



**FAKULTET FOR
INGENIØRVITENSKAP**
**Institutt for maskinteknikk og
produksjon**
7491 Trondheim

Besøksadresse: Sverres gate 10 B

RAPPORT BACHELOROPPGAVEN

Tittel

Karbondioksid, temperatur og relativ fuktighet som dimensjonerende inneklimateparametere for luftutskiftning i spinningrom.

Carbon Dioxide, Temperature and Relative Humidity as Parameters for Determination of Necessary Ventilation Rates in Spinning Rooms

Prosjektnr

MTP-V-2018-02

Forfattere

Gaute Larsen Tveit
Jostein Vik Jevard

Oppdragsgiver eksternt

Bjørn Aas, Senter for idrettsanlegg og teknologi

Dato levert

21.05.18

Antall del-
rapporter

0

Totalt
antall sider

80

Veileder internt

Bjørn Austbø

Rapporten er **ÅPEN/LUKKET**

Kort sammendrag

Denne bacheloroppgaven har som hensikt å vurdere hvordan ulike inneklimateparametere oppfører seg i løpet av en spinningøkt. Gjennom forsøk, deltakerundersøkelser, beregninger og analyser er det kartlagt hvordan utvalgte inneklimateparametere utvikler seg inne i en spinningssal ved høy intensitet.

Det anbefales i dag en luftmengde på 250 m³/h per person for spinningrom. Denne luftmengden er basert på en dimensjoneringsmetode som tar utgangspunkt i karbondioksidproduksjonen fra mennesker, metabolismen til spinningutøvere og en bestemt maksimal tillatt karbondioksidkonsentrasjon i rommet.

Oppgaven utfordrer både dimensjoneringsmetoden og den anbefalte luftmengden for spinningrom. Gjennom forsøk er det målt relativ fuktighet, temperatur, støv, karbondioksid og luftmengde under flere spinningøkter med tilnærmet lik varighet og intensitet. Luftmengden ble endret for hvert forsøk, uten at deltakere ble informert om dette. Forsøkene viste at karbondioksidkonsentrasjonen i rommet følger intensiteten til deltakere, men at gassen ikke indikerer utviklingen for relativ fuktighet og temperatur. Karbondioksid fungerer dermed ikke som en god nok indikator for inneklimate under en spinningøkt.

Det viser seg at den eksisterende anbefalingen for nødvendig luftmengde i spinningrom gir en luftutskiftning som holder både relativ fuktighet og temperatur på akseptable nivå, selv om grunnlaget for dimensjonering baseres på unøyaktige parametere. Det rettes derfor også fokus mot regulering av luftmengden i spinningrom, hvor det konkluderes med at dette bør gjøres ut fra luftas entalpi.

Stikkord fra prosjektet

CO₂, Relativ fuktighet, temperatur, entalpi, luftutskiftning, inneklimate, spinningrom, ventilasjon, dimensjonering, regulering, forurensning, metabolisme, watt, forsøk, spinning

Oppgavetekst fra forprosjekt

Denne bacheloroppgaven har som hensikt å kartlegge hvordan ulike inneklimatestere oppfører seg i forhold til hverandre i løpet av en spinningøkt.

Det skal gjennom forsøk, deltakerundersøkelser, beregninger og analyser kartlegges hvordan ulike inneklimatestere henger sammen i en spinningssal ved høy intensitet.

Resultatmål

Målet for oppgaven er å kartlegge hvordan ulike inneklimatestere endrer seg og oppfører seg i forhold til hverandre i løpet av en spinningøkt. I tillegg skal man i løpet av oppgaven forsøke å komme frem til retningslinjer for hvordan spinningssaler bør ventileres.

Effekt mål

Gruppas mål under oppgaveskrivingen er å sørge for at samarbeidet fungerer godt, både innad i gruppa og mellom oss og våre samarbeidspartnere.

Målet vårt for besvarelsen er at vi kommer frem til resultater som forhåpentligvis kan bidra til nye veiledere for ventilering av høyintensitets treningsrom.

(blank side)

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet på initiativ fra Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT) av studenter ved Institutt for maskinteknikk og produksjon, Fakultet for ingeniørvitenskap, ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU).

Oppgaven er en videreføring av et prosjekt hvor det ble gjennomført forsøk i spinningrommet på Dragvoll Idrettsenter. Prosjektet ble gjennomført høsten 2017 av andre- og tredjeklasse fra studieretningen VVS-teknikk ved instituttet. Under analysen av forsøksresultatene mente mange at anbefalte luftmengder for spinningrom var i overkant store. Dette viste seg å være en antakelse flere i ventilasjonsbransjen hadde, og studentene stilte derfor spørsmål til gyldigheten av dagens anbefalte luftmengder i spinningrom, og om dagens dimensjoneringsmetode er basert på de riktige inneklimateparameterne.

SIAT jobber for å bringe frem forskningsbasert kunnskap og teknologiske løsninger for idrettsbygg, og samarbeidet mellom SIAT og NTNU falt derfor naturlig. Etter en felles diskusjon ble det i denne bacheloroppgaven besluttet å analysere inneklimateet i spinningrom. Analysen gjøres basert på gjennomføring av flere forsøk, hvor forsøksresultatene skal ses i sammenheng med dagens metode for dimensjonering av luftmengde. Det presenteres forsøksresultater, vurderinger av resultatene opp mot anbefalinger og forslag til videre arbeid.

Vi vil takke Bjørn Aas og Snorre Nordbo Olsen ved SIAT for en spennende oppgave og god veiledning underveis. Vi ønsker også å takke internveileder ved instituttet, Bjørn Austbø, samt Oddbjørn Sjøvold, Terje Arne Wenaas og Tore Kristian Eliassen for god hjelp. I tillegg vil vi takke alle involverte hos 3T Rosten for at de var villige til å stille sine lokaler til disposisjon. Dette var svært avgjørende for at denne oppgaven kunne gjennomføres. Vi vil også takke Stiftsstaden sykkelklubb, Trondheim Velocipedklubb og alle øvrige deltagere som stilte opp for god innsats under forsøkene.



Jostein Vik Jevard



Gaute Larsen Tveit

Trondheim 21.05.2018

(blank side)

Abstract

Ventilation requirements in sport facilities are subject for discussion in Norway. According to SIAT (Centre for Sport Facilities and Technology), sport facilities often have to follow strict requirements regarding function, quality, installations and equipment. Yet there are no relevant education within the field of planning, building and operating sport facilities (SIAT, 2018). Today a recommendation from the Norwegian Ministry of Culture dictates both temperature and ventilation rates. The recommendations are supposed to secure sufficient ventilation rates and provide the possibility to adjust air flow to every situation. A challenge occurs when the recommendations are used as requirements, even though that is not the purpose. As a result, this paper challenges the recommendation and uses samples from a spinning room during exercise to analyse indoor air quality.

Carbon dioxide (CO₂) concentration has been used for decades to indicate indoor air quality and in turn decide necessary ventilation rates based on metabolism and CO₂ generations from occupants. This paper reviews today's method and compare it with results from field tests in Trondheim, Norway. Spinning exercise was chosen as the activity because of its high intensity level and recommended ventilation rates. Participants produce a lot of contaminations regarding CO₂, sweat and heat, resulting in increased humidity and temperature in the room. Analyses from the field tests show that CO₂ fails to indicate how humidity evolves during the test, and its usefulness therefore diminish dramatically. The tests also show coherence between ventilation rates and humidity. Regarding to the perception of indoor air quality, temperature and humidity have more importance than CO₂. According to earlier research (Fang, Clausen og Fanger, 1998), significant linear correlations exist between acceptability and enthalpy of the air. Therefore a model for regulating air flow based on enthalpy was developed based on the results from the field tests.

This paper concludes that, based on the results from tests, CO₂ is not the correct parameter to indicate indoor air quality in high intensity sport facilities. Instead, humidity and temperature should be used as parameters for determination of necessary ventilation rates. Even though the recommendation for ventilation rates is based on inadequate basis, it provides necessary air flow to keep humidity and temperature at accepted levels. This paper suggests lowering air flow to a level that is still sufficient. Tests should be done to asses when critical level are met.

(blank side)

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Abstract	III
Innholdsfortegnelse	V
Figuroversikt	VII
Tabelloversikt.....	IX
1 Innledning.....	- 1 -
2 Teori	- 3 -
2.1 Inneklima.....	- 3 -
2.2 Dimensjoneringsgrunnlag for luftmengde	- 3 -
2.3 Karbondioksid som måleparameter.....	- 6 -
2.4 Fuktighet.....	- 7 -
2.5 Lukt	- 8 -
2.6 Varmegjenvinner	- 10 -
2.7 Svevestøv	- 11 -
3 Metode.....	- 13 -
3.1 Forsøksprosedyre	- 13 -
3.2 Deltakere	- 15 -
3.3 Fasiliteter	- 16 -
3.4 SD-anlegg	- 18 -
3.5 Måleutstyr.....	- 19 -
3.6 Kontrollmåling ventilasjonsaggregat	- 19 -
3.7 Databehandling.....	- 20 -
4 Resultat.....	- 23 -
4.1 Konsentrasjon av karbondioksid	- 23 -
4.2 Temperatur og relativ fuktighet.....	- 25 -
4.3 Svevestøv	- 26 -
4.4 Metabolisme og watt	- 27 -

4.5	Spørreundersøkelse	- 27 -
4.6	Kontrollmåling ventilasjonsanlegg	- 29 -
5	Diskusjon.....	- 31 -
5.1	Utvikling av inneklimateparametere under forsøk.....	- 31 -
5.2	Svevestøv under forsøk	- 34 -
5.3	Analyse av dagens dimensjoneringsmetode.....	- 35 -
5.4	Opplevd inneklimate	- 39 -
5.5	Estimering av inneklimate ved endt spinningøkt	- 41 -
5.6	Dimensjonerende inneklimateparametere	- 46 -
6	Konklusjon	- 47 -
7	Forslag til videre arbeid.....	- 49 -
8	Referanseliste	- 51 -
9	Vedlegg	- 53 -
9.1	Vedlegg 1 – Artikkel	- 53 -
9.2	Vedlegg 2 - Tabell for gjennomsnittsvekt for befolkning Norge.....	- 55 -
9.3	Vedlegg 3 - Spørreskjema	- 56 -
9.4	Vedlegg 4 - Utdrag fra datablad for aggregat	- 57 -
9.5	Vedlegg 5 - Utklipp av plantegning spinningrom 3T Rosten	- 65 -
9.6	Vedlegg 6 – Serienummer måleutstyr	- 66 -

