at den mister funksjonen sin
3	<b>Feilmode:</b> Fastslå hva som forutsaker hver funksjonssvikt
4	<b>Feileffekt:</b> Skriv ned hva som skjer om ikke vedlikehold blir gjort
5	<b>Feilkonsekvens:</b> Skrive hva som er konsekvensen hvis enheten feiler. Alt fra miljøkonsekvens til hva det har å si på andre komponenter i systemet
6	<b>Vedlikeholdsplan:</b> Sette opp hvilke vedlikehold som skal gjøres på hver enkelt komponent, og hvor ofte
7	<b>Strategi:</b> Bestemme om andre aksjoner er mer passende

Tabell 13: Fornorskning av Nancy Regan sine 7 steps i RCM-prosessen

RCM-analysen som ble gjort ble litt forenklet for å spare tid, siden RCM er en tidskrevende prosess. Forenklingen innebar å ikke gå helt i detalj på hver eneste komponent. Dette mente gruppen var forsvarlig siden det er et nytt anlegg, og at man får med seg det meste selv om analysen er forenklet.

#### 4.5 Utregninger

Metodene gjort i utregningene er metoder fra bøker og artikler. I flere av utregningen er formulene funnet i litteratur, mens fremgangsmåten er utarbeidet av gruppen. Det er få standarder som dekker det gruppen ønsker å undersøke.

## 5 Resultater

I dette kapittelet vil resultater fra gjennomføringen av oppgaven bli tatt for seg.

### 5.1 Ståstedsanalyse

Det bachelorgruppen fant ut fra ståstedsanalysen var at varmeanlegget i hallen er vannbasert, med fjernvarme som oppvarmingskilde. Turtemperaturen på varmeanlegget er utekompensert ved å regulere vannmengden som går gjennom varmeveksleren mellom fjernvarmenettet og forbrukeren på fjernvarmresiden av varmeveksleren.

Vannsirkulasjonen i varmeanlegget gjøres av to sirkulasjonspumper. Disse pumpene er koblet i parallell, og begge pumpene er dimensjonert for å dekke trykktapet i systemet. Disse veksler på å gå for å trimme pumpene slik at den ene ikke går mye mer enn den andre eller blir ødelagt av å stå for lenge. Det er valgt å sette inn to pumper for å øke driftssikkerheten til anlegget, slik at hvis en pumpe blir ødelagt, så kan den andre pumpen gå selv om den ene pumpen er ødelagt. Pumpene styres av en trykksensor innebygd i pumpen. Ved å ha konstant statisk trykk ved pumpene, vil vannmengden i systemet reguleres etter motstanden som er i systemet. Trykket endres hovedsakelig over ventilene, slik at dersom motstanden i systemet blir større, reduseres vannmengden.

Oppvarming av hallen gjøres gjennom to aerotempere. Disse aerotempere reguleres via reguleringsventiler på turledningen, som styres av temperaturfølere i hallen. Aerotempere er dimensjonert til å dekke 25,5 kW hver og skal dekke klimaavhengige energitap i hallen.

Ventilasjonsaggregatet i hallen er dimensjonert til 13000 m<sup>3</sup>/h. Dette skal dekke både personbelastning og emisjoner fra rommet. Det er uvisst hvor stor luftmengden for emisjoner per kvadratmeter er satt til, hvor mange personer som dette er dimensjonert for og ved hvilken belastning. Det ser ut til at emisjonsleddet er mindre enn det som er anbefalt av kulturdepartementet på 7 m<sup>3</sup>/hm<sup>2</sup>, da dette alene vil gi en større luftmengde enn det anlegget er dimensjonert for.

I FDV-en til ventilasjonsanlegget står det at det er et stengespjeld til den ene tøykanalen for å sikre riktig kastelengde ved lave luftmengder. Dette ble ikke observert ved befaring av anlegget, men kan fortsatt være installert uten at vi registrerte det.

### Varmegjenvinner

Varmegjenvinningen i ventilasjonsanlegget gjøres via en roterende varmegjenvinner. Roterende varmegjenvinnere har høy en virkningsgrad, men overfører både følbare og latent varme. Hvor ofte denne rengjøres er usikkert, men ettersom det er store støvmengder i hallen vil rengjøring av denne mest sannsynlig være nødvendig.

Det er ikke oppgitt en fuktvirkningsgrad på veksleren. Dette kan skydes at det kan monteres en rengjøringszone på veksleren som blåser luft gjennom som hindrer luft fra å bli med gjennom. Dette kan påvirke hvor mye fuktighet som blir med over fra avtrekket til tilluften og avhengige av innstillingen. Tørr virkningsgrad på 79,9%

Ved kontroll av gjenvinner skal følgende punkter i følge produsenten kontrolleres:

- Sjekke at rotoren går lett.
- Kontrollere at tetningsbørstene tetter mot sidene og ikke er slitt.
- Sjekke om drivremmen er strukket og ikke slurer. Turtallet skal være minst 8 RPM ved full gjenvinning. Reimen må avkortes dersom den slurer.
- Sjekke at drivremmen er uskadd og ren.
- Sjekke at rotorens luftinntak er ren og ikke full av støv eller annen forurensning.
- Kontrollere trykbalansen
- Kontrollere trykkdifferansen

## Filter

Avtrekksfilteret i ventilasjonsaggregatet er av typen M5, mens tilluftfilteret er av typen F7. Dette vil si at avtrekksfilteret er av en lavere klassifisering enn tilluftfilteret. Filterklassifiseringen er oppgitt etter NS-EN-779 som nå er en utdatert standard. Ettersom denne standarden er tilbaketrasket får man ikke sett på kriteriene for filterene i denne. Det er vanskelig å sammenligne effektiviteten til filtre under NS-EN-779 og den nye standarden NS-EN-16890, da testkriteriene for filterene er endret. Men det finnes sammenligningstabeller som gir tilnærmet sammenligning. [29]

NS-EN 779	NS-EN ISO 16890		
Filterklasse	ePM1	ePM2,5	ePM10
M5	5-35%	10-45%	40-70%
F7	40-65%	65-75%	80-90%

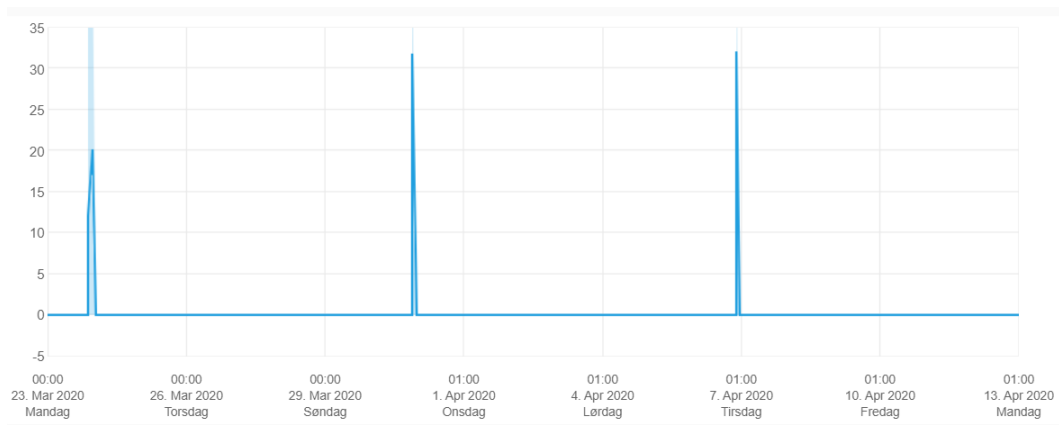
Tabell 14: Filtervirkningsgrad [29]

## Drift

Driftstidene av ventilasjonsanlegget er satt ut fra bruksmønsteret i hallen. De fleste hverdager tilsier dette mellom 16:30 og 22:30, men kan endres etter spesielle behov. Når aggregatet ikke er i drift er det ikke ventilasjon i hallen foruten infiltrasjon gjennom bygningskroppen. Selv om

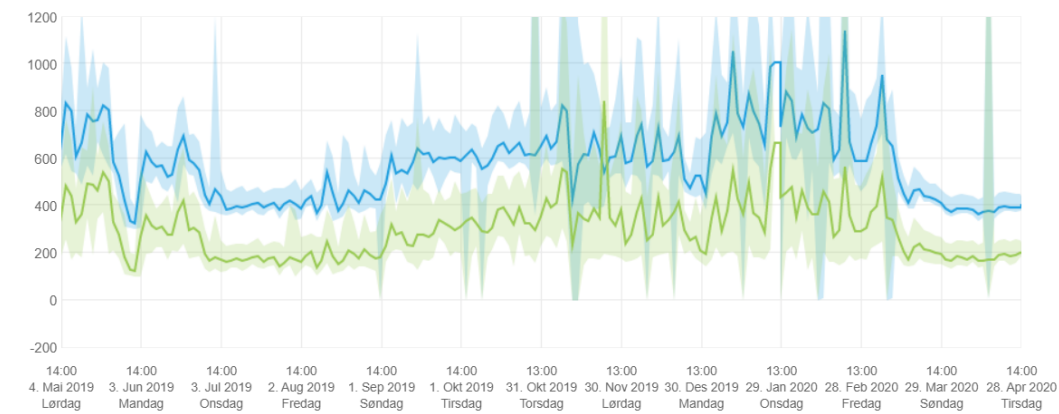
hallen brukes av skolen i nærheten på dagtid til kroppsøving. Det er vanskelig å avgjøre hvilken bygningskategori fotballhall går under når man skal se på kravspesifikasjoner. I TEK17 er ikke idrettsbygg nevnt spesifikt, når det gjelder inneklima, men de samme argumentene som brukes i vanlige bygg kan brukes for å ventilere slike bygninger hele døgnet og ikke bare i driftstiden.

Dersom anlegget ikke er i driftsmodus over lengre tid vil anlegget starte opp en gang i uken og gå i cirka 1,5 time. Dette skal hindre at det blir oppblomstring av organismer i kanalføringene ved å tørke dem.[34]



Figur 22: Viftepådrag fra SD-anlegg

Ut fra dataene fra SD-anlegget virket det som den ene CO<sub>2</sub>-sensoren er feil kalibrert. Dette mener bachelorgruppen fordi det var en ganske konstant forskjell mellom CO<sub>2</sub>-sensorene, og at CO<sub>2</sub>-nivået viser lavere verdier på den ene sensoren enn det normale CO<sub>2</sub>-nivået i atmosfæren. Forskjellen var ikke like stor i flerbrukshallen til Flatåsen som styrker mistanken om feilkalibrering av en eller begge sensorene.



Figur 23: Historiske verdier av karbondioksidsensorer i hallen

Disse sensorene styrer ventilasjonsanlegget. Anlegget blir styrt fra den av de to sensorene med den verdien som er lengst unna settpunktet, denne løsningen er praktisk fordi det kan være ulik aktivitet i de forskjellige delene av hallen. Dette kan føre til at det kan bli dårlig luft der

den ene sensoren er, mens den andre viser fine verdier.