Figuroversikt

Figur 2-1 Mollierdiagram.....	- 7 -
Figur 2-2 Akseptskala	- 8 -
Figur 2-3 Akseptnivå av inneklimate i forhold til entalpi	- 8 -
Figur 2-4 Roterende varmegjenvinner	- 10 -
Figur 3-1 Plassering av EasyLog før oppstart.....	- 14 -
Figur 3-2 Modell 1 av spinningrom	- 16 -
Figur 3-3 Modell 2 av spinningrom	- 16 -
Figur 3-4 Plantegning teknisk rom.....	- 17 -
Figur 3-5 Ventilasjonsaggregat	- 17 -
Figur 3-6 Automatikk.....	- 18 -
Figur 3-7 Stikkprøve i tilluftskanal	- 20 -
Figur 3-8 Illustrasjon av regneark	- 20 -
Figur 4-1 CO ₂ -konsentrasjon ved forsøk	- 23 -
Figur 4-2 Intervalloversikt forsøk 2	- 24 -
Figur 4-3 Intervalloversikt forsøk 3	- 24 -
Figur 4-4 Temperatur og relativ fuktighet.....	- 25 -
Figur 4-5 Konsentrasjon PM _{2,5} under forsøk	- 26 -
Figur 4-6 Konsentrasjon PM ₁₀ under forsøk	- 26 -
Figur 4-7 Metabolisme forsøk 2.....	- 27 -
Figur 4-8 Metabolisme forsøk 3.....	- 27 -
Figur 4-9 Vurdering temperatur forsøk 2	- 28 -
Figur 4-10 Vurdering luftkvalitet forsøk 2.....	- 28 -
Figur 4-11 Vurdering temperatur forsøk 3	- 28 -
Figur 4-12 Vurdering luftkvalitet forsøk 3.....	- 28 -
Figur 5-1 CO ₂ og puls forsøk 2	- 31 -
Figur 5-2 CO ₂ og puls forsøk 3	- 31 -
Figur 5-3 CO ₂ og RF ved forsøk 2 og 3	- 33 -
Figur 5-4 Luftmengde per person som funksjon av met. Ci = 1000 ppm	- 38 -
Figur 5-5 Luftmengde per person som funksjon av met. Ci = 1500 ppm	- 38 -
Figur 5-6 Akseptnivå som funksjon av tid	- 40 -
Figur 5-7 Entalpi og luftmengde	- 41 -

Figur 5-8 Absolutt fuktighet.....	- 42 -
Figur 5-9 Illustrasjon massebalanse	- 43 -

Tabelloversikt

Tabell 2-1 Utdrag fra Byggforskserien, 421.503	- 4 -
Tabell 2-2 BMR	- 6 -
Tabell 2-3 Inndeling svevestøv (FHI)	- 11 -
Tabell 3-1 Luftmengder under forsøk	- 14 -
Tabell 3-2 Luftmengde per person basert på veiledning	- 14 -
Tabell 3-3 Utetemperatur og relativ fuktighet ved forsøk.....	- 15 -
Tabell 3-4 Forsøk 2, aldersfordeling	- 15 -
Tabell 3-5 Forsøk 3, aldersfordeling	- 15 -
Tabell 3-6 Måleutstyr	- 19 -
Tabell 4-1 Stikkprøve CO ₂	- 29 -
Tabell 4-2 Stikkprøve relativ fuktighet	- 29 -
Tabell 5-1 Forventet karbondioksidifferanse ved endring av luftmengde	- 32 -
Tabell 5-2 Inndeling av met ved utgangspunkt i watt-intervaller	- 36 -
Tabell 5-3 Gjennomsnittlig metabolisme, forsøk 2.....	- 36 -
Tabell 5-4 Gjennomsnittlig metabolisme, forsøk 3.....	- 37 -
Tabell 5-5 CO ₂ produsert ved 10 met for utøvere mellom 18 – 60 år.....	- 37 -
Tabell 5-6 CO ₂ produsert ved 10 met for utøvere mellom 0 – 60 år.....	- 37 -
Tabell 5-7 Spørreundersøkelse og akseptnivå.....	- 39 -
Tabell 5-8 Akseptnivå	- 40 -

(blank side)

1 Innledning

Inneklimaet i idrettsbygg må vurderes ut fra andre forutsetninger enn for andre publikums- eller arbeidsbygninger. Det utføres til tider intens aktivitet som fører til emisjon av gasser, damp og varme fra utøverne, noe som kan ha innvirkning på det opplevde inneklimaet.

Valget om å fokusere på inneklimaet i spinningrom er gjort med bakgrunn i at slike rom ofte har høy persontetthet og høyt aktivitetsnivå. I tillegg er moderne spinningsykler ofte utstyrt med måleutstyr slik at parametere knyttet til utøvernes aktivitet kan logges.

I løpet av en spinningøkt har deltakere høy metabolisme hvor de produserer mye karbondioksid svette og varme. En vanlig antakelse har vært at det er mest effektivt å kompensere for dette med hyppigere luftutskiftning, mye på grunn av en filosofi om at den kjemiske sammensetningen av lufta avgjør luftkvaliteten (Fang, Clausen og Fanger, 1998, s. 80). Dette kommer tydelig frem ved at dagens dimensjoneringsmetode benytter samme formel for kontorbygg som for idrettsbygg ved å benytte metabolisme som en multiplikator for å beregne nødvendig luftmengde. I denne oppgaven undersøkes det om det er andre parametere enn karbondioksid som bør benyttes som indikatorer for godt inneklima i spinningrom.

I oppgaven presenteres forsøksresultat fra spinningøkter med lik varighet, hvor luftmengden reguleres i noen av forsøkene. Forsøksresultatene presenteres i et eget kapittel, og vurderinger basert på resultatene gjøres i kapittelet for diskusjon. Til slutt legges det frem en konklusjon basert på funnene i denne bacheloroppgaven.

(blank side)

2 Teori

For å kartlegge hvilke faktorer som påvirker inneklimate i et spinningrom er det gjort en teoretisk studie som underlag for vurdering av dagens dimensjoneringsmetode og for å kunne forstå utviklingen av inneklimate under en spinningøkt.

2.1 Inneklimate

Inneklimate omfatter alle fysiske og kjemiske forhold som påvirker mennesket. Med bakgrunn i dette har Verdens Helseorganisasjon (WHO) definert inneklimate ved å dele opp begrepet i fem faktorer: atmosfærisk miljø, termisk miljø, akustisk miljø, mekanisk miljø og mekanisk miljø (Aas, 2010). Inneklimate skal i denne oppgaven analyseres ut i fra det atmosfæriske og det termiske miljøet. Det atmosfæriske miljøet tar for seg sammensetningen av partikler i luften som pustes inn og avhenger av forurensninger i form av gasser, damper, luktstoffer og partikler. Det termiske miljøet omfatter temperatur, luftfuktighet, lufthastighet og aktivitetsnivå.

2.2 Dimensjoneringsgrunnlag for luftmengde

I veiledningen fra Kulturdepartementet for planlegging og bygging av idrettshaller er det anbefalt luftmengdebehov for ulike aktiviteter (Kulturdepartementet, 2016). I treningsrom hvor det foregår aktiviteter med høy intensitet, slik som spinning, er anbefalt luftmengdebehov 250 m³/h per person og 7 m³/h per m² gulvareal. Anbefalt romtemperatur er omtrent 18 °C. Disse anbefalingene baseres på overslagsverdier og en dimensjoneringsmetode basert på aktivitetsnivå i form av metabolisme (met) beskrevet i Byggforskserien fra SINTEF, anvisning 421.503, punkt 232 (SINTEF Byggforsk, 2017). Der benyttes samme formel for utregning av nødvendig luftmengde uavhengig av om lokalet er beregnet for publikum, som kontorlokale eller som treningsareal. Nødvendig luftmengde per person vil i denne oppgaven bli vurdert med den forutsetningen at luftmengdebehovet per m² gulvareal kommer i tillegg til luftmengden per person. Anbefalingen for luftmengdebehov per gulvareal kommer som følge av blant annet bygningsemisjoner, noe det ikke rettes fokus på i denne oppgaven. Denne delen av anbefalingen er derfor ikke videre vurdert.

Tabell 2-1 Utdrag fra Byggforskserien, 421.503

Aktivitet	M (met)	Luftmengde per person (m ³ /h)
Stillesittende kontorarbeid	1,1	26
Moderat arbeid – forretning, lager, lab	2	50
Tungt arbeid – maskinarbeid, verksted	3	75
Moderat trening – idrettshall, fitness-senter	6	150
Intens trening - spinningrom	10	250

Formelen for nødvendig luftmengde per person (q_p) fra Byggforskserien er basert på produksjon av karbondioksid per person, metabolisme, tilluftstemperatur, romtemperatur og maksimal tillatt konsentrasjon av karbondioksid i rommet.

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

der M er aktivitetsnivå i met (1 met = 58,2 W/m² kroppsflate), C_i er konsentrasjon av karbondioksid inne (ppm), C_o er konsentrasjon av karbondioksid utendørs (ppm), T_s er tilluftstemperatur (K), T_i er romtemperaturen (K) og ε_v er ventilasjonseffektiviteten i oppholdssonen.

I henhold til Byggforskserien ligger følgende forutsetninger til grunn for anbefalingen fra Kulturdepartementet: $M = 10$, $T_i = 18$ °C, $T_s = T_i$, $C_i = 1000$ ppm, $C_o = 400$ ppm. Det forutsettes også at ventilasjonseffektiviteten er 1 (100 %), noe som medfører at veiledningen setter høye krav til utforming av ventilasjonsanlegg. Ved lavere ventilasjonseffektivitet, noe som er mer reelt, kreves det større luftmengder for å opprettholde de samme kravene.