### Velikehold

Velikeholdet av anlegget på dagsbasis gjøres av driftsansvarlig. Dette innebærer skifting av filter, undersøke feilmelinger og å ha visuelle og akustiske kontroller av anlegget. Idrettslaget har serviceavtale med GK som har årlig kontroll av anlegget. Velikeholdet som skjer i dag er korrektivt.

Filterbyttene skjer når filterene blir så tette at SD-anlegget gir feilmelding på for stort trykktap over filter. Dette har kun skjedd i fotballhallen i sammenheng med bytte av kunstgressmatten, da det ble store støvmengder under bytte.

Den akustiske kontrollen blir gjort under inspeksjonsrundene der driftsansvarlige lett hører om det er noen ulyder. Dette er ikke noen fullgod måte å detektere feil på, men kan indikere at noe er alvorlig feil. Så med denne metoden kan det kun avdekkes alvorlige feil som oppstår fort.

Når GK er på den årlige servicen skal de gå gjennom hele anlegget for feil, og ting som det kan bli feil med i nærmeste fremtid. Dette vil ikke avdekke feil som oppstår mellom servicene, og dette kan gjøre at det blir ekstra nedetid på anlegget.

Komponent	Vedlikeholdstiltak
Filter	Sjekk trykktap over filter. Hvis stort trykktap bytt filter
Varmegjenvinner	Visuell kontroll. Sjekk trykbalanse, sjekk differanse-trykk, kontroller rotorhastighet. Rengjør om nødvendig
Vifte	Visuell inspeksjon. Rengjør om nødvendig. Sjekk luftstrømningen
Luftspjeld	Visuell kontroll. Rengjør om nødvendig. Sjekk tetthet

Tabell 15: Anleggskontroll[30]

### Kontroll av vifte

- Forbered tilgang: Tilgang skjer vanligvis gjennom inspeksjonsdører/luker. Løsne jordkabelen, løsne skruene og pakningene og trekk ut viften.
- Sjekk om viften roterer lett, og om viften er i balanse. Sjekk også om viftehjulet har partikkelsvingninger. Ubalanse i viften kan skyldes skader eller belegg på viftehjulskovlene
- Ta en akustisk kontroll av lagrene

- Sjekk om viftehjulene sitter fast, og om de overlapper inløpskonene
- Sjekk gummidemperene til viften
- Sjekk bolter, opphengsanordning og stativ
- Kontroller pakninger
- Sjekk om målestagene sitter fast
- Monter viften igjen
- Kontroller luftmengde ved avlesning på display

Det er ikke ført noe historikk som bachelorgruppen ble gjort kjent med. Det som ble opplyst var at kunstgressdekket har blitt skiftet en gang og at det har vært ett filterbytte. Ikke noe annet vedlikehold skal ha blitt gjort på anlegget, noe som gir lite historikk å arbeide utfra i oppgaven.

## 5.2 Målinger

Bachelorgruppen fikk ikke gjort målinger i hallen da hallen ble stengt av regjeringen for å redusere spredning av Covid-19. Det vil dermed bli brukt målinger som ble gjort i høsten 2019 i faget TMAS3003 i hallen. Målingene som ble gjort var støvmålinger før og etter aktivitet, samt temperatur, relativ fuktighet og karbondioksid før og etter aktivitet.

Pos	Før aktivitet					Etter Aktivitet				
	kl	$CO_2$ [PPM]	Fukt RH [%]	T [°C]	Fukt abs. [ $\frac{g_{vann}}{kg_{luft}}$ ]	Kl	$CO_2$ [PPM]	Fukt RH [%]	T [°C]	Fukt abs. [ $\frac{g_{vann}}{kg_{luft}}$ ]
1	9:50	680	57,7	12,1	5,037	13:13	726	65,3	12,0	5.669
2	9:51	680	55,4	12,7	5,031	13:11	730	62,5	11,9	5.388
3	9:52	690	60,0	11,8	5,136	13:10	736	62,4	12,0	5.415
4	9:53	680	61,0	11,6	5,153	13:09	732	61,8	12,1	5.398
5	9:54	679	62,5	11,4	5.211	13:08	740	60,8	12,2	5.345
$\bar{x}$	9:52	681,8	59,3	11,9	5.110	13:10	732,8	62,6	12,0	5.443

Tabell 16: Målinger gjort i fotballhallen 29.10.19 på karbondioksid, temperatur og relativ fuktighet

POS	kl.	0.3µM	0.5µM	1.0µM	3.0µM	5.0µM	10.0µM	PM10	PM2,5
UTE	11.26	2466784	1240283	484099	49823	10247	0	2,9	1,3
1	11.14	9222968	3052650	1337102	219435	94346	21201	9,7	4,4
2	11.16	9448057	3364664	1560424	314134	155477	30035	10,3	4,7
3	11.18	9545936	3240283	1419788	268551	137102	24735	10,2	4,6
4	11.20	9373852	3161837	1397173	246290	109187	24735	9,9	4,5
5	11.22	8965724	3028622	1305300	214841	98940	19435	9,5	4,3

Tabell 17: Støvmålinger før aktivitet

POS	kl.	0.3µM	0.5µM	1.0µM	3.0µM	5.0µM	10.0µM	PM10	PM2,5
1	12.57	13087633	6615548	3961131	1295053	675265	122615	17,9	8,1
2	13.00	15262191	8584452	5283392	1765371	887986	172085	22,2	10,1
3	13.02	13720141	7423322	4543110	1480212	748057	141696	19,5	8,8
4	13.05	12737456	6218728	3518021	1044876	534982	102827	16,8	7,6
5	13.07	14169258	7572085	4288693	1460424	751943	122615	19,7	8,9

Tabell 18: Støvmålinger etter aktivitet

Gjennomsnittet av målingen i de forskjellige stedene i hallen:

Tidspunkt	PM10	PM2,5
Før aktivitet	9,9µg/m <sup>3</sup>	4,5µg/m <sup>3</sup>
Etter aktivitet	19,2µg/m <sup>3</sup>	8,7µg/m <sup>3</sup>

Tabell 19: Gjennomsnitt av målingen gjort i hallen

## 5.3 Beregninger

### 5.3.1 Beregning av fukttilførsel i hallen

Siden kunstgressmatten er lagt direkte på fuktig sand kan fuktighet fra grunnen diffundere til rommet. Etersom bachelorgruppen ikke fikk mulighet til å gjøre målinger på dette selv, blir det tatt utgangspunkt i målinger som ble tatt høsten 2019 i hallen gjennom et feltarbeid på linjen VVS-teknikk innen maskiningeniør. Ingen av de to medlemmene på bachelorgruppen var selv tilstede under målingene og kan ikke si noe om nøyaktigheten på målingen i forhold i forurensing fra andre kilder.

Det er gjort noen antagelser og forenklinger under utregningene av fukttilførselen, og dette er bare et grovt estimat for å avgjøre om man kan ha grunnlag for å tro at det er tilført fuktighet fra grunnen. Den første forenklingen som er gjort, er at det er antatt at luftkvaliteten i hallen er homogen selv om den mest sannsynlig vil være forskjellig i forskjellige høyder og steder i hallen. Det vil også være individuelle forskjeller fra person til person når det kommer til hvor

mye luft som respireres, fuktighetsnivå i pusten og karbondioksidproduksjon ved forskjellige aktivitetsnivåer, men det er brukt generelle verdier og disse behøver ikke å stemme med de faktiske forhold i hallen. Det er ikke tatt hensyn til fukttilførsel fra svette og eventuelt andre fuktighetskilder.

For å gi en indikator på personbelastningen kan karbondioksidendringen i hallen være en indikator. Ved å se på produksjonen i hallen kan man få et estimat på hvor mange som oppholdt seg i hallen og med hvilket intensitetsnivå. For å få det mest riktige bildet over situasjonen, brukes gjennomsnittsverdien av målingene som er gjort på forskjellige steder i hallen.

Karbondioksidproduksjonen er lineær med luftmengden man respirerer. Ved dette kan man finne en tilnærmet verdi for hvor mye fuktighet som tilføres luften gjennom respirasjon. Dette kan så brukes til å finne fukttilførselen fra personer i hallen. Det hadde vært mer nøyaktig å regne den metabolske vannproduksjonen for å finne dette, men den avhenger av oksygenforbruket. Noe gruppen ikke har tilgang på. Det er derfor gjort en forenkling ved at luftfuktigheten i utpust er konstant. [53][16]

$$\dot{V}_E = \dot{V}_{CO_2} \cdot \frac{863}{Pa_{CO_2}(1-\frac{V_p}{V_t})} \Rightarrow V_E = \int_{t_0}^{t_1} \dot{V}_{CO_2} \cdot \frac{863}{Pa_{CO_2}(1-\frac{V_p}{V_t})} dt$$

$$V_E = \frac{863}{Pa_{CO_2}(1-\frac{V_p}{V_t})} (V_{CO_2}(t_1) - V_{CO_2}(t_0)) = \frac{863}{Pa_{CO_2}(1-\frac{V_p}{V_t})} (\Delta V_{CO_2})$$

Symbol	Beskrivelse
$\dot{V}_E$	Luftutskifte ved respirasjon
$\dot{V}_{CO_2}$	karbondioksid produksjonrate
$Pa_{CO_2}$	Arterielt partial $CO_2$ trykk
$V_p/V_t$	Dødrom fraksjonen av respirasjonsvolumet

Tabell 20: Symbolforklaring

Karbondioksidmålingene er målt i PPM som tilsvarer del per million i volum. For å finne produsert  $CO_2$  kan man bruke endring i PPM i hallen.

De fysiologiske verdiene i uttrykket er hentet fra forsøket "Effect of high-intensity exercise on the VE-VCO2 relationship"[16]. Det er tatt utgangspunkt i testene med stabil intensitet. Vi velger å bruke verdier fra  $SS_1$ .

	$SS_1$	$SS_2$	$SS_3$	Gjennomsnitt
$Pa_{CO_2}$	38,8 torr	34,8 torr	35,0 torr	36,2 torr
$V_D/V_T$	0,16	0,15	0,16	0.1567

Tabell 21: Fysiologiskeverdier [16]



Aktiviteten i hallen mellom målingene i hallen er uviss. Antall personer og hvor aktive disse var mellom målingene vil dermed ikke være mulig å avgjøre.

Fukttilførselen gjennom respirasjons avhenger av to faktorer, hvor mye luft som respireres og fuktigheten til denne lufta. Fuktigheten i ut pust varierer fra person til person. Men man kan anta at luftfuktigheten i ekspirasjon konstant ved normale omstendigheter på  $0,0342 \text{ g}_{vann}/\text{l}_{luft} \approx 28,5 \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft}$ . [21]

$x = \frac{m_{vann}}{m_{Luft}} \Rightarrow m_{vann} = x \cdot m_{Luft} \Rightarrow \Delta m_{vann} = \Delta x \cdot m_{Luft}$ , Mengden luft i hallen antas å være konstant.

$$m_{Luft} = V_{rom} \cdot \rho_{luft}$$

$$\Delta m_{vann} = \Delta x \cdot V_{rom} \cdot \rho_{luft}$$

Fuktigheten som tilføres rommet per time blir dermed:

$$\frac{\Delta m_{vann}}{t} = \frac{\Delta x \cdot V_{rom} \cdot \rho_{luft}}{t}$$

Fuktigheten som tilføres luften per volumenhet vil variere, men antar at her at denne konstant og lik forskjellen mellom fuktigheten i rommet før aktivitet og fuktigheten i ekspirasjon.

$$\Delta m_{vann_{pust}} = \Delta x_{pust} \cdot \rho_{luft} \cdot V_E = \Delta x_{pust} \cdot \rho_{luft} \cdot \frac{863}{Pa_{CO_2}(1 - \frac{V_p}{V_t})} \Delta V_{CO_2}$$

Resultat fra målingene gir verdiene:

$$\Delta x = x_f - x_e = (5,443 - 5,110) \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft} = 0,333 \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft} = 3,33 \cdot 10^{-4} \text{ kg}_{vann}/\text{kg}_{luft}$$

$$\Delta x_{pust} = x_u - x_i = 28,5 \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft} - 5,11 \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft} = 23,39 \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft} = 0,02339 \text{ kg}_{vann}/\text{kg}_{luft}$$

$$\Delta CO_2 = 732,8 \text{ ppm} - 681,8 \text{ ppm} = 51 \text{ ppm} = 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-3}$$

$$V = (46\text{m} \cdot 7\text{m} + 2 \cdot \frac{5\text{m} \cdot 23\text{m}}{2}) \cdot 66\text{m} = 28842 \text{ m}^3$$

$$\Delta V_{CO_2} = V \cdot \Delta CO_2 = 28842\text{m}^3 \cdot 5,1 \cdot 10^{-5} \text{ m}^{-3} = 1,471$$

$$t = 13,167 \text{ timer} - 9,867 \text{ timer} = 3,3 \text{ timer}$$

Den målte fukttilførselen til hallen:

$$\Delta m_{vann} = \Delta x \cdot V_{rom} \cdot \rho_{luft} = 0,333 \text{ g}_{vann}/\text{kg}_{luft} \cdot 28842 \text{ m}^3 \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \approx \underline{11525 \text{ g}}$$

$$\Delta \dot{m}_{vann} = \frac{\Delta x \cdot V_{rom} \cdot \rho_{luft}}{t} = \frac{0.333 \text{ g vann/kg luft} \cdot 28842 \text{ m}^2 \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3}{3,3 \text{ timer}} = \underline{3492,5 \text{ g/time} \approx 3500 \text{ g/time}}$$

Den teoretiske fukttilførselen gjennom respirasjon:

$$\begin{aligned} \Delta m_{vann_{pust}} &= \Delta x_{pust} \cdot \rho_{luft} \cdot \frac{863}{Pa_{CO_2}(1 - \frac{V_p}{V_t})} \Delta V_{CO_2} \\ &= 23,39 \text{ g vann/kg luft} \cdot 1,2 \text{ kg/m}^3 \cdot \frac{863}{36,2(1 - 0,1567)} \cdot 1,471 \approx \underline{1167,2 \text{ g vann}} \end{aligned}$$

$$\Delta \dot{m}_{vann_{pust}} = \frac{\Delta m_{vann_{pust}}}{t} = \frac{1167,2 \text{ g}}{3,3 \text{ timer}} \approx \underline{354 \text{ g vann/time}}$$

$$\Delta V_{CO_2} = 0,15 \cdot M \cdot p$$

Ved M=3 produseres opptil 200g/n·h · p[29] Den produserte fuktigheten blir da :

$$p = \frac{\Delta V_{CO_2}}{0.015 \cdot M \cdot t} \Rightarrow \frac{5.1 \cdot 10^{-5} \cdot 28842 \text{ m}^3}{0,015 \text{ m}^3/\text{h} \cdot M \cdot 3M \cdot 3.3 \text{ timer}} = 9,9 \text{ personer}$$

Dette gir en fukttilførsel på:

$$\Delta \dot{m} = 9,9 \text{ personer} \cdot 200 \text{ g/h} \cdot p = 1981 \text{ g/time} \approx \underline{2000 \text{ g/time}}$$

### 5.3.2 Beregning av temperatur i hallen dersom aerotemperere streiker

For å avgjøre hvor kritisk det er for driften av hallen dersom aerotemperene ikke er i drift, kan man se på hvilken temperatur som blir i hallen dersom disse står. Utregningen av effektbehovet i hallen er gjort med hensyn på infiltrasjonstap, transmisjonstap og ventilasjonstap. Disse er proporsjonal med temperaturdifferansen dersom varmegjenvinneren har lik temperaturvirkningsgrad og dersom man antar at avtrekkstemperaturen er lik romtemperaturen. Man antar at ventilasjonstapet dekkes av varmebatteriet i ventilasjonsaggregatet og at aerotemperene skal dekke transmisjonstapet og infiltrasjonstapet. Ved å se bort i fra varmelagring, internlast og andre dynamiske effekter kan man ved sette en total varmemotstand for hallen ved å se på effektbehovet og dimensjonerende utetemperatur. Formlene er hentet fra Prenøk. [9]

$$\Phi_{Hall} = \Phi_{Infiltrasjon} + \Phi_{Transmisjon} + \Phi_{Ventilasjon}$$

Antar at ventilasjonstapet dekkes av varmebatteriet så blir:

$$\Phi_{Aerotemper} = \Phi_{Infiltrasjon} + \Phi_{Transmisjon}$$

$$\Phi_{Infiltrasjon} = 2 \cdot V \cdot n_{50} \cdot \epsilon \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{rom} - T_{ute})$$

$$\Phi_{Transmisjon} = \sum_k A_k \cdot U_k \cdot (T_{rom} - T_{ute}) + \sum_I \psi_I \cdot l_I (T_{rom} - T_{ute})$$

$$\Phi_{Aerotemper} = \Phi_{Infiltrasjon} + \Phi_{Transmisjon}$$

Symbol	Beskrivelse
$\Phi$	Varmebehov
$A_k$	Areal
$U_k$	U-verdi
$\psi_I$	Kuldebroverdi
$l_I$	Lengde på kuldebro
$T$	Temperatur
$n_{50}$	Lekkasjetall 50 Pa undertrykk
$\rho$	Massetetthet
$c_p$	Spesifikk varmekapasitet
$V$	Romvolum
$\epsilon$	Korreksjonsfaktor

Tabell 22: Symbolbeskrivelse

$$\begin{aligned}
&= 2 \cdot V \cdot n_{50} \cdot \epsilon \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{rom} - T_{ute}) + \sum_k A_k \cdot U_k \cdot (T_{rom} - T_{ute}) + \sum_I \psi_I \cdot l_I (T_{rom} - T_{ute}) \\
&= (2 \cdot V \cdot n_{50} \cdot \epsilon \cdot \rho \cdot c_p + \sum_k A_k \cdot U_k + \sum_I \psi_I \cdot l_I) (T_{rom} - T_{ute}) = \delta \cdot (T_{rom} - T_{ute}) \\
\Rightarrow \delta &= \frac{\Phi_{Aerotemper}}{T_{rom} - T_{ute}}
\end{aligned}$$

Varmen som tilføres gjennom ventilasjonsluften kan uttrykkes som:

$$\Phi_{ventilasjon} = \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p (T_{tilluft} - T_{rom})$$

For å opprettholde temperaturen i rommet må varmetapet være likt varmetilførselen fra ventilasjonsanlegget.

$$\Phi_{ventilasjon} = \Phi_{Aerotemper} \Rightarrow \dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot (T_{tilluft} - T_{rom}) = \delta \cdot (T_{rom} - T_{ute})$$

$$\Rightarrow T_{rom} = \frac{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p \cdot T_{tilluft} + \delta \cdot T_{ute}}{\dot{V} \cdot \rho \cdot c_p + \delta}$$

$$\dot{V} = 19000 \text{ m}^3/\text{h} = 5,2778 \text{ m}^3/\text{s}, \rho = 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3, c_p = 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C}),$$

$$T_{tilluft} = 16^\circ\text{C}, T_{ute} = DUT = -20^\circ\text{C} [44], \delta = \frac{\Phi_{Aerotemper}}{T_{rom} - T_{ute}} = \frac{51 \text{ kW}}{(12 - (-20))^\circ\text{C}} = 1,584 \text{ kW}/^\circ\text{C}$$

$$T_{rom} = \frac{5,2778 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) \cdot 16^\circ\text{C} + 1,584 \text{ kW}/^\circ\text{C} \cdot (-20)^\circ\text{C}}{5,2778 \text{ m}^3/\text{s} \cdot 1,2 \text{ kg}/\text{m}^3 \cdot 1,005 \text{ kJ}/(\text{kg } ^\circ\text{C}) + 1,584 \text{ kW}/^\circ\text{C}} \approx \underline{8,83^\circ\text{C}}$$

### 5.3.3 Breregning av sikkerhet for ulike reguleringsprinsipper av varmebatteri

Man kan ved en forholdsvis enkel regneoperasjon se at dersom varmegjenvinneren stopper vil den temperaturregulerte kursen være mer driftssikker. For å vise dette kan man se på en situasjon hentet fra SD-anlegget 5. mars 2019. Formler er hentet fra "Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer". [54]

Symbol	Verdi	Beskrivelse
$T_{tur}$	56°C	Turtemperatur
$T_{retur}$	17 °C	Returtemperatur
$\dot{m}$	27%	Åpning reguleringsventil
$T_{ute}$	-10°C	Utetemperatur
$T_{tilluft}$	16°C	Tilluft
$T_{gjenvinner}$	13°C	Temperatur etter gjenvinner

Tabell 23: Senario fra SD-anlegget

For å finne tur og returtemperaturen for det temperaturregulerte systemet må man se på sammenhengen mellom effektavgivningen mellom gitt situasjon og dimensjonerende situasjon.

Forholdet mellom karakteristisk effekt og faktisk effekt:

$$\frac{\Phi}{\Phi_{KAT}} = \left( \frac{\Delta T_M}{\Delta T_{M,KAT}} \right)^n, \quad n = 1 \text{ for ventilasjonsbatteri}$$

Forholdet mellom dimensjonerende effekt og faktisk effekt:

$$\frac{\Phi}{\Phi_{DUT}} = \frac{\dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{tur} - T_{retur})}{\dot{m}_{DUT} \cdot c_p \cdot (T_{DUT,tur} - T_{DUT,retur})}$$

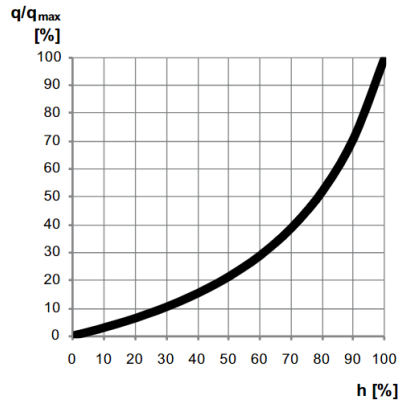
Symbol	Verdi	Beskrivelse
$T_f$	13,6°C	Temperatur før varmebatteri
$T_e$	26,2°C	Temperatur etter varmebatteri
$\dot{m}$	0,75 l/s	massestrøm vann
$\dot{V}$	19000 m <sup>3</sup> /h	Luftmengde
$\Phi$	80,4 kW	Dimensjonert effekt
$T_{tur}$	60°C	Turtemperatur
$T_{retur}$	34,2°C	Returtemperatur

Tabell 24: Karakteristiske verdier varmebatteri

Et ventilasjonsbatteri er verken medstrøms eller motstrøms, men det er forsøkt å lage de slik at strømningsmønster blir mest mulig motstrøms. Det er dermed tatt utgangspunkt i det i disse beregningene. Dette gir en karakteristisk midlere temperautur på:

$$T_{M,KAT} = \frac{T_{tur} - T_{etter} + T_{retur} - T_{fr}}{2} = \frac{60^\circ C - 26,2^\circ C + 34,2^\circ C - 13,6^\circ C}{2} = 27,3^\circ C$$

For å finne massestrømmen gjennom ventilen må man se på karakteristikken til ventilen. Vi ser ut fra Figur 24 at 27% åpen ventil utgjør omtrent 10% av volumstrømmen gjennom ventilen.