For å sammenligne ulike metoder for estimering av karbondioksidproduksjon kan formel 1 deles opp i to ledd (Sjøvold, 2016), hvor første ledd estimerer produksjon av karbondioksid og kan skrives på følgende måte:

$$15000M = \frac{0,25}{60} \cdot 10^6 \cdot 3,6 \cdot M \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (2)$$

$$\dot{V}_{\text{CO}_2} = \frac{0,25}{60} \cdot M \quad (\text{l/s}) \quad (3)$$

Formel 3, heretter kalt metode 1, tar hensyn til kroppens overflateareal og personens aktivitetsnivå for estimering av karbondioksidproduksjon (\dot{V}_{CO_2}). Basert på formel 2 og 3 kan q_p skrives om til følgende formel for luftmengde, forutsatt at $T_s = T_i$, slik Byggforskserien

forutsetter, og at $\varepsilon_v = 1$. Maksimal tiltatt karbondioksidkonsentrasjon i rommet defineres som $C_{i_{maks}}$ (ppm).

$$q_p = \dot{V}_{CO_2} \cdot \frac{10^6}{C_{i_{maks}} - C_o} \cdot 3,6 \quad (\text{m}^3/\text{h}) \quad (4)$$

En alternativ metode for estimering av karbondioksidproduksjon, heretter kalt metode 2, tar hensyn til parametere som kjønn, alder, vekt, atmosfæretrykk, temperatur og respirasjon i tillegg til metabolisme (Persily og de Jonge, 2017, s. 873-876). Metoden benytter følgende formel:

$$\dot{V}_{CO_2} = RQ \cdot BMR \cdot M \cdot \left(\frac{T}{P}\right) \cdot 0.000211 \quad (\text{l/s}) \quad (5)$$

der M er aktivitetsnivå i met, BMR er hvilemetabolisme basert på alder og kjønn (MJ/dag), T er romtemperatur (K), P er atmosfæretrykket (kPa) og RQ er andel karbondioksid av en gitt mengde inhalert luft.

Formel 5 er basert på energibruk for en gitt aktivitet, E , og utledes på følgende måte:

$$E = M \cdot BMR \quad (\text{MJ/dag})$$

$$E = M \cdot BMR \cdot \left(238,8 \frac{\text{kcal}}{\text{MJ}}\right) \quad (\text{kcal/dag})$$

Gitt et forbruk av 0,206 liter O_2 per kcal energibruk (Persily og de Jonge, 2017, s. 873) ved 101,325 kPa og 273,15 K kan metode 2 utledes som:

$$\dot{V}_{O_2} = E \cdot \left(0,206 \frac{\text{liter } O_2}{\text{kcal}}\right) \cdot \frac{1}{86400} \frac{\text{s}}{\text{dag}}$$

$$\dot{V}_{O_2} = M \cdot BMR \cdot 238,8 \frac{\text{kcal}}{\text{MJ}} \cdot 0,206 \frac{\text{liter } O_2}{\text{kcal}} \cdot \frac{1}{86400} \frac{\text{dag}}{\text{s}}$$

$$\dot{V}_{O_2} = M \cdot BMR \cdot 0,000569 \quad (\text{l/s})$$

Karbondioksidproduksjonen kan skrives som andel karbondioksid av mengden inhalert oksygen:

$$\dot{V}_{CO_2} = RQ \cdot \dot{V}_{O_2} = RQ \cdot M \cdot BMR \cdot 0,000569 \quad (\text{l/s})$$

For å kunne bruke andre temperaturer og trykk utledes ideell gasslov for tilstand 1 ved 273,15 K og 101,325 kPa:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{P_1}{T_1} \cdot \frac{T_2}{P_2} = 0,371 \cdot \frac{T_2}{P_2}$$

$$\dot{V}_{CO_2} = RQ \cdot BMR \cdot M \cdot \left(\frac{T}{P}\right) \cdot 0,000211 \quad (l/s)$$

RQ settes ofte lik 0,85. Innsatt i formel 5 gir det følgende formel for beregning av karbondioksidproduksjon:

$$\dot{V}_{CO_2} = BMR \cdot M \cdot \left(\frac{T}{P}\right) \cdot 0,000179 \quad (l/s) \quad (6)$$

Tabell 2-2 viser verdier for BMR (Persily og de Jonge, 2017, s. 871) som funksjon av kroppsvekt, m (kg). I denne oppgaven er det benyttet gjennomsnittsvekt for menn, kvinner og barn i Norge (Elgen, u.å.-a, u.å.-b). Se også vedlegg 2 for kilde.

Tabell 2-2 BMR

Alder (år)	BMR (MJ/dag)	
	Mann	Kvinne
< 3	$0,249 \cdot m - 0,127$	$0,244 \cdot m - 0,130$
3 til < 10	$0,095 \cdot m + 2,110$	$0,085 \cdot m + 2,033$
10 til < 18	$0,074 \cdot m + 2,754$	$0,056 \cdot m + 2,898$
18 til < 30	$0,063 \cdot m + 2,896$	$0,062 \cdot m + 2,036$
30 til < 60	$0,048 \cdot m + 3,653$	$0,034 \cdot m + 3,538$
> 60	$0,049 \cdot m + 2,459$	$0,038 \cdot m + 2,755$

2.3 Karbondioksid som måleparameter

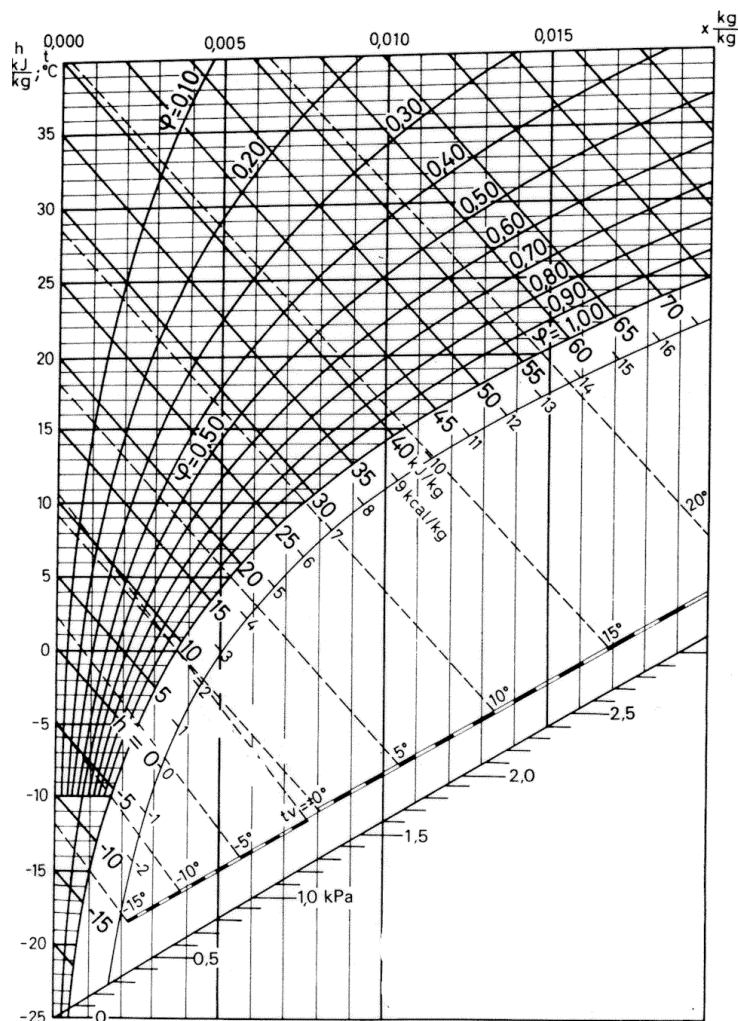
Karbondioksid (CO₂) er en gass som dannes gjennom stoffskifte i organismen ved forbrenning. Mennesket puster ut gassen gjennom ytre respirasjon, og produksjonen av karbondioksid øker ved økende fysisk aktivitet. Gassen kan dermed gi en indikator på personbelastningen, aktivitetsnivået og dermed også hygienisk forurensning i et rom. Med bakgrunn i dette benytter flere dimensjoneringsmetoder karbondioksid som sporgass for å angi ventileringsbehovet. Karbondioksid er i seg selv ikke skadelig ved konsentrasjoner som forekommer under normale forhold, men kan ifølge Folkehelseinstituttet indikere om luftutskiftningen er tilstrekkelig. I Norge er det med bakgrunn i indikatoregenskapene for dårlig luftkvalitet valgt en øvre grense

for konsentrasjon av karbondioksid på 1000 ppm i Folkehelseinstituttets faglige normer for inneklima (Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2015).

2.4 Fuktighet

Fuktighet oppgis ofte i form av relativ eller absolutt fuktighet. Volumet til luft endrer seg med lufttrykket, og absolutt fuktighet angis derfor gjerne i gram vanddamp per kubikkmeter luft. Den absolutte fuktigheten forteller altså hvor mye vanddamp det er i lufta. Relativ fuktighet uttrykkes i prosent eller på desimalform og er et mål på forholdet mellom vanninnholdet i lufta og den maksimale vannmengden lufta kan inneholde ved metning. Mengden vanddamp lufta kan holde på ved metning endrer seg i takt med variasjoner i temperaturen. Overskuddsvanddamp vil felles ut som overflatekondens eller som vanddråper i lufta. Sammenhengen mellom fuktinnhold, temperatur, entalpi og relativ fuktighet kan presenteres ved hjelp av et Mollierdiagram (Engineering ToolBox, 2003).

Figur 2-1 Mollierdiagram



Det er utbredt å vurdere fuktinnhold i form av relativ fuktighet, noe som kan gi misoppfatninger. Selv om den absolutte fuktigheten kan være lik, vil den relative fuktigheten innendørs være betraktelig høyere på sommerstid enn på vinterstid i de fleste bygg i Norge. Dette skjer som følge av at utelufta er kald på vinteren og metningspunktet øker ved oppvarming av den kalde lufta ved konstant fuktinnhold.

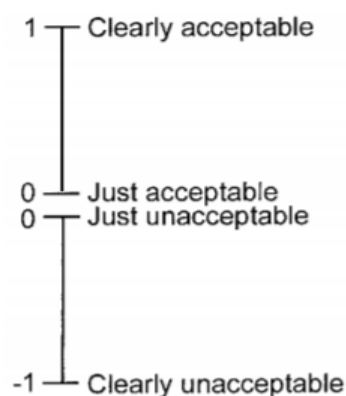
$$\varphi = \frac{x}{x_s} \cdot 100\% \quad (7)$$

der φ er relativ fuktighet, x er absolutt fuktighet og x_s er absolutt fuktighet ved metning.