Figur 24: Kurve hentet fra produktblad til reguleringsventil [28]

Det gir da en avgitt effekt på varmebatteriet på:

$$\Phi = \dot{m} \cdot c_p \cdot (T_{tur} - T_{retur}) = 0,75 \text{ l/s} \cdot 10\% \cdot \frac{994 \text{ kg/m}^3}{1000 \text{ l/m}^3} \cdot 4,2 \text{ kJ/kg}^\circ\text{C} \cdot (55^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C}) \approx \underline{11,9 \text{ kW}}$$

Vi kan da bruke forholdet mellom dimensjonerende effekt og faktisk effekt til å finne temperaturendringen:

$$T_{tur} - T_{retur} = \frac{\Phi \cdot \dot{m}_{DUT} \cdot c_p \cdot (T_{DUT,tur} - T_{DUT,retur})}{\Phi_{DUT} \cdot \dot{m} \cdot c_p}$$

Ettersom et temperaturregulert system har tilnærmet konstant massestrøm og varmekapasiteten, blir temperaturdifferansen da:

$$T_{tur} - T_{retur} = \frac{\Phi \cdot (T_{DUT,tur} - T_{DUT,retur})}{\Phi_{DUT}} = \frac{11,9 \text{ kW} \cdot (60^\circ\text{C} - 34,2^\circ\text{C})}{80,4} \approx 3,82^\circ\text{C}$$

Finner retur temperaturen for temperaturregulert system:

$$T_{retur} + T_{tur} = 2 \cdot \frac{\Phi}{\Phi_{KAT}} \cdot \Delta T_{M,KAT} + (T_{tilluft} + T_{gjenvinner}) = 2 \cdot \frac{11,9 \text{ kW}}{80,4 \text{ kW}} \cdot 27,3^\circ\text{C} + (13^\circ\text{C} + 16^\circ\text{C}) \approx 37,1^\circ\text{C}$$

Har nå to likninger med to ukjente og finner tur og retur temperaturen som blir henholdsvis:

$$T_{retur} \approx 16,6^\circ\text{C}, \quad T_{tur} \approx 20,5^\circ\text{C}$$

Temperaturvirkningsgrad varmebatteri:

$$\eta_v = \frac{T_{v,t} - T_{v,r}}{T_{v,t} - T_{l,i}}$$

$$\eta_{v,mengde} = \frac{55^\circ\text{C} - 17^\circ\text{C}}{55^\circ\text{C} - 13^\circ\text{C}} = 90,5\%$$

Virkningsgraden er konstant for samme vannmengde, men bruker virkningsgraden for den gitte situasjonen da det kan være avvik.

$$\eta_{v,temperatur} = \frac{20,5^{\circ}\text{C} - 16,64^{\circ}\text{C}}{20,5^{\circ}\text{C} - 13^{\circ}\text{C}} = 51,5\%$$

Vi finner returtemperaturen dersom varmegjenvinneren stopper. Ved omgjøring av formelen for temperaturvirkningsgrad:

$$T_{retur} = T_{tur} - \eta_v(T_{tur} - T_{ute}), T_{ute} = T_{gjenvinner}$$

$$T_{retur,mengde} = 55 - 90,5\%(55^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})) \approx \underline{-3,8^{\circ}\text{C}}$$

$$T_{retur,temperatur} = 20,5 - 51,5\%(20,5^{\circ}\text{C} - (-10^{\circ}\text{C})) \approx \underline{4,8^{\circ}\text{C}}$$

## 5.4 Risikoanalyse

### 5.4.1 FMECA

Resultatet fra FMECAen ble at alle komponenter utenom systemet som har med aerotemperne er kritisk. Dette vil si at hvis en komponent svikter vil ventilasjonsanlegget enten stoppe eller så vil det ikke klare å opprettholde kravet som blir stilt til ventilasjonen for å få et godt nok inneklime.

Selv om aerotemperne svikter vil ventilasjonssystemet klare å levere nok varme til de fleste dagene i året. Dette gjør at disse ikke regnes som kritiske for drift av hallen.

Hvis varmegjenvinneren stopper, vil ventilasjonsaggregatet fortsatt klare å produsere litt varme, dermed er denne kategorisert som kritisk på vinterstid. Dette kan begrunnes med at det er mest bruk for varmegjenvinneren på vinterstid siden på sommerstid blir fotballbaner ute mest brukt, og dermed er ikke varmedelen av ventilasjonssystemet like kritisk siden oppvarmingsbehovet er mindre, og det er få eller ingen brukere av hallen. Dermed går også ventilene som styrer varmtvannet i samme kategori som varmegjenvinneren.

Delene som styrer ventilasjonen er kritiske hele året. Grunnen til dette er at uten ventilasjonen vil store deler av mulighetene til oppvarming forsvinne, og fordi det er viktig å ha ventilasjon igang hele tiden for å unngå groing av forskjellige bakteriekulturer og sopper. Inneklimateet vil også bli dårlig hvis ventilasjonen stopper, og da vil man tilslutt ikke kunne bruke hallen fordi det er for høye konsentrasjoner av CO<sub>2</sub> og andre gasser inne i rommet.

#### 5.4.2 RCM

Resultatet fra RCM-analysen sier at det burde bli tilstandsovervåkning på enkelte komponenter, men ikke alle er nødvendig. Dette kommer etter at gruppen har tatt for seg kostnader og kompleksitet på å få tatt riktige målinger for å drive tilstandsbasert vedlikehold.

De komponentene som gruppen mener det er behov for ekstra målinger er varmegjennvinneren og viftemotorene. Det foreslås også å installere posisjongivere på ventiler for å sjekke om de går som de skal. Fordi andre komponentene mener gruppen er tilstrekkelig med visuell kontroll slik det gjøres i dag, og som i tillegg har en årlig kontroll av leverandøren.

<b>Komponent</b>	<b>Kritikalitet</b>
Reguleringsventiler	Kritisk
Sikkerhetsventiler	Kritisk
Luftutskiller	Lite kritisk
Hovedsirkulasjon	Kritisk
Aerotemper	Lite kritisk
Vifte i aggregat	Kritisk
Omluftsspjeld	Moderat
Varmegjennvinner	Kritisk

Tabell 25: Oversikt over kritikalitet

## 6 Diskusjon

I dette kapitlet blir det gitt en oversikt over hvilke valg som er blitt tatt, og hvorfor de er tatt og hva vi fikk ut av de forskjellige resultatmålene som ble satt opp i forprosjektet.

### 6.1 Inneklima

Siden ingen av de ønskede målingene ble mulig å gjennomføre, har ikke bachelorgruppen fått noen indikasjon på om hypotesene stemmer. Slik ble det nødvendig å gjøre en del antagelser. For å undersøke om hypotesene stemmer burde man tatt kontinuerlige målinger over et lengre tidsperspektiv.

For å kunne fått et godt innblikk i hva som burde blitt gjort måtte man ha hatt en graf som viser hvordan de forskjellige nivåene av de ønskede målingene utvikler seg iløpet av uken.

#### Svevestøv

Støvnivået i hallen var målt til å være over den anbefalte årsmiddel grenseverdien satt av helsedirektoratet. Målingene som ble gjort etter aktivitet i hallen ble ikke foretatt umiddelbart etter endt aktivitet, og det kan derfor være større mengder støv under aktivitet. Det er en usikkerhet knyttet til massetettheten til støvet da denne er satt til et snitt i fra målinger gjort i et annet idrettsanlegg. Økningen av svevestøv i hallen øker når det er aktivitet i hallen, noe som kan skyldes at støvet virvles opp av ulike bevegelsen i hallen. Målingene før aktivitet ble gjort etter at hallen hadde vært stengt siden kvelden før uten drift av ventilasjonsanlegget. Dette kan gi støvet mulighet til å legge seg, før det virvles opp igjen når hallen er i bruk.

Det synes klart at det må gjøres noe for å få ned støvnivået inne i fotballhallen. I et forsøk på å redusere støvmengden i hallen mener bachelorgruppen at ventilasjonsaggregatet burde kjøres hele tiden slik at det tar opp mer av støvet. Ulempen med å gjøre dette er at filterene blir tettes raskere, men det utgjør ikke veldig stor kostnad dersom disse skiftes av frivillig fra idrettslagene.

Et annet tiltak for å redusere støvmengden er å ha en innkapslet prepareringsmaskin som ikke virvler opp så like mye sand i luften under prepareringsarbeidet. Om dette har innvirkning på svevestøvet i hallen er det vanskelig å si noe om, men etter samtale med Bjørn Aas velger vi å sette frem som en hypotese som kan undersøkes videre.

Siden det ligger en god del støv på alle overflater, vil bachelorgruppen foreslå at det blir gjort mer renhold for å sikre at overflatestøv ikke kommer inn i luften, eller smitter over til brukere av hallen på annet vis.

Støvet i hallen kommer mest sannsynlig fra kunstgressmatten. Derfor mener bachelorgruppen at det kan være lurt å vurdere bruk av eCork neste gang kunstgressmatten skal byttes



ut. Det er gjort få studier på eCork innendørs, men det kommer mest sannsynlig ny dokumentasjon etter hvert som eCork mer brukt. Så langt er erfaringene at eCork støver lite og har lang holdbarhet. Hvis dette stemmer burde det være et godt alternativ når det viser seg at dagens kunstgressmatte skaper støvproblemer[50]. Dette krever selvfølgelig videre studier siden bachelorgruppen ikke har fått undersøkt dette.

Bakgrunnen for valg av eCork fremfor de andre granulattypene er at eCork ikke har noen tungmetaller eller andre helseskadelige stoffer i seg, og i forhold til vanlig kork påvirkes ikke eCork av tørke, og passer derfor bedre innendørs. I tillegg til helseeffektene skal eCork gi en god brukeropplevelse og være miljøvennlig.[50]

### **Luftkvalitet**

Da bachelorgruppen var på befaring i Flatåshallen merket man raskt at det var dårlig luftkvalitet inne i fotballhallen. Dette skyldes mest sannsynlig at ventilasjonsaggregatet ikke hadde startet opp etter angitt tidspunkt. Gruppen reagerte på følelsen av høy luftfuktighet.