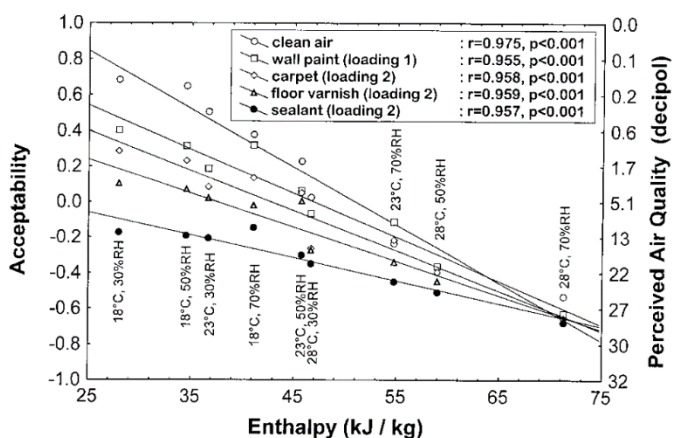
2.5 Lukt

Ingen av menneskets sanser kan føle luftfuktighet, og opplevd kvalitet på inneklimaet må derfor evalueres basert på andre følbare parametere. Lukt er i mange forsøksrapporter en fellesnevner for opplevd kvalitet på lufta. I en studie utført av Fang, Clausen og Fanger gjøres det undersøkelser rundt sammenhengen mellom luftfuktighet, temperatur og opplevd luktintensitet (Fang, Clausen og Fanger, 1998). I denne studien konkluderes det med at fuktighet og temperatur ikke påvirker målt luktintensitet i forsøkene, men at den opplevde luktintensiteten i aller høyeste grad avhenger av disse parameterne. Ved økende fuktighet og temperatur oppleves luftkvaliteten som dårligere. Forsøksdataene fra studien viser at sammenhengen kan presenteres lineært som en funksjon av luftas entalpi og akseptnivå for inneklimaet.

Figur 2-2 Akseptskala



Figur 2-3 Akseptnivå av inneklimaet i forhold til entalpi



Temperatur, fuktighet eller begge er lav ved lav entalpi, og i dette tilfellet er luftforurensning den avgjørende faktoren for opplevelsen av inneklimaet ifølge studien. Betydningen av forurensning for opplevelsen av inneklimaet avtar med økende entalpi, og det er opplevelsen

sett i sammenheng med entalpien som vurderes i denne bacheloroppgaven. Fang, Clausen og Fanger viser videre hvordan graden av akseptert luftkvalitet kan beregnes ut fra relativ fuktighet og temperatur:

$$Aks = Aks_0 - 0,0247(E - 45,39) - 0,0416Aks_0(E - 45,39) \quad (8)$$

der E er entalpi og Aks_0 er akseptnivå for luft ved 23 °C og 50 % relativ fuktighet, som igjen angir referanseentalpien på 45,39 kJ/kg. Entalpien kan leses ut fra et Mollierdiagram eller beregnes etter følgende formel:

$$E = h_{luft} + W \cdot h_g \quad (\text{kJ/kg}) \quad (9)$$

der h_{luft} er entalpi i tørr luft (kJ/kg), W er spesifikk fuktighet (g vanndamp/g luft) og h_g er entalpi i vanndamp (kJ/kg).

$$h_{luft} = 1,006 \cdot T \quad (\text{kJ/kg}) \quad (10)$$

$$h_g = 2501 + 1,84 \cdot T \quad (\text{kJ/kg}) \quad (11)$$

$$W = 0,622 \cdot \frac{p}{p_0 - p} \quad (\text{g/g}) \quad (12)$$

$$p = 0,01 \cdot \varphi \cdot p_{sat} \quad (\text{Pa}) \quad (13)$$

$$p_{sat} = e^{(23,58 - \frac{4043}{T+273,15-37,58})} \quad (\text{Pa}) \quad (14)$$

der T er temperatur (°C), φ er relativ fuktighet (%), p er partialtrykket til vanndamp (Pa), p_0 er atmosfæretrykket (Pa) og p_{sat} er metningstrykket til vanndamp (Pa).

Innsatt i formel 9 utledes en formel for beregning av entalpi som funksjon av temperatur og relativ fuktighet:

$$E = 1,006T + 0,622(2501 + 1,84T) \cdot 0,01 \cdot \varphi \cdot \frac{e^{(23,58 - \frac{4043}{T+273,15-37,58})}}{p_0 - 0,01 \cdot \varphi \cdot e^{(23,58 - \frac{4043}{T+273,15-37,58})}} \quad (15)$$

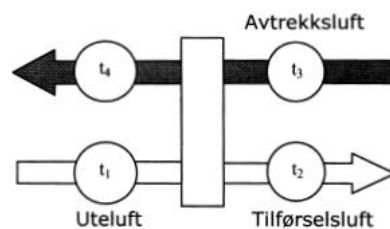
2.6 Varmegjenvinner

Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg består av en varmeakkumulerende flate som overfører varmeenergi fra avtrekksluft til tilluft. Varmegjenvinnerne deles inn i regenerative og rekuperative varmegjenvinnere. Forskjellen mellom disse to hovedtypene ligger i måten de overfører varmen fra den ene luftstrømmen til den andre. Den varmeakkumulerende flaten i de regenerative varmegjenvinnerne veksler syklisk mellom å være i kontakt med avtrekk og tilluft. I rekuperative varmegjenvinnere er luftstrømmene helt adskilt, slik at det ikke skjer noen fukt- eller partikkeloverføring mellom avtrekksluft og tilluft.

Den vanligste typen av regenerative varmegjenvinnere er den roterende varmegjenvinneren. Denne består av et rotorhjul som til enhver tid har halve arealet i kontakt med avtrekkslufta og halve i tillufta. Når varmegjenvinneren er i drift roterer hjulet og varmeenergien fra avtrekket kan absorberes av luftstrømmen på tilluftssiden. Roterende varmegjenvinnere inndeles i to typer etter om de har hygroskopisk rotor eller ikke. Hygroskopiske rotorer kan ta opp fuktighet i væske- eller dampform, og ikke-hygroskopiske rotorer kan kun overføre fuktighet når det oppstår kondensering av vanndampen i avtrekkslufta.

Når det gjelder rekuperative varmegjenvinnere kan varmegjenvinningen enten foregå via et væskemedium eller med en fysisk skillevegg. I denne oppgaven betraktes rekuperative varmegjenvinnere i form av platevarmegjenvinnere. En platevarmegjenvinner utføres vanligvis som en krysstrømsgjenvinner hvor luftstrømmene krysser hverandre på hver sin side av den varmeakkumulerende flaten inne i gjenvinneren (SINTEF Byggforsk, 2002). Varmegjenvinnere beskrives ved hjelp av blant annet virkningsgrader for temperatur og fuktoverføring (COVENT, u.å.).

Figur 2-4 Roterende varmegjenvinner



Fuktvirkningsgrad:
$$\eta_x = \frac{x_2 - x_1}{x_3 - x_1} \cdot 100\% \quad (16)$$

Temperaturvirkningsgrad:
$$\eta_T = \frac{T_2 - T_1}{T_3 - T_1} \cdot 100\% \quad (17)$$

2.7 Svevestøv

Svevestøv defineres som partikler med dynamisk diameter mindre enn 10 μm . Størrelsen på partiklene varierer, og de grupperes gjerne i størrelsesgrupper for PM («particulate matter»). Folkehelseinstituttet fokuserer på tre grupper for PM (Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2015, s. 60).

Tabell 2-3 Inndeling svevestøv (FHI)

PM	Partikkelstørrelse	
PM _{0,1}	< 0,1 μm	Ultrafin fraksjon
PM _{2,5}	0,1 – 2,5 μm	Finfraksjon
PM ₁₀	2,5 – 10 μm	Grovfraksjon

Det finnes lite kunnskap om helseeffekter forbundet med inhalering av svevestøv, men noen studier som blant annet Folkehelseinstituttet baserer sine anbefalinger på forbinder høye konsentrasjoner av svevestøv i lufta med redusert lungekapasitet og sykdommer som bronkitt, astma, KOLS og andre hjerte- og karsykdommer. Årsaken til at svevestøv kan være skadelig er at enkelte inhalerbare svevestøvparkler kan knytte til seg kjemiske forbindelser slik at støvet fungerer som en luftbåren smittekilde.

I følge Folkehelseinstituttet er svevestøv med partikkelstørrelse 2,5 μm eller mindre stort sett dominerende i innelufta, og man kan se bort ifra konsentrasjoner av PM₁₀. Folkehelseinstituttet og Miljødirektoratet anbefaler basert på vurderinger fra WHO en årsmiddelnorm for innendørs konsentrasjon av PM_{2,5} på 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2015, s. 64). Det foreligger derimot for liten kunnskap om PM_{0,1} til å foreslå normer for svevestøvkonsentrasjoner av den ultrafine fraksjonen.

(blank side)

3 Metode

Karbondioksid, støv, temperatur og relativ fuktighet er målt under tre spinningøkter, referert til som forsøk 1, 2 og 3. Det ble gjennomført totalt 6 forsøk, men på grunn av variasjon i antall deltakere og intensitet ble 3 av forsøkene ikke benyttet i oppgaven. Deltakerne har vurdert lufta i spinningrommet med hensyn til opplevd temperatur og luftkvalitet etter to av øktene.

3.1 Forsøksprosedyre

Målingene ble gjennomført over tre separate spinningøkter, arrangert på kveldstid i februar og mars måned. Før forsøk 2 og 3 ble det avholdt en annen spinningøkt som ble avsluttet femten minutter før forsøkene startet, og lufting av rommet både med åpne dører og åpne vinduer har forekommet før forsøkene. Selv om metodene for utlufting var ulike fra ett forsøk til et annet, startet forsøk 2 og 3 med tilnærmet lik romtemperatur, relativ fuktighet og konsentrasjon av karbondioksid. Forsøk 1 var en økt for treningssenterets medlemmer. I forbindelse med denne økten ble det unngått å endre på luftmengden eller stilt spørsmål til deltakerne i etterkant. Dette ble kun gjort i øktene som ble arrangert eksklusivt for denne oppgaven. Under forsøk 1 ble det holdt høy intensitet gjennom hele økten uten innlagte intervaller. Oppsettet og gjennomføringen av forsøk 2 og 3 var identisk, og ved oppstart av disse timene hadde spinninginstruktøren en gjennomgang av mobilapplikasjonen «Keiser M Series», slik at deltakere kunne måle sin gjennomsnittswatt for økta ved hjelp av syklenes digitale loggingsystem. Gjennomgangen tok 10 ± 5 minutter, noe som førte til ulikt oppstartstidspunkt for forsøk 2 og 3. Etter gjennomgangen ble det gjennomført 10 minutters oppvarming etterfulgt av 4 drag på 8 minutter ved 100 – 110 % av FTP («Functional Threshold Power»). FTP er den maksimale effekten en syklist teoretisk sett kan holde i 60 minutter. Hvert drag ble gjennomført sittende på sykkelen i de første 4 og stående i de siste 4 minuttene. Mellom dragene var det 3 minutter aktiv pause ved 50 – 60 % av FTP. Måledataene ble samlet inn sammen med alder og kjønn i spørreundersøkelsen. For å teste utvikling til inneklimateparametere ble det tilført konstant, men ulik luftmengde for hvert forsøk.

Tabell 3-1 Luftmengder under forsøk

Dato	Forsøk nr.	Luftmengde etter oppstart (m ³ /h)
01.02.2018	Forsøk 1*	15 000
07.03.2018	Forsøk 2	8 640
14.03.2018	Forsøk 3	10 750

For å kunne sammenligne måleresultatene med anbefalinger i veiledningen fra Kulturdepartementet er luftmengden per person angitt på samme måte som i veiledningen, hvor 7 m³/h per m² trekkes fra totalluftmengden før det divideres på antall deltakere. Basert på dette er luftmengde per person presentert for de ulike forsøkene i følgende tabell:

Tabell 3-2 Luftmengde per person basert på veiledning

Dimensjonering forsøk	Luftmengde (m ³ /h)	Luftmengde per person (m ³ /h)
Veiledning	-	250
Luftmengde forsøk 1	15 000	385
Luftmengde forsøk 2	8 640	175
Luftmengde forsøk 3	10 750	223

Før hvert forsøk ble det satt opp nødvendig måleutstyr på ulike plasser i rommet med samme plassering under hvert forsøk. Det ble satt opp 8 måleapparater for temperatur og relativ fuktighet. De ble montert i 2 ulike høyder, 1,5 meter og 2,7 meter over gulvet, fordelt på 4 punkt i rommet.

Figur 3-1 Plassering av EasyLog før oppstart

* Ingen overstyring. Luftmengde er bestemt av SD-anlegg.

Målte verdier for relativ fuktighet og temperatur utendørs er hentet fra nærmeste målestasjon som ligger på Skjetlein (Meteorologisk institutt og NRK, 2018).

Tabell 3-3 Utetemperatur og relativ fuktighet ved forsøk

Dato	Forsøk	Utetemperatur	Relativ fuktighet
01.02.2018	Forsøk 1	- 2,1 °C	60 %
07.03.2018	Forsøk 2	- 7,7 °C	77 %
14.03.2018	Forsøk 3	- 3°C	67 %

3.2 Deltakere

Alle deltakerne var frivillige som ønsket å bidra til å skape resultater for denne oppgaven. Ingen ble informert på forhånd om hva som skulle skje før, under eller etter økta, dette for å få mest mulig upåvirkede resultater i spørreundersøkelsen. Hvem som deltok varierte noe mellom hvert forsøk. Under forsøk 2 og 3 var det 44 deltakere. Under forsøk 1 var det 39 deltakere, hvor fordeling av kjønn og alder ikke er registrert.

Tabell 3-4 Forsøk 2, aldersfordeling

Kjønn	Alder	Antall
Mann	18 – 30	10
Kvinne	18 – 30	3
Mann	30 – 60	27
Kvinne	30 – 60	4
Mann	60 +	
Kvinne	60 +	

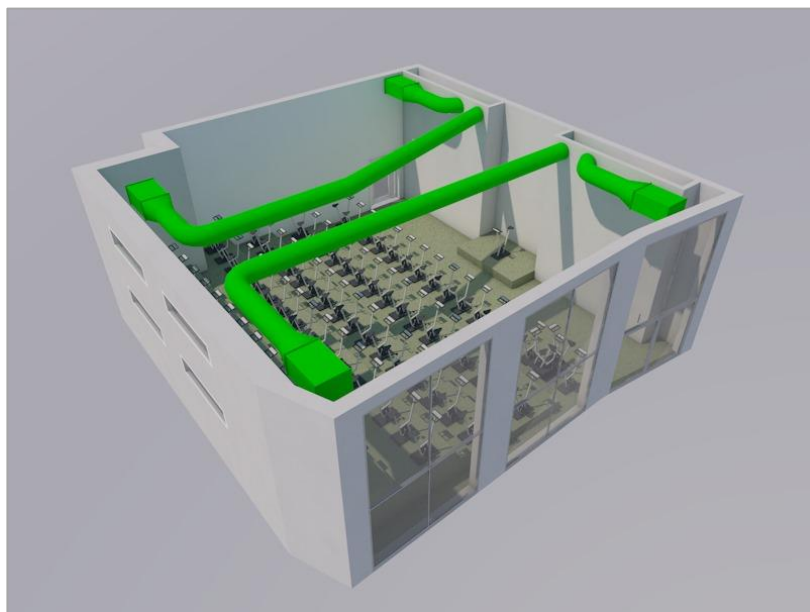
Tabell 3-5 Forsøk 3, aldersfordeling

Kjønn	Alder	Antall
Mann	18 – 30	8
Kvinne	18 – 30	3
Mann	30 – 60	21
Kvinne	30 – 60	10
Mann	60 +	2
Kvinne	60 +	

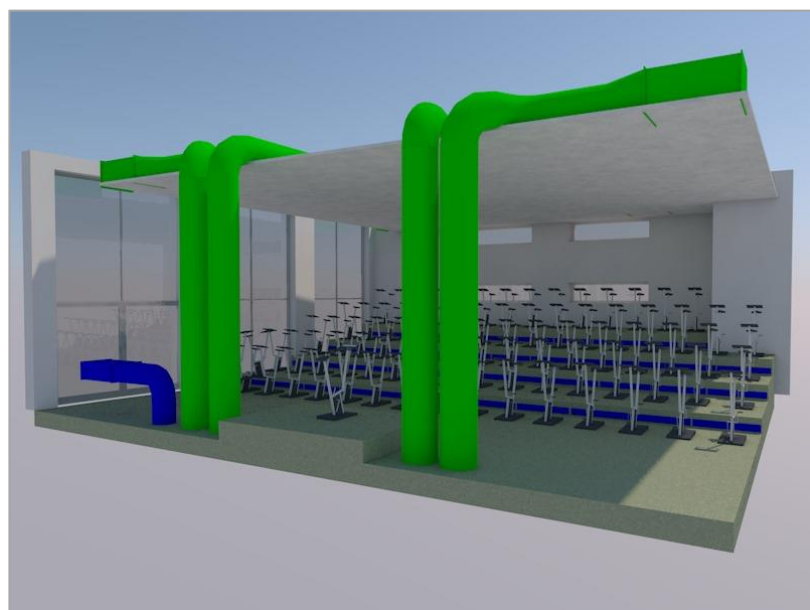
3.3 Fasiliteter

Alle spinningøktene ble avholdt i samme rom. Spinningrommet har et romvolum på 697 m^3 over et gulvareal på 132 m^2 og inneholder 71 sykler av typen Keiser M3i fordelt på 5 rader i ulike høyder. Plantegning kan ses i vedlegg 5. Det tilføres luft via to tilluftsventiler i fremkant av rommet og via et luftkammer under platåene syklene står på. Fra luftkammeret tilføres lufta diffust gjennom langsgående perforerte metallplater mellom hvert platå. Rommet har fire avtrekkspunkt, ett i hvert hjørne av taket. Alle avtrekkspunktene er prosjektert for å trekke av lik luftmengde.

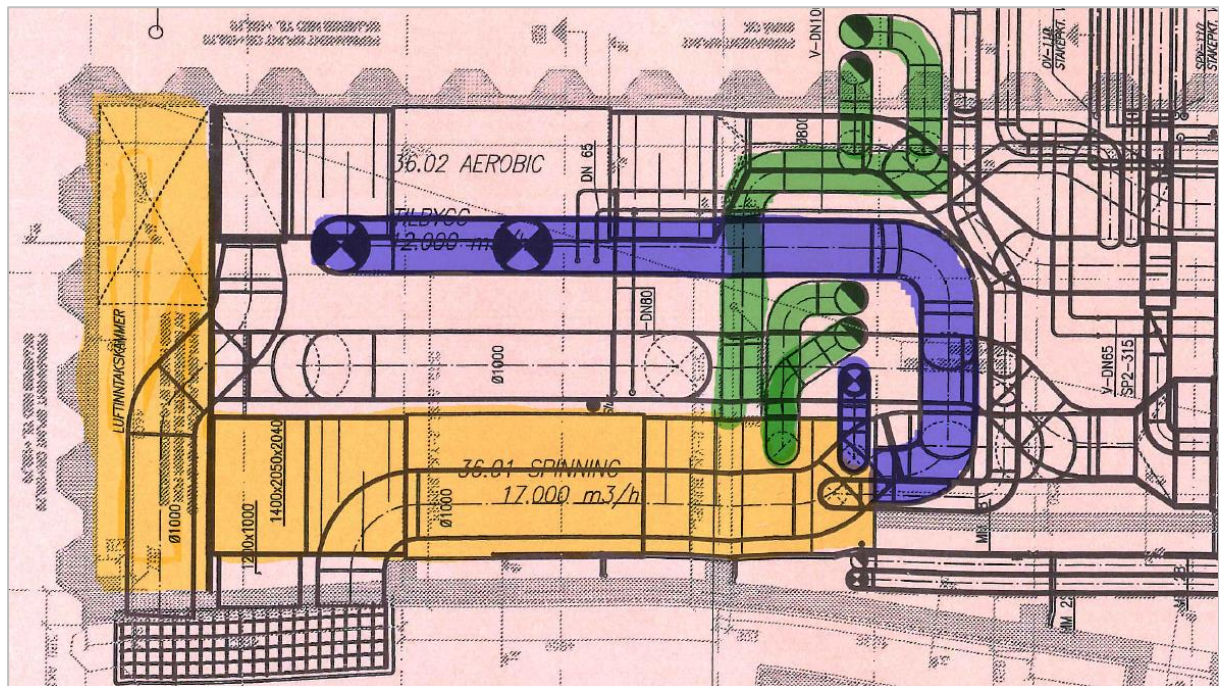
Figur 3-2 Modell 1 av spinningrom



Figur 3-3 Modell 2 av spinningrom

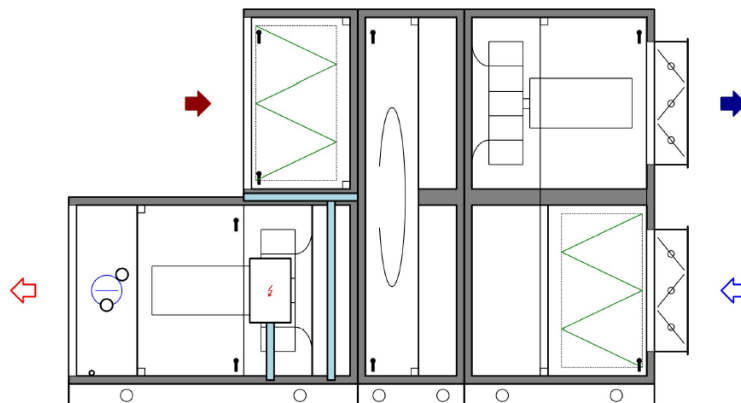


Figur 3-4 Plantegning teknisk rom



Ventilasjonsaggregatet som betjener spinningrommet er dimensjonert for en luftmengde på 17 000 m³/h. Det ventilerer kun dette rommet og er plassert i teknisk rom like under spinningrommet. Aggregatet er utstyrt med filter av type F7 på tilluft og avtrekk, roterende varmegjenvinner og vannbårent kombibatteri for oppvarming eller kjøling av tilluft. Se vedlegg 4 for utklipp fra datablad.