Forskriftene hallen er bygd etter er TEK 17. Idrettsbygg er ikke nevnt spesifikt i denne forskriften, men man kan anta det faller i samme kategori som publikum eller arbeidsbygninger. I TEK17 ser man at rom eller bruksenheter skal ventilasjonen minimum være  $0,7m^3/hm^2$  når det ikke er i bruk, og minimum  $26m^3/hp$  når det er i bruk. Ettersom hallen ofte brukes av skoler på dagtid burde det ventilasjonsaggregatet være i drift. Om anlegget skal gå hele døgnet eller bare i driftstiden står det ikke spesifikt forskriften. Men man kan ut i fra TEK17 si at aggregatet bør være i drift så lenge det er folk i hallen.

Våre beregninger tyder på at fukt kan tilføres hallen, mest sannsynlig gjennom grunnen. Fuktigheten i hallen var høy før aktiviteten sett i forhold til utefuktigheten. Ved å se på værstasjonen i Granåsen som er et par kilometer unna er temperaturen  $-1.3\text{ }^{\circ}\text{C}$  ved start av målingene med en relative luftfuktighet på 97%. Dette tilsvarer en relativ luftfuktighet kun 37%, mens vi målte 59%. Dette kunne man å funnet mer ut av dersom man hadde målt fuktigheten over tid. Det er i tillegg uvisst hvor mye fuktighet som overføres fra avtrekket til tilluften via varmegjenvinneren, da fuktoverføringen ikke er oppgitt fra produsent.

Ettersom kunstgresset er lagt på en oppfylt byggegrøp som er avrettet med grus uten damp-sperre eller isolasjon, vil det mest sannsynlig diffundere fuktighet fra grunnen til hallen. Fuktigheten i hallen vil stige til damptrykket i hallen er likt damtrykket til underlaget, dersom det ikke er luftutskifte i hallen. Dette er vanskelig å vite når hva dette er da det er avhengig av mange opplysninger som gruppen ikke har tilgang til.

Siden det er gjort studier på at luftfuktighet kan være en bedre indikasjon på luftkvalitet i idrettsbygg enn  $\text{CO}_2$ [23], vil bachelorgruppen at det skal være kontinuerlig måling av luftfuktighet i tillegg til det som allerede er der. Siden det ikke ble gjort noen målinger bør det

gjøres en studie på om sammenhengen er lik i fotballhaller som på spinningrom der studien er hentet fra.

CO<sub>2</sub> nivået i hallen var bra sist det ble gjort målinger der, så dermed trenger man kanskje ikke å gjøre noe med dette. Men siden det var merkbar dårlig luft på befaringen tyder dette også på at det er lurt å ha målinger på luftfuktighet.

### **Luftfuktighet**

Den relative luftfuktigheten i bygget burde optimalt holdes under 45%, for å forhindre korrosjon av stålet i hallen. Stål korroderer ikke når den relative luftfuktigheten er under 45% og korroderer forholdsvis mye hvis den relative luftfuktigheten er over 55% [33]. Selv som det meste av stålet i hallen er malt eller behandlet, kan skader på overflatebehandlingen føre til at korrosjonprosessen starter. Dette vil føre til økt vedlikeholdsbehov og redusert holdbarehet på utstyr.

Målingene som ble gjort i hallen tyder det på det er fukttilførsel til hallen utenom det som produseres fra personene som oppholder seg i hallen. Målingen ble gjennomført ved hodehøyde. Dette behøver ikke å tilsvare tilstanden i alle høyder eller posisjoner i hallen, noe som det er tatt utgangspunkt i under utregningene. Luftkvaliteten i hallen vil mest sannsynlig ikke være homogen og det er vanskelig å avgjøre forskjellen i luftkvalitet i ulike høyder. Det er derfor også knyttet stor usikkerhet til utregningene som er gjort. Ut fra beregningen er det tilført cirka 3500 g/h med vann, men hvis man tar utgangspunkt i det maksimale fukt tilførselen fra personer ved MET 3 vil det tilføres cirka 2000 g/h med vann. Ettersom dette er det maksimale er nok det ved en høyere temperatur enn det som er i hallen. Hvis man bare ser på fuktigheten gjennom respirasjon er det cirka 1170 g/h noe som er vesentlig lavere. Men man kan anta et det tilføres mellom 1500 g/h og 2330 g/h vann utenom personbelastningen dersom luften i hallen er homogen.

Dermed burde ventilasjonsanlegget stå på hele tiden. Hvor mye aggregatet burde gå avhenger av hvor mye fuktighet som kommer ut fra bakken. Siden det ikke er blitt gjort noen målinger så har bachelorgruppen ikke noen anbefalinger her. Hvis det blir gjort noen målinger på dette vil man kunne regne ut hvor mye anlegget burde gå for å nøytralisere fukttilførselen fra bakken.

### **Kunstgress**

Valg av kunstgressmatte i en fotballhall kan være viktig for inneklimaet siden enkelte granulattyper emitterer slik at luften blir dårligere. Granulatet kan i tillegg inneholde farlige stoffer som vil komme ut i luften. Det er viktig å bevare helsen til brukerne av hallen, så langt er det ikke noen rapport som viser helseskade ved bruk av kunstgress[31]

Det finnes granulat som ikke sliter med disse problemene. eCork og granulat av kork og kokos har ikke farlige stoffer i seg, og er i tillegg miljøvennlige. Kork og kokosgranulat har et felles

problem ved at det støver ved langvarig tørke, noe som mest sannsynlig vil bli et problem i fotballhaller. eCork derimot har ingen problemer med tørke, og skal heller ikke gi fra seg støv. Dermed kan eCork være et aktuelt alternativ til å bruke innendørs.

Det andre alternativet som regnes som aktuelt av bachelorgruppen er kunstgress uten granulat. Dette er det som er valgt i Flatåshallen i dag. Siden dette bare er et fyllmaterieell på lik linje med ulike typer sand, vil ikke emittering være noe problem her heller. Men der var derimot så var en del støv inne i hallen. Om støvet kommer fra kunstgresset må det gjøres målinger på dette, og siden det ikke ble mulighet til å gjennomføre de planlagte målingene vet vi ikke svaret.

Med dette som bakgrunn, bør man utføre flere forsøk på om eCork og granulatløst kunstgress egener seg i fotballhaller. Hvilke av alternativene som er best egnet vil det dermed ikke bli dratt noen konklusjon på her, men begge ses på som gode alternativer.

## **6.2 Risikoanalyse og vedlikeholdstiltak**

### **Vifter og varmegjennvinner**

Med resultatet fra FMECAen og RCM-analysen kom Gruppen frem til at det burde være tilstandsovervåkning på varmegjennvinneren og viftemotorene. Dette mener bachelorgruppen for når varmegjennvinneren stopper vil det bli høyere energikostnader til oppvarming av hallen. Når varmegjennvinneren stopper kan dette i tillegg føre til at varmebatteriet fryser. For å ha best beskyttelse mot frost bør sirkulasjonen gjennom batteriet være størst mulig. Dette kan sikres ved å bruke et temperaturregulert system som har egensirkulasjon mot varmebatteriet, slik som på løsningen til venstre på Figur 5. Dette gir både en lavere treghet og større gjennomstrømming i situasjoner med lavt varmebehov.

Gruppen mener også at det burde være en sensor for å sjekke om drivreimen er på, og om den slurer. Dette kan være en enkel magnetsensor som merker hvor ofte viftereimen tar en omdreining. Dette kan gjøres ved å telle antall ganger magnetsensoren blir aktivert i minuttet. Grunnen til dette er den samme som i avsnittet over.

Det burde også bli tatt en visuell inspeksjon av varmegjennvinneren en gang i måneden. Årsaken er at det er mye støv i hallen, og dette støvet kan legge seg på varmegjennvinneren slik at den får en lavere virkningsgrad.

Hvis en av viftene stopper vil det bli et høyt over- eller undertrykk i hallen alt etter hvilken vifte som stopper, og hvis en motor begynner å gå dårlig kan det bli ubalansert ventilasjon. Luftkvaliteten kan også bli dårligere hvis ikke viften klarer å sirkulere nok luft. Dermed mener gruppen at det bør være en vibrasjonssensor for å måle kontinuerlig tilstanden på viftene.

## **Ventiler**

Det burde bli installert posisjonssensorer på ventilene i systemet. Signaler fra disse bør sjekkes digitalt opp mot utgangssignalet som blir sendt til ventilene, for å kontrollere at ventilene går slik som de skal. Dette er viktig for å opprettholde systemets funksjon og virkningsgrad. Hvis ventilene går tregt kan dette føre til ekstra energiforbruk, eller at systemet ikke klarer å levere det som er forventet planlagt. I verste fall kan funksjonen få totalt bortfall og kanskje sørge for at andre enheter får bortfall.

Lekkasjevakt som ble foreslått som en løsning i FMECAen bør ikke være nødvendig hvis den visuelle inspeksjonen ikke slurves med. Lekkasje skal bli oppdaget under disse rundene, og dette gjør at bachelorgruppen mener at lekkasjevaktene bare blir ekstrakostnader for Flatåshallen.

På sikkerhetsventilene kan det være lurt å ta en trykktest for å unngå at de aktiveres ved feil trykk. Over tid vil en sikkerhetsventil gi etter på feil trykk siden det er komponenter inni den som vil få endret egenskapene sine over tid med belastning, noe som de har konstant i en sikkerhetsventil. Det kan være lurt å gjøre dette hvert 2,5 år jf. forskriften om håndtering av brannfarlig, reaksjonsfarlig og trykksatt stoff[20], selv om man ikke er pålagt dette etter noen forskrifter på dette anlegget.

I tillegg til disse tiltakene vil det anbefales å kjøre alle ventilene en i uken når sirkulasjonspumpen starter, noe som er anbefalt fra leverandøren på sirkulasjonspumpen. Dette for å unngå problemer med at ventilene står seg fast.

## **Luftutskiller**

På luftutskilleren mener bachelorgruppen at det ikke er nødvendig med noen forebyggende tiltak, det merkesfort hvis det er noe som ikke stemmer, og dette er raskt å fikse.

## **Hovedsirkulasjon**

På hovedsirkulasjonspumpen vil det være lurt å montere en vibrasjonssensor på motoren for å se tilstanden til motoren slik at man kan gjøre tiltak når det lønner seg mest å gjøre vedlikehold. Det er nok med en enkel vibrasjonssensor som registrerer hvor kraftige vibrasjoner er. Det er ikke nødvendig med en sensor som kan skille mellom ulike komponenter. Dette skal være tilstrekkelig tiltak for å holde hovedsirkulasjonen operativ hele tiden.

## **Aerotempere**

Gruppen mener det er unødvendig med ekstra overvåking på aerotemperene. Disse brukes ikke så veldig ofte, og har dermed ikke så stor brukslitasje. Det tiltaket som menes å være nødvendig er å testkjøre dem en gang i måneden slik at de ikke blir ødelagt av å stå i ro. Dette kan dokumenteres fra våre egne erfaringer fra industrien, og ved anbefaling av vår veileder. Problemet er jo at utstyr som ikke brukes ofte får problemer med oppstart etter å ha stått i

ro over lengre tid.