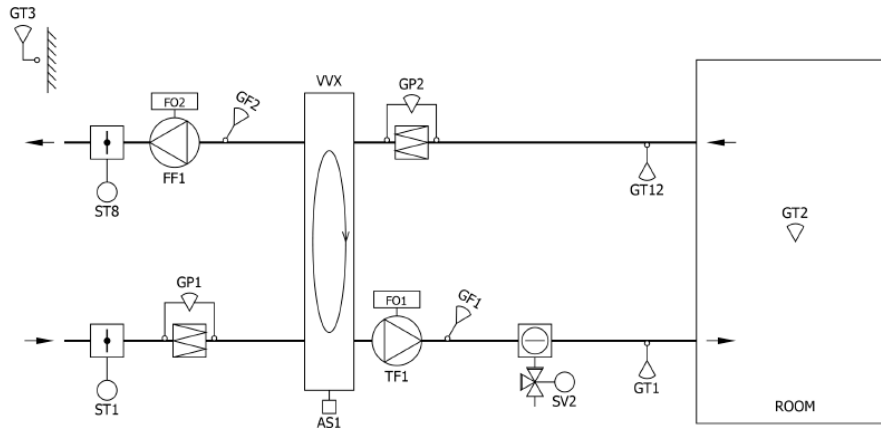
Figur 3-5 Ventilasjonsaggregat



Den roterende varmegjenvinneren er ikke-hygroskopisk og oppgis i leverandørens datablad med blant annet temperaturvirkningsgrad ved 0 °C på 77,7 %, fuktvirkningsgrad om vinteren på 41,7 % og luftstrømsoverføring på 1 021 m³/h etter kjøring for dimensjonert luftmengde

under bestemte forhold. Aggregatet er også utstyrt med automatikkomponenter tilknyttet SD-anlegg. Funksjonsbeskrivelse finnes i databladet.

Figur 3-6 Automatikk



ST indikerer spjeldmotorer, GP indikerer filtervakter, FO indikerer frekvensomformere, GF indikerer luftmengdegivere og GT indikerer temperaturgivere.

Det aktuelle treningscenteret har implementert en oppstartsfunksjon for ventilasjonsanlegget i spinningrommet som fungerer slik at ventilasjonsaggregatet kontinuerlig går på en forhåndsbestemt luftmengde for grunnventilasjon. En spinninginstruktør har videre mulighet til å sette inn et kort som medfører at aggregatet øker luftmengden til 50 % av maksimal ventilasjon i 10 minutter før SD-anlegget tar over reguleringen basert på karbondioksidkonsentrasjon.

3.4 SD-anlegg

Treningscenteret er utstyrt med KNX-basert overvåknings- og styringssystem fra IWMAC. Systemet gir kontinuerlige oppdateringer om ønsket luftmengde, tilført luftmengde, ønsket romtemperatur, tilluftstemperatur, avtrekkstemperatur og konsentrasjon av karbondioksid i spinningrommet. Systemet gir også mulighet til å endre settpunkt for ønsket romtemperatur og luftmengde, samt overstyre tilført luftmengde til en konstant ønsket verdi.

3.5 Måleutstyr

Måleutstyr som ble benyttet til innhenting av data er beskrevet i Tabell 3-6. Serienummer for utstyr og medfølgende prober finnes i vedlegg 6.

Tabell 3-6 Måleutstyr

Apparat	Produsent	Måleparameter	Enhet
EasyLog EL-USB-2	Lascar	Temperatur, relativ fuktighet	°C, %
AeroTrak 9306	TSI	Svevestøv	pt/m ³
VelociCalc 9565-P	TSI	CO ₂ , temperatur, relativ fuktighet	ppm, °C, %

Spinningrommet er også utstyrt med en CO₂- og temperaturmåler av typen Theben AMUN 716 ved ett av avtrekkspunktene. Denne måler minimum karbondioksidkonsentrasjoner opp til 2000 ppm, og data fra denne kan hentes ut fra SD-anlegg. Samtlige måleapparat ble startet omtrent femten minutter før spinningøkta startet og programmert til å utføre målinger hvert tiende sekund. Spinningsyklene i det aktuelle spinningrommet er utstyrt med et digitalt system for logging av blant annet watt med en variasjonsmargin på 10 %. Disse dataene er hentet ut ved hjelp av mobilapplikasjonen «Keiser M Series» utgitt av Keiser Corporation.

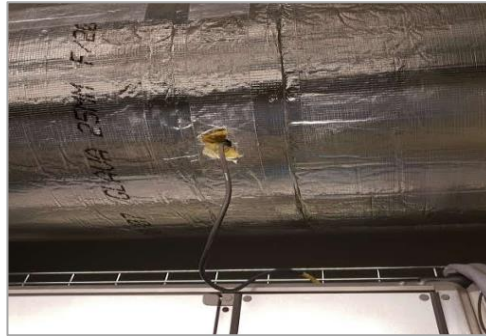
EasyLog EL-USB-2 måler temperatur med 0,5 graders intervaller. Disse ble kalibrert mot hverandre ved å plassere de i et lukket skap under normale forhold for et oppholdsrom. Det ble ikke funnet måleavvik utover oppgitt feilmargin for måleutstyret og innhentet data er derfor benyttet slik måleutstyret angir. AeroTrak 9306 ble kalibrert før hvert forsøk slik det angis i instruksjonsbok ved at en medfølgende tube kobles på og testmåling gjøres. Testmålingen skal da gi 0 målte partikler, noe den gjorde hver gang. VelociCalc 9565-P ble kalibrert ved å måle karbondioksidkonsentrasjon utendørs for å se om målingen ga store avvik fra normale verdier på omtrent 400 ppm, noe det ikke gjorde. Denne kalibreringen er veldig grov, og måleavvik må sies å være ukjent. Målinger benyttes derfor i hovedsak til analyse av trender.

3.6 Kontrollmåling ventilasjonsaggregat

På grunn av at aggregatet er oppgitt med en luftstrømsoverføring tilsvarende omtrent 6 % ved leverandørens kjøring ble det utført kontrollmålinger for smitte av fukt og karbondioksid fra avtrekk til tilluft. Kontrollmålingene ble utført med VelociCalc 9565-P. Medfølgende TSI måleprobe for karbondioksid og målepinne for temperatur og relativ fuktighet ble benyttet. Det var begrenset plass rundt avtrekkskanalene, og det ble derfor gjort kontrollmåling på én av fire kanaler. Det må derfor regnes med en viss unøyaktighet knyttet til disse målingene. Målingen av karbondioksid ble utført ved at en slange påkoblet måleproben ble ført inn i

eksisterende målehull i avtrekks- og tilluftskanal i teknisk rom. I tillegg ble utekonsentrasjonen målt i luftinntaket. Relativ fuktighet ble målt på samme vis med målepinnen.

Figur 3-7 Stikkprøve i tilluftskanal



3.7 Databehandling

Alle måleresultatene ble samlet i regneark, hvor data fra hvert måleinstrument er presentert ved de samme tidspunktene. Det ble beregnet gjennomsnittsverdier mellom de ulike sjikthøydene for temperatur- og relativ fuktighetsmålinger. Dette er gjort for at dataene skal representere utviklingen i oppholdssonen best mulig. I regnearkene for måldata er det generert beregningsformler for massetetthet, entalpi, metningstrykk, partialtrykk, spesifikk fuktighet og absolutt fuktighet til videre bruk i oppgaven. Disse beregningene er gjort basert på følgende formler og formlene presentert i kapittel 2.4:

$$\rho_{\text{luft}} = \frac{p_0}{R_s \cdot (T + 273,15)} = \frac{p_0}{287 \cdot (T + 273,15)} \quad (\text{kg/m}^3) \quad (18)$$

$$x = W \cdot \rho_{\text{luft}} \cdot 1000 \frac{\text{g luft}}{\text{kg luft}} \quad (\text{g/m}^3) \quad (19)$$

der R_s er den spesifikke gasskonstanten lik $287 \text{ J}/(\text{kg}\cdot\text{K})$, ρ_{luft} er massetetthet til luft (kg/m^3), p_0 er atmosfæretrykk (Pa), W er spesifikk fuktighet (g/g) og x er absolutt fuktighet (g/m^3).

Alle beregninger og grafer som presenteres er basert på disse regnearkene. Figur 3-8 viser hvordan diverse parametere er beregnet med henvisning til formler i denne oppgaven.

Figur 3-8 Illustrasjon av regneark

Dato/kl.	Tid (min.)	Celsius(°C)	Fuktighet(%rh)	Metningstrykk vann damp, p_sat	Partialtrykk vann damp, p	Spesifikk fuktighet, W (g vand damp/kg luft)	Massetetthet luft, ρ_{luft} (kg luft/m ³ luft)	Absolutt fuktighet, x (g vand damp/m ³ luft)
14.03.2018 20:51	6	20.688	22.38	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:51		20.688	22.38	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:51		20.688	22.50	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:51		20.688	22.63	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:51		20.688	22.63	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:51		20.688	22.31	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:52	7	20.688	22.63	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)
14.03.2018 20:52		20.688	22.56	(8)	(7)	(6)*1000	(16)	(17)

Det er ønskelig å se på resultatene fra støvmålingene i en annen enhet enn det som tas ut fra måleapparatet. Det er derfor gjort omregning fra konsentrasjon angitt i partikkelformen pt/m^3 til masseform i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Det tas utgangspunkt i at en partikkel har volum som en kule. I tillegg er det benyttet en gjennomsnittlig massetetthet for støvpartikler på $2,66 \mu\text{g}/\text{cm}^3$ (*Particle Density*, u.å.).

$$V_{\text{partikkel}} = \frac{4}{3} \pi r^3 \quad (\text{m}^3)$$

$$\rho_{\text{masse}} = 2,66 \cdot 10^6 \cdot \frac{1}{(10^{-2})^3} = 2,66 \cdot 10^{12} \quad (\mu\text{g}/\text{m}^3)$$

$$\text{masse}_{\text{partikkel}} = \rho_{\text{masse}} \cdot V_{\text{partikkel}} \quad (\mu\text{g})$$

$$y \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} = x \frac{\text{pt}}{\text{m}^3} \cdot 2,66 \cdot 10^{12} \frac{\mu\text{g}}{\text{m}^3} \cdot \frac{4}{3} \pi r^3$$

der ρ_{masse} er masse per kubikkmeter luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), y er konsentrasjon i masse per kubikkmeter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$), x er partikler per kubikkmeter (pt/m^3) og r er partikkelens radius (meter).

Antall målte partikler oppgis i størrelsesintervaller. For å sammenligne resultatene mot anbefalingene ble øvre verdi i hvert intervall benyttet som partikkeldiameter. Dette gjøres for å være helt sikker på at man ikke overskrider anbefalte verdier. I måleresultatene ble verdier under $3 \mu\text{m}$ summert og presentert som $\text{PM}_{2,5}$. Verdier fra $3 \mu\text{m}$ til $10 \mu\text{m}$ ble summert og presentert som PM_{10} .

(blank side)

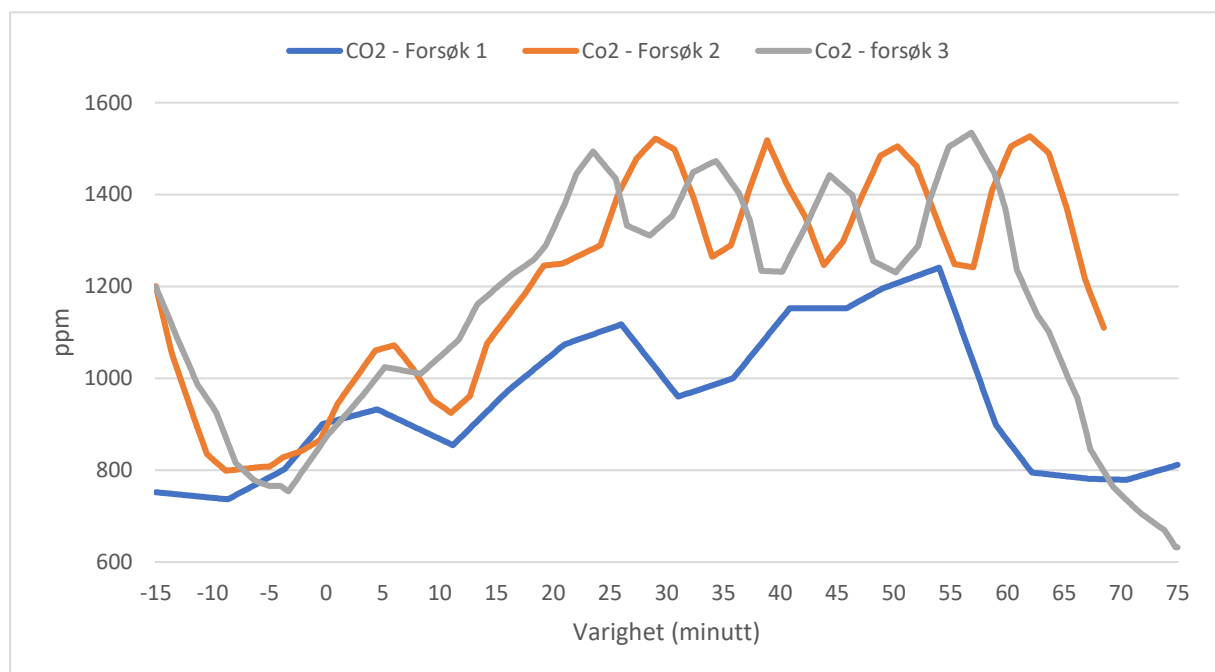
4 Resultat

Forsøkene hadde som hensikt å indikere hvordan ulike innklimaparametere oppfører seg ved en bestemt luftmengde i løpet av en spinningøkt. Grafer som blir presentert i dette kapittelet viser varighet for forsøket i minutter langs horisontalaksen, hvor spinningøkta etter planen skulle starte ved $t = 0$ og slutte ved $t = 60$. Det ble en forskyvning mellom forsøkene, beskrevet i kapittel 3.1, slik at forsøk 2 startet ved $t = 5$ og forsøk 3 startet ved $t = 10$.

4.1 Konsentrasjon av karbondioksid

Målinger for luftmengde og konsentrasjon av karbondioksid er hentet fra SD-anlegg. Det kommer frem av figurene at kurvene for konsentrasjon av karbondioksid har en tilnærmet identisk trend i forsøk 2 og forsøk 3, selv om luftmengdene er ulike. Forskjellen i luftmengde vises derimot ved at de fleste toppunktene for målingene fra forsøk 3 er lavere enn forsøk 2. Forsøk 1 har betydelig lavere konsentrasjon av karbondioksid enn 2 og 3. Forsøket hadde færre deltakere, ble gjennomført med høy intensitet og betydelig større luftmengde. Det er derfor ikke direkte sammenlignbart med de to andre forsøkene.

Figur 4-1 CO₂-konsentrasjon ved forsøk

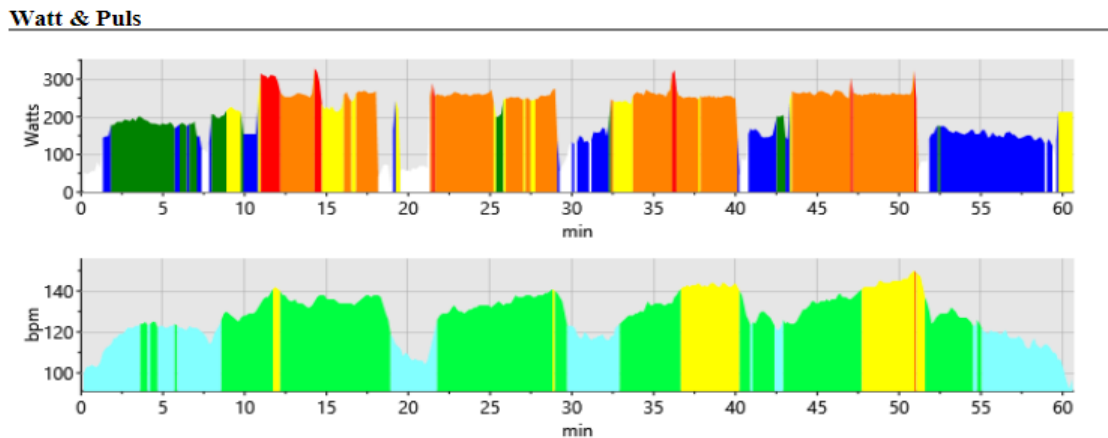


Høyeste målte karbondioksidkonsentrasjon i forsøk 1 var 1241 ppm etter 54 minutter. Konsentrasjonen oversteg 1000 ppm omtrent 50 % av tiden. I forsøk 2 og 3 steg karbondioksidkonsentrasjonen raskt og oversteg 1000 ppm gjennom hele økta etter

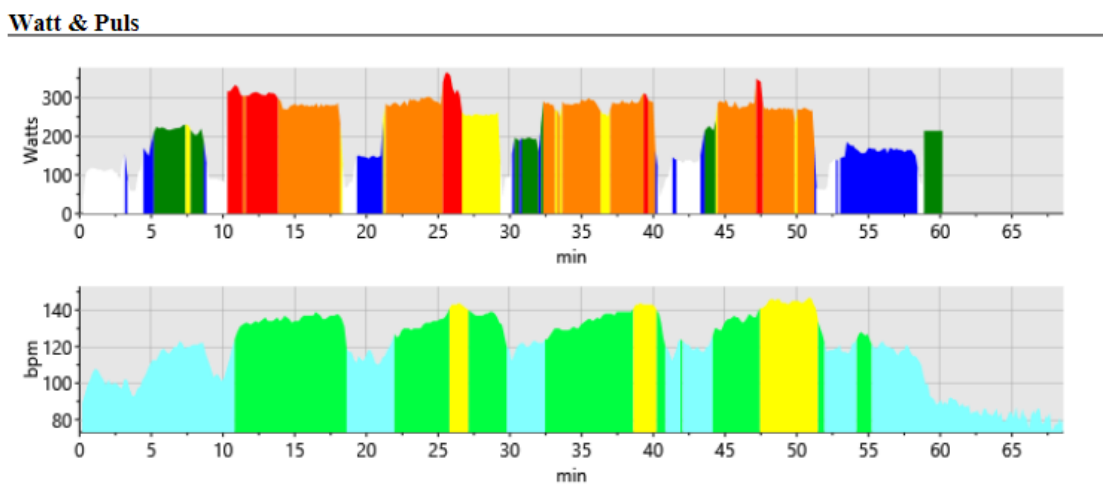
oppvarmingen. I forsøk 2 var høyeste karbondioksidkonsentrasjon 1521 ppm etter 63 minutter. I forsøk 3 var høyeste måling 1534 ppm etter 56 minutter.

Kurvene som viser konsentrasjon av karbondioksid kan ses i sammenheng med gjennomføringen av økta. Utførelsen av de ulike øktene kan ses i Figur 4-2 og Figur 4-3, hvor watt og hjerterefrekvens i bpm («beats per minute») presenteres som funksjoner av øktas varighet.