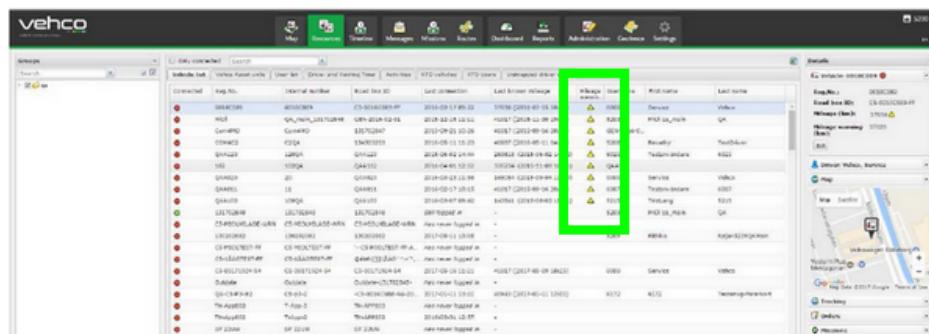
## Omluftsspjeld

På omluftspjeldet trenger man ikke noe overvåkning. Fordi man merker fort når det begynner å svikte på luftkvalitet og balansering av luften. Dermed vil kostnadene for å få disse overvåket ikke kunne forsvares.

## Vedlikeholdsstyringsystem

Når det gjelder vedlikeholdsstyringsystem mener bachelorgruppen at det ikke er grunnlag til å implementere dette. Dette er på bakgrunn av at bacheloren bare er på en liten del av anlegget med altfor få komponenter. Disse komponentene skal være oversiktlig nok å vedlikeholdes uten et slikt system.

Med denne beslutningen i bakgrunn bør det allikevel vurderes om Flatåshallen burde benytte seg av et vedlikeholdsstyringsystem når man ser på hele anlegget. Denne beslutningen vil ikke bachelorgruppen ta siden vårt kjennskap bare ligger til begrensede deler av anlegget.



Figur 25: Eksempel på vedlikeholdsstyringsystem[19]

## Sensorer

For at sensorene skal fungere som de skal må de av og til kalibreres. Mye tyder på at CO<sub>2</sub>-sensorene er feilkalibrert. Dette fordi de to sensorene som er i hallen viser forskjellig med en ulikhet som er ganske konstant på 200ppm. En av dem er i tillegg som regel under det som er normalt for CO<sub>2</sub> i atmosfæren.

Siden det er en så klar indikasjon på at sensorene er feilkalibrert vil det anbefales å kalibrere alle sensorer ganske fort for derved å få en bedre styring av ventilasjonsaggregatet. Dette vil mest sannsynlig senke energikostnadene og forbedre innneklimaet.

For CO<sub>2</sub>- og temperatursensoren vil det anbefales å kalibrere disse hvert år siden de er utsatt for slag. Av denne grunn er det større sannsynlighet for at de måler feil, mer enn andre sensorer. Bakgrunnen for valget av tidsperspektiv er egne erfaringer fra krav om kalibrering fra næringsmiddelindustrien og kritikaliteten for nøyaktighet.

De andre senorene i systemet anbefales å kalibrere hvert andre år siden de ikke er like utsatt for slag som CO<sub>2</sub>- og temperatursensoren. Dermed vil disse holde seg nøyaktig over lengre tid. Bakgrunnen for valget av tidsperspektiv er egne erfaringer fra krav om kalibrering fra næringsmiddelindustrien og kritikaliteten for nøyaktighet.

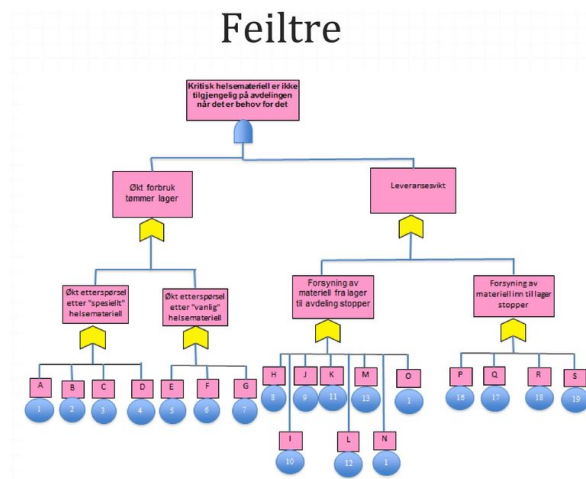
Komponent	Vedlikeholdstiltak
Reguleringsventiler	Montere på posisjonssensorer
Sikkerhetsventiler	Trykktesting av ventilene hvert 2,5 år
Luftutskiller	Ingen ekstra tiltak
Hovedsirkulasjon	Vibrasjonssensor på pumpene for å kontrollere tilstanden
Aerotemper	Testkjøring en gang i måneden for å hindre at de står seg i hjel
Vifte i aggregat	Montere vibrasjonssensor på viftene for å kontrollere tilstanden
Omluftsspjeld	Ingen ekstra tiltak
Varmegjenvinner	Montere på sensor for å sjekke om drivreimen slurer eller har hoppet av. Vibrasjonssensor på motor for å kontrollere tilstanden, og en visuell inspeksjon av varmegjenvinneren en gang i måneden
Temp- og CO <sub>2</sub> -sensorer	Kalibrering hvert år
Andre sensorer	Kalibrering hvert andre år

Tabell 26: Forslag til ekstra overvåkning og vedlikehold

### Feiltre

Feiltre er en mye brukt metode for å få en systematisk oversikt i hvorfor ting feiler. Denne tar for seg hovedårsaken til feilen som oppstår, og ikke bare at en komponent har sviktet. Bachelorgruppen valgte å ikke bruke dette fordi systemet oppgaven omhandler er lite, og har få feil som kan oppstå ved at andre komponenter feiler. Dermed virket dette unødvendig å inkludere i oppgaven.

Utenom disse nye vedlikeholdstiltakene som er blitt vurdert, er det anbefalt å fortsette med den ukentlige visuelle kontrollen som allerede gjøres i dag. Dette er for å oppdage feil der man har vurdert at er unødvendig med sensorer for å vurdere tilstanden.



Figur 26: Eksempel på Feiltreanalyse[49]

### 6.3 Tekniske løsninger i fotballhallen

I denne delen av oppgaven vil vi se nærmere på de tekniske løsningene i hallen.

#### 6.3.1 Varmegjenvinner

Varmegjenvinneren i hallen er en roterende varmegjenvinner. Denne overfører både fuktighet, lukt og varme. Dette kan være problem i fotballhaller, da det ofte er produksjon av forurensende stoffer. Ettersom mengden av støv i hallen var forholdsvis høy, og avtrekksfilteret ikke hadde den høyeste effektiviteten, vil endel støv slippe gjennom filteret og inn i aggregatet. Dette vil føre til at støv legger seg på varmegjenvinneren, noe som kan føre til at denne blir tett eller at forurensinger overføres til tilluften, noe som ikke er ønskelig. Derfor kan en kryssveksler eller lignende type, være en bedre løsning.

Roterende varmegjenvinnere har i tillegg flere bevegelige deler som gjør at kravet til vedlikehold og oppfølging er større. Dette kan være en utfordring for steder der vedlikeholdet er gjort av ufaglærte. Dette kan også redusere driftsikkerheten til anlegget. Flere bevegelige deler kan øke sannsynligheten for at noe går galt.

#### 6.3.2 Varmebatteri

Det er valgt et mengderegulert system for varmembatteriet i hallen. Dette er en billig løsning da man her behøver færre komponenter og slipper ekstra energi til egen sirkulasjonspumpe for varmembatteriet. Det finnes flere varianter av hvert reguleringsprinsipp, som har sine fordeler og ulemper.

Ettersom avgitt effekt reguleres etter tilluftstemperaturen, kan vannmengden gjennom varmembatteriet bli lav ved mengderegulering. Dette kan føre til at det lettere vil fryse dersom reguleringen er treg. Det er vanskelig å si noe om denne tregheten her, men dersom endringen skjer

brått ved at for eksempel varmegjenvinneren stopper, kan det ha betydning. Ut i fra regneeksempelet ser man at i den gitte driftsituasjonen vil det mengderegulerte systemet fryse dersom det ikke reagerer raskt nok, mens det temperaturregulerte systemet mest sannsynlig vil holde returtemperaturen over frysepunktet. Det tyder da på at et temperaturregulert system kan være mer driftsikkert enn et mengderegulert system for bruk på varmbatteri.

### **6.3.3 Oppvarming**

Oppvarmingen i hallen gjøres via to aerotempere. Men dersom disse streiker, vil ventilasjonsanlegget kunne opprettholde en forholdsvis grei temperatur så lenge varmbatteriet er funksjonelt. En av aerotemperene er plassert rett under avtrekket, noe som kan føre til at noe av varmen går rett i avtrekket uten å varme opp hallen. Men dette fikk ikke gruppen undersøkt.



## 7 Konklusjon

### Resultatmål 1: Ståstedsanalyse

Gjennom ståstedsanalysen i denne bacheloroppgaven ble det oppdaget at det var en god del støv i fotballhallen, og den relative luftfuktigheten virket høy. Fra data i sentraldrifanlegget ble det observert at ventilasjonsanlegget er avstengt på dagtid, og store deler av sommeren. I perioder uten drift, er ventilasjonsaggregatet programmert til å starte en gang i uken for å tørke luftkanaler for å hindre vekst av sopp og andre organismer. Etter samtale med driftsansvarlig kom det frem at det ikke er gjort noen for vedlikehold foruten et filterbytte da kunstgressmatten ble skiftet. Karbondioksidsensorene kan være feilkalibrerte, da de viser store forskjeller i måleverdi med et ganske konstant differansenivå.

### Resultatmål 3: Målinger av tilstand i hallen

Målingene som ble gjort i hallen antyder på at det kan være tilførsel av fuktighet i den perioden målingene ble gjennomført. Denne fuktigheten antas å komme fra grunnen fotballhallen står på. Støvmålingene viser at det tidvis er høye konsentrasjoner av svevestøv i hallen etter aktivitet, noe som er over den anbefalte årsmiddelkonsentrasjonen. Registrert karbondioksidnivået i hallen var godt under grenseverdien på 1000 ppm.

### Resultatmål 2: Kritikalitetsanalyse:

Komponentene i systemet har ulik kritikalitet, men varmegjenvinneren, viften i aggregatet og hovedsirkulasjonspumpene er ut ifra FMECAen mest kritisk. De andre komponentene har ulik kritikalitet, men noen av de resterende komponentene regnes også som kritiske. De ulike kritikalitetene er knyttet til hvordan systemet fungerer uten at hver enkelt komponent er intakt.

### Resultatmål 4: Driftsforslag

Vi vil anbefale at anlegget er i drift så lenge personer oppholder seg i hallen noe som er i henhold til TEK 17 sine krav. Det vil sikre et best mulig inneklime for alle brukere av hallen og samtidig redusere fuktigheten i hallen.

Vi vil anbefale noen systemløsninger som vil bedre kvaliteten i hallen. Temperaturregulering vil være en fordelaktig løsning for å redusere faren for frost i varmebatteriet. For å redusere overføring av luftbårne partikler og fuktighet vil en kryssvarmeveksler være en god løsning siden den er mindre utsatt for tetninger og vil redusere smitte mellom tilluft og avtrekk. Denne løsningen vil være en fordel i idrettsbygg siden det ofte er mange partikler og forurensinger i luften. Slike gjenvinnere er også mer driftssikre fordi de ikke inneholder bevegelige deler noe som øker driftssikkerheten til varmebatteriet. For å øke driftssikkerheten ytterligere kan

man montere posisjonsgivere på alle ventiler, og vibrasjonssensorer på motorene i systemet. Denne installasjonen vil gjøre at man kan kontrollere tilstanden på komponentene. Når man vet tilstanden kan man drive vedlikehold på det mest økonomiske tidspunktet. I tillegg vil nedetiden sannsynligvis bli mindre.

Drift av den visuelle kontrollen bør forsettes på lik linje som dagens drift. Det vil gjøre at man kan oppdage andre feil uten å sette opp et dyrt system for deteksjon.

Underlaget i bunnen av hallen vil stå mellom eCork og granulatløst kunstgress. Siden det ikke finnes så mange studier om dette på innendørsbaner, vil det være mest naturlig å vurdere dette når ny kunstgressmatte skal legges. Per dags dato er begge de to underlagene av nyere dato, selv om granulatløst underlag har eksistert en stund. Granulatløst kunstgress har blitt aktuelt i det siste siden strukturen har blitt forbedret og banedekket har kommet på samme nivå som andre banedekker, da sett fra et spillerperspektiv.

## 8 Videre arbeid

Ved videre arbeid med å vurdere drift- og vedlikehold av fotballhaller, vil det være aktuelt å gjennomføre det som ikke ble gjort, men planlagt i denne oppgaven. Dette vil gi et bedre helhetlig bilde av inneklima og i en fotballhall. I tillegg vil man kunne si noe om helseeffekten inneklimaet i en fotballhall har på brukerne.

Målingene vil gi svar på om granulatløst kunstgress egner seg innendørs med tanke på støv, og fuktighetsmålingene vil gi svar på om bygging av fotballhaller rett på bakken vil by på problemer.

Det bør også gjøres studier på om prepareringsmaskinen har en påvirkning på støvmengden. Det bør undersøkes om enkelte prepareringsmaskiner er bedre for inneklimaet enn andre.

Studier av granulatløst kunstgress og eCork vil være aktuelt for å finne ut hva det beste valg av kunstgress innendørs er.

## Referanser

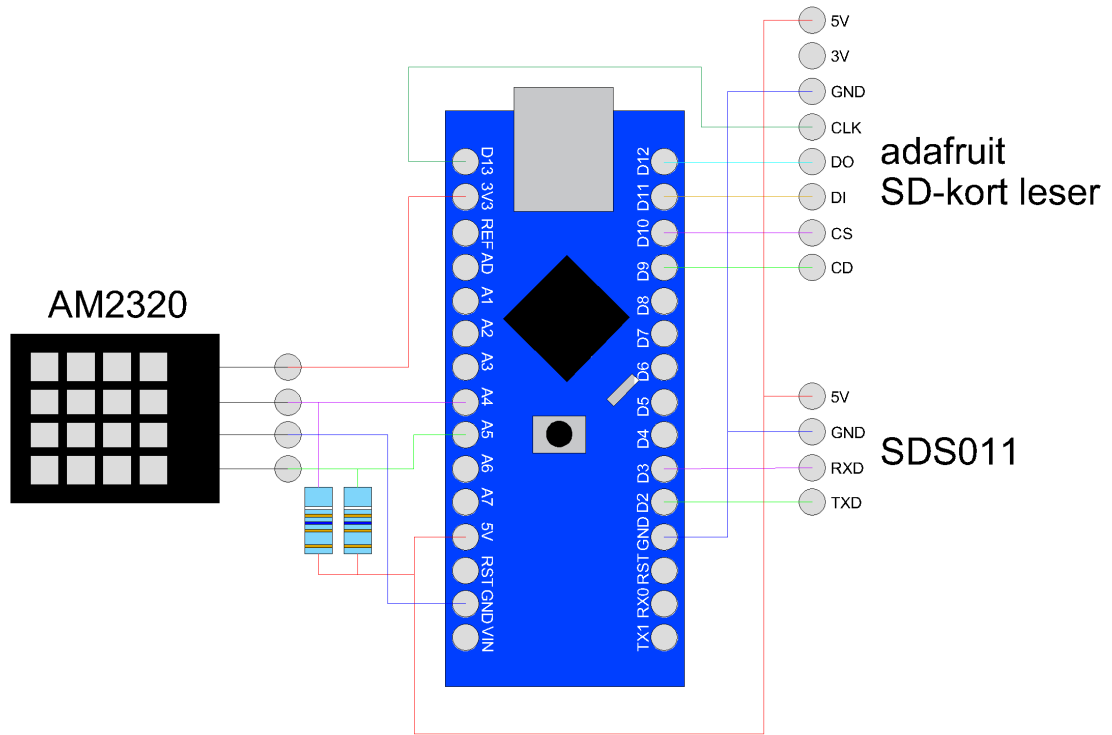
- [1] lady ada. «Adafruit AM2320 Sensor». I: (2018). (Sjekk 20.03.2020).
- [2] adafruit. *Common sensor library*. URL: [https://github.com/adafruit/Adafruit\\_Sensor](https://github.com/adafruit/Adafruit_Sensor).
- [3] L. Andersen. *POTENSIALET FOR OG OMFANGET AV UTSLIPP AV MILJØGIFTER FRA BRUKSFASEN VED GJENVINNINGSFORMER SOM BRUKER GUMMI-GRANULAT FRA KASSERTE BILDEKK*. 2012. URL: <https://www.miljodirektoratet.no/globalassets/publikasjoner/klif2/publikasjoner/2968/ta2968.pdf>.
- [4] Aosong. «Digital Temperature and Humidity Sensor AM2320 Product Manual». I: (). (Sjekk 20.03.2020).
- [5] Arduino. *ARDUINO NANO*. 2020. URL: <https://store.arduino.cc/arduino-nano> (sjekk 16.04.2020).
- [6] Arduino. *Arduino Software (IDE)*. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/en/guide/environment> (sjekk 16.04.2020).
- [7] Arduino. *Serial*. 2020. URL: <https://www.arduino.cc/reference/en/language/functions/communication/serial/> (sjekk 16.04.2020).
- [8] C. BASICS. *BASICS OF UART COMMUNICATION*. 2016. URL: <https://www.circuitbasics.com/basics-uart-communication/> (sjekk 16.04.2020).
- [9] I. Bryn. *Prenøk, Dimensjonerende effektbehov i bygg*. URL: [http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/2\\_Energi\\_og\\_effektbehov\\_Dimensjonering/2\\_4\\_Beregning\\_av\\_energi\\_og\\_effektbehov\\_etter\\_teknisk\\_forskrift.aspx](http://kompetansebiblioteket.no/Prenok/2_Energi_og_effektbehov_Dimensjonering/2_4_Beregning_av_energi_og_effektbehov_etter_teknisk_forskrift.aspx).
- [10] P. I. Bye. *Vedlikehold og driftsikkerhet*. P.I.Bye, 2009, s. 47–53.
- [11] P. I. Bye. *Vedlikehold og driftsikkerhet*. P.I.Bye, 2009, s. 100–101.
- [12] S. Byggforsk. «421.503 Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger». I: (2017). URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder\\_i\\_ventilasjonsanlegg\\_krav\\_og\\_anbefalinger](https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder_i_ventilasjonsanlegg_krav_og_anbefalinger) (sjekk 20.03.2020).
- [13] S. Byggforsk. «552.323 Behovsstyrt ventilasjon (DCV)». I: (2016). URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt\\_ventilasjon\\_dcv\\_prinsipper](https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt_ventilasjon_dcv_prinsipper).
- [14] S. Byggforsk. «552.340 Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg». I: (2002). URL: [https://www.byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere\\_i\\_ventilasjonsanlegg](https://www.byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere_i_ventilasjonsanlegg) (sjekk 20.03.2020).
- [15] D. for byggkvalitet. *Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning*. 2017. URL: <https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/> (sjekk 20.02.2020).
- [16] V. J. Caiozzo mfl. «Effect of high-intensity exercise on the VE-VCO<sub>2</sub> relationship». I: *Journal of Applied Physiology* 62.4 (1987), s. 1460–1464.

- [17] A. C. H. Camilla Elisabet Öhman. *KG2021*. URL: <https://www.ntnu.no/siat/kunstgress2021> (sjekket 28.03.2020).
- [18] A. Castro mfl. «Indoor aerosol size distributions in a gymnasium». I: *Science of the Total Environment* (2015).
- [19] dsb. *T5.2 View all your mileage warnings and always keep your maintenance schedule*. URL: <https://www.vehco.no/nb/product-news/52-view-all-your-mileage-warnings-and-always-keep-your-maintenance-schedule> (sjekket 13.04.2020).
- [20] dsb. *Temaveiledning om bruk av farlig stoff del 2*. URL: <https://www.dsb.no/lover/farlige-stoffer/veiledning-til-forskrift/temaveiledning-om-bruk-av-farlig-stoff-del-2/#kontroll--92> (sjekket 07.04.2020).
- [21] M. P. E. Elmer Berry B. S. «Relative Humidity of Expired Air». I: *American Physical Education Review* 19.6 (1914), s. 452–454.
- [22] Folkehelseinstituttet. *Anbefalte faglige normer for inneklime Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer*. 2015. URL: <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2015/anbefalte-faglige-normer-for-inneklime-pdf.pdf>.
- [23] J. V. J. Gaute Larsen Tveit. «Karbondioksid, temperatur og relativ fuktighet som dimensjonerende inneklimeparametere for luftutskiftning i spinningrom.» I: (2018).
- [24] Genan. *GENAN GUMMIGRANULAT*. URL: <https://www.genan.dk/produkter/granulat/> (sjekket 30.03.2020).
- [25] L. A. Granly. «Idrettshaller». I: (2016). URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/dee978d794694506bba23a57d8a76ea8/v-0989b\\_idrettshaller\\_planleging\\_og\\_bygging\\_2016.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/dee978d794694506bba23a57d8a76ea8/v-0989b_idrettshaller_planleging_og_bygging_2016.pdf) (sjekket 20.03.2020).
- [26] O. Halvorsen. «VEILEDER FOTBALLHALLER». I: (2018). URL: <https://www.fotball.no/globalassets/klubb-og-leder/anlegg/veileder-fotballhall.pdf> (sjekket 20.03.2020).
- [27] <https://onboard.no/produkter/kunstgress/revolution-kunstgress/>. *Kunstgress for fotballbaner*. URL: <https://onboard.no/produkter/kunstgress/revolution-kunstgress/> (sjekket 28.03.2020).
- [28] I. Hydronics. *TA-Modulator*. URL: <https://www.imi-hydronic.com/sites/EN/nb-no/produkter/balansering-regulering-og-aktuatorer/reguleringsventiler/kombinerte-regulerings-og-innreguleringsventiler/TA-Modulator/663b9f63-e2ed-43ad-a185-b160f6b0fa16>.
- [29] S. Ingebrigtsen. *Ventilasjonsteknikk : Del 1*. nob. Oslo, 2016.
- [30] ivProdukt. *Envistar Flex 060-1540, Operation and Maintenance*.
- [31] *Kunsgressboka*. 2015. URL: [https://www.regjeringen.no/contentassets/99ad796eeffe4a688d9fb93v-0975b-veileder\\_kunstgress\\_2015.pdf](https://www.regjeringen.no/contentassets/99ad796eeffe4a688d9fb93v-0975b-veileder_kunstgress_2015.pdf).

- [32] L. Lundheim. *Sensorer*. 2018. URL: [https://snl.no/sensor\\_-\\_teknikk](https://snl.no/sensor_-_teknikk) (sjekket 20.03.2020).
- [33] *Mailutveksling med Jan Dragseth den 01.04.2020*.
- [34] *Mailutveksling med Trond Bystrøm Larsen fra GK den 23.04.2020*.
- [35] Maintech. *Vedlikeholdsstyring*. URL: <http://www.maintech.no/tjenester/vedlikeholdsstyring/> (sjekket 30.04.2020).
- [36] Melos. *EPDM Granulat 60 Shore A*. URL: <https://melos-shop.com/EPDM-Granulat-60-Shore-A> (sjekket 30.03.2020).
- [37] MicroMatic. *CO2 og temperaturgiver, A-Sense, for rom*. URL: <https://www.micromatic.no/produkter/hvac/automatikk/te1000/?tab=beskrivelse> (sjekket 20.03.2020).
- [38] L. Nova Fitness Co. «Laser PM2.5 Sensor specification». I: (2015).
- [39] G. K. Ole Myhrvold. *DRIFT OG VEDLIKEHOLD AV KUNSTGRESSBANEN*. 2018. URL: [https://www.godeidrettsanlegg.no/system/files/sites/default/files/Annleggstype/Fotballanlegg/0m\\_fotballanlegg/Kunstgress/Drift%20og%20vedlikehold%20av%20kunstgressbanen%2015.9.18.pdf](https://www.godeidrettsanlegg.no/system/files/sites/default/files/Annleggstype/Fotballanlegg/0m_fotballanlegg/Kunstgress/Drift%20og%20vedlikehold%20av%20kunstgressbanen%2015.9.18.pdf).
- [40] Onboard. *Geofill S*. URL: <https://onboard.no/2019/10/16/geofill-s/> (sjekket 28.03.2020).
- [41] RS-online. *ARDUINO NANO EVERY WITH HEADERS*. URL: [https://no.rs-online.com/web/p/processor-microcontroller-development-kits/1927590?cm\\_mmc=NO-PLA-DS3A--google--CSS\\_NO\\_NO\\_Semiconductors--Semiconductor\\_Development\\_Kits%7CProcessor\\_And\\_Microcontroller\\_Development\\_Kits--PRODUCT\\_GROUP&matchtype=&pla=410498058944&gclid=EAIaIQobChMI9rHw10PB6AIVj4KyCh268AsyEAD\\_BwE&gclidsrc=aw.ds](https://no.rs-online.com/web/p/processor-microcontroller-development-kits/1927590?cm_mmc=NO-PLA-DS3A--google--CSS_NO_NO_Semiconductors--Semiconductor_Development_Kits%7CProcessor_And_Microcontroller_Development_Kits--PRODUCT_GROUP&matchtype=&pla=410498058944&gclid=EAIaIQobChMI9rHw10PB6AIVj4KyCh268AsyEAD_BwE&gclidsrc=aw.ds).
- [42] S. productions. *TPE – TPE-E UND TPE-V*. URL: <https://spt-tpe.de/werkstoff-tpe-tpes-tpev/?lang=en> (sjekket 30.03.2020).
- [43] N. Regan. *The RCM solution : a practical guide to starting and maintaining a successful RCM program*. eng. New York, 2012.
- [44] *Samtale med Bjørn Aas*.
- [45] SFUptownMaker. *12c*. 2013. URL: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/i2c/all> (sjekket 20.03.2020).
- [46] Sportsurface. URL: <http://sportsurface.no/produkter/innfyll/sbr/sbr-gummi/> (sjekket 30.03.2020).
- [47] Statkraft. *Fjernvarme kort forklart*. URL: <https://www.statkraft.no/Energikilder/Fjernvarme/fjernvarme-kort-forklart/> (sjekket 27.03.2020).

- [48] N. L. Trine Melheim. *Klubber fortviler over at Norges Fotballforbund prøver å stoppe kunstgressbaner uten gummigranulat*. URL: <https://www.tv2.no/a/10744539/> (sjekket 27.03.2020).
- [49] A. Tønnessen. *Godt lager for utfordrende dager*. URL: <https://docplayer.me/307952-Godt-lager-for-utfordrende-dager.html> (sjekket 07.04.2020).
- [50] Unisport. *eCork- Miljøvennlig fyll til kunstgressbaner*. URL: <https://www.unisport.com/nb/ecork-miljoevennlig-fyll-til-kunstgressbaner> (sjekket 24.03.2020).
- [51] Unisport. *Oppbygging av kunstgressbanen*. URL: <https://www.unisport.com/nb/oppbygging-av-kunstgressbanen> (sjekket 31.03.2020).
- [52] *Varme- og klimateknik : grundbog*. dan. Lyngby, 2013.
- [53] B. J. Whipp. «Ventilatory control during exercise in humans». I: *Annual review of physiology* 45.1 (1983), s. 393–413.
- [54] D. Zijdemans. *Vannbaserte oppvarmings- og kjølesystemer*. nob. Oslo, 2014.
- [55] P. Ødegaard. *Nytt kunstgress med eCork fyllmateriale på Gjemselund Stadion*. URL: <http://www.mynewsdesk.com/no/unisportscandinavia/news/nytt-kunstgress-med-ecork-fyllmateriale-paa-gjemselund-stadion-221326> (sjekket 24.03.2020).

## 9 Vedlegg



Figur 27: Koblingskjema arduino



```
//////////////////////////////////////////Arduinokode
```

```
#include <SD.h>
```

```
File myFile;
```

```
//////////////////////////////////////////Inkludering av programpakker//////////////////////////////////////////
```

```
#include "Adafruit_Sensor.h"
```

```
#include "Adafruit_AM2320.h"
```

```
Adafruit_AM2320 am2320 = Adafruit_AM2320();
```

```
#include <SDS011.h>
```

```
float p10,p25;
```

```
int error;
```

```
SDS011 my_sds;
```

```
File sdcard_file;
```

```
//////////////////////////////////////////Opsett av program//////////////////////////////////////////
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
    Serial.begin(9600);
```

```
while (!Serial) {
```

```
    delay(10); // hang out until serial port opens
```

```
}
```

```
    my_sds.begin(2,3);
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
Serial.print("Adafruit AM2320 Basic Test");
```

```
am2320.begin();
```

```
Serial.println("Luftforurensning_SC_nkr_5");
```

```

Serial.println("Temp(C), Fukt(%),pm2.5, pm10, ");

////////// SD-programmering//////////
if (SD.begin())
{
  Serial.println("SD card is ready to use.");
} else
{
  Serial.println("SD card initialization failed");
  return;
}

}

void loop() {

//////////Oppsett av utgangsdata//////////
Serial.print(" "); Serial.print(am2320.readTemperature());
Serial.print(",");
Serial.print(" "); Serial.print(am2320.readHumidity());
Serial.print(",");
Serial.print(" "+String(p25));
Serial.print(",");
Serial.print(" "+String(p10));
Serial.println();

delay(20000);

//////////Oppsett av utgangsdata til SDkort//////////
  error = my_sds.read(&p25,&p10);
if (! error) {

}

  sdcard_file = SD.open("data.txt", FILE_WRITE);

```

```
if (sdcard_file) {
  sdcard_file.print(am2320.readTemperature());
  sdcard_file.print(",");
  sdcard_file.print(am2320.readHumidity());
  sdcard_file.print(",");
  sdcard_file.print(" "+String(p25));
  sdcard_file.print(",");
  sdcard_file.println(" "+String(p10));
  sdcard_file.close(); // close the file
}
// if the file didn't open, print an error:
else {
  Serial.println("error opening test.txt");
}
}
```



System/østvir:	VVS-anlegg Flatåsen fotballhall	Utført av:	Øystein Jensen Bohemo og Marius Rise	Dato:	28.03.2020
----------------	---------------------------------	------------	--------------------------------------	-------	------------

Komponent	Referansnr.	Systemkode	Funksjon	Beskrivelse av enhet	Beskrivelse av feil	Deteksjon av feil	På andre enheter	Effekt av feil	På hovedfunksjon	Fellefeitgradering	Felleiserende tiltak	Merknader	
Reguleringsventil	SB501	320.000	Regulere	Operasjonell	Feil/rask	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			retten vannmengde	Åpen	Sitasje	Feil på servomotor	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Moderat	Vedlikehold		
			Leakasje	Korrosjon	Vannspøl	Vannskade bygg	Vannspøl	Vannskade bygg	Vannskade bygg	Får ikke nokk til varmergulering	Moderat	Leakasjvakt	For å sjekke om motoren beveger seg riktig
Sikkerhetsventil	QV001/QV002	320.001	Regulere	Stengt	Dårlig smøring	Får ikke regulert vannmengde	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Får ikke nokk til varmergulering	Moderat	Leakasjvakt		
			retten vannmengde	Korrosjon	Fremmedlegemer	Får ikke regulert vannmengde	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Får ikke nokk til varmergulering	Moderat	Leakasjvakt		
			Leakasje	Feil strømmemoment	Vannspøl	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Feil temperatur vann	Kritisk	Posisjonsør	For å sjekke om motoren begynner å bli treg
Luftutskiller	ML401	320.001	Styre	Stengt	Dårlig pakning	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Moderat	Leakasjvakt		
			ventil	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler	
			Leakasje	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler	
Hovedstrømspumpes	JM01/A02	320.001	Regulere	Stengt	Dårlig pakning	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Moderat	Leakasjvakt		
			retten vannmengde	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler	
			Leakasje	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler	
Aerotemper	LB001	320.004/320.005	Oppvarming	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler		
			Regulere	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler	
			Leakasje	Stengt	Feil innstilt ventil	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Åpner ikke ved for høyt trykk	Kritisk	Test av ventiler	
Reguleringsventil	SB401	320.004/320.005	Regulere	Åpen	Feil på servomotor	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Moderat	Leakasjvakt		
			vannmengde til aerotemper	Åpen	Feil på servomotor	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Moderat	Leakasjvakt	
			Leakasje	Åpen	Feil på servomotor	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Leakasje	Moderat	Leakasjvakt	
Reguleringsventil	SBA01	360.003	Mengdergulering	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			vannmengde	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			Leakasje	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
Omluftspjeld	S5001	360.003	Styre	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			ventil	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			Leakasje	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
Vifte	JV501/JV401	360.003	Styre	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			ventil	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			Leakasje	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
Varme-gjenvinner	S5401/S5501	360.003	Styre	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			ventil	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			Leakasje	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
Varme-gjenvinner	LV001	360.003	Styre	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			ventil	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		
			Leakasje	Åpen	Feil på sensorer/signalgivere	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperatur på vann	Feil temperaturregulering	Lite kritisk	Temperaturmålinger		