Figur 4-2 Intervalloversikt forsøk 2



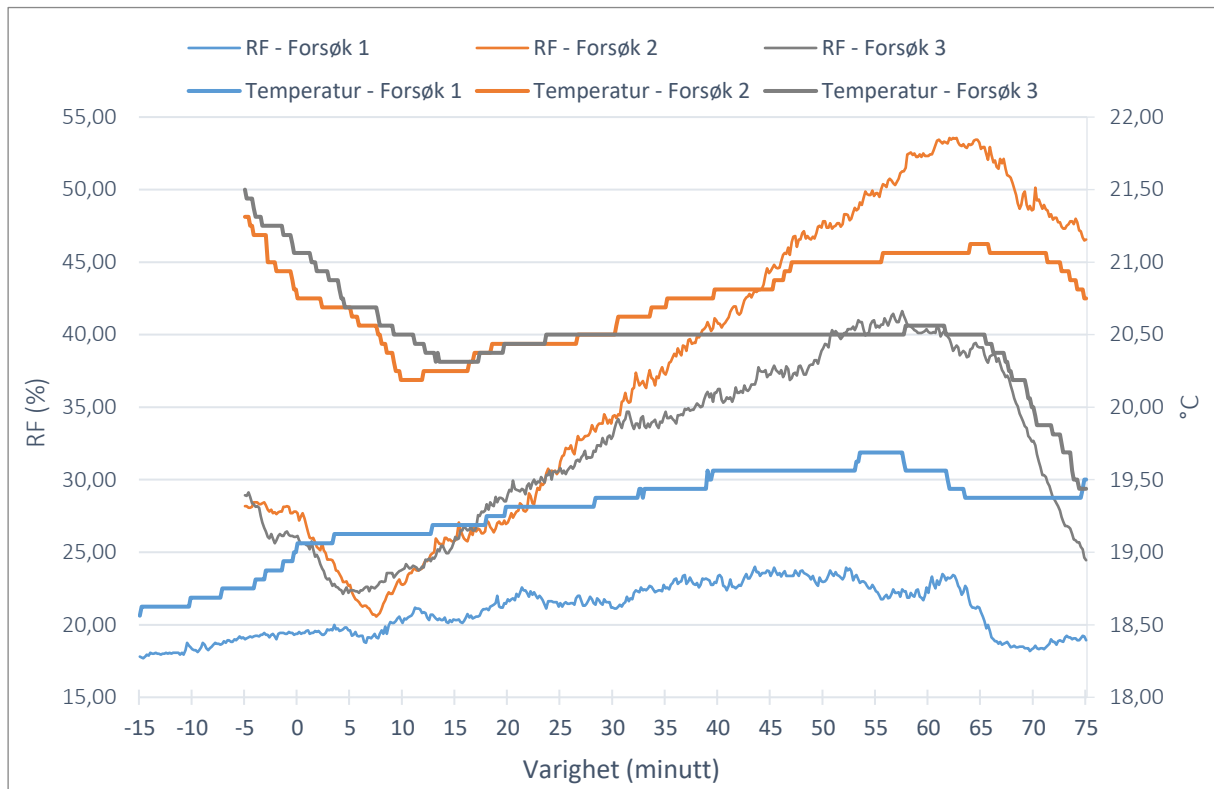
Figur 4-3 Intervalloversikt forsøk 3



4.2 Temperatur og relativ fuktighet

Målinger for temperatur og relativ fuktighet er presentert i Figur 4-4 med vertikal primærakse for relativ fuktighet og sekundærakse for temperatur.

Figur 4-4 Temperatur og relativ fuktighet

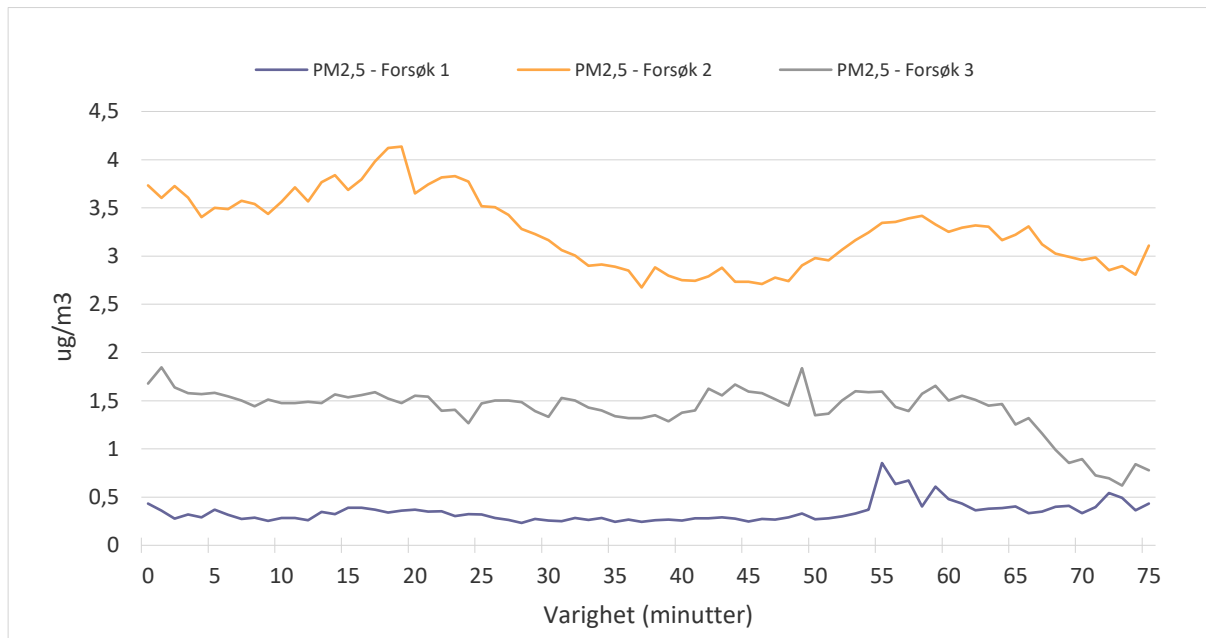


Både temperatur og relativ fuktighet var betydelig lavere i forsøk 1 enn i de to andre forsøkene. Høyeste målinger under forsøk 1 var 19,7 °C og 23 % relativ fuktighet. De høyeste målingene i løpet av alle forsøkene, både for temperatur og relativ fuktighet, ble målt i forsøk 2. Der var høyeste temperatur 21,2 °C og høyeste relative fuktighet 54 %. Målte verdier under forsøk 3 ligger mellom verdiene fra forsøk 1 og 2. Temperaturen i forsøk 3 er relativt stabil ved 20,5 °C og den relative fuktigheten når et toppunkt på 41 %.

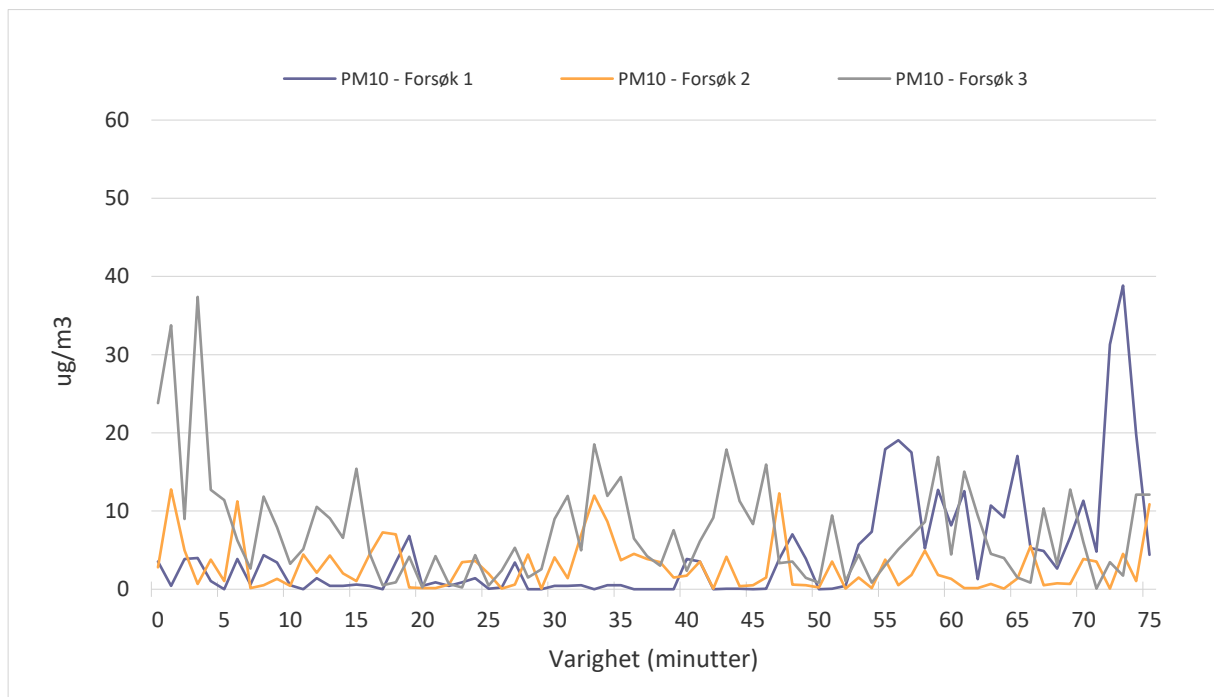
4.3 Svevestøv

Målte støvkonsentrasjoner er konvertert til $\mu\text{g}/\text{m}^3$ og summert etter størrelsesintervaller slik det er beskrevet i kapittel 2.7. Resultatene er presentert i grafer inndelt etter partikkelstørrelse.

Figur 4-5 Konsentrasjon $\text{PM}_{2,5}$ under forsøk



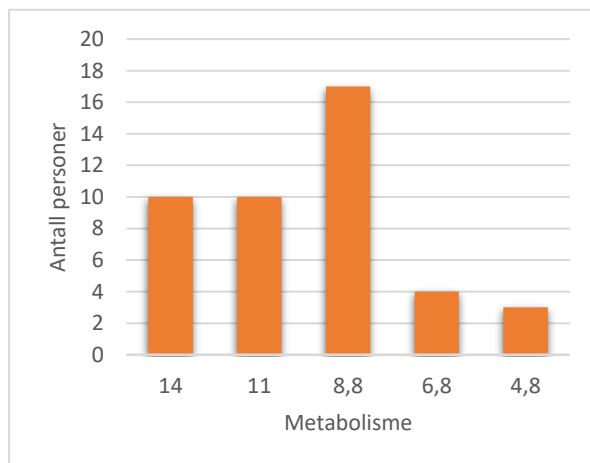
Figur 4-6 Konsentrasjon PM_{10} under forsøk



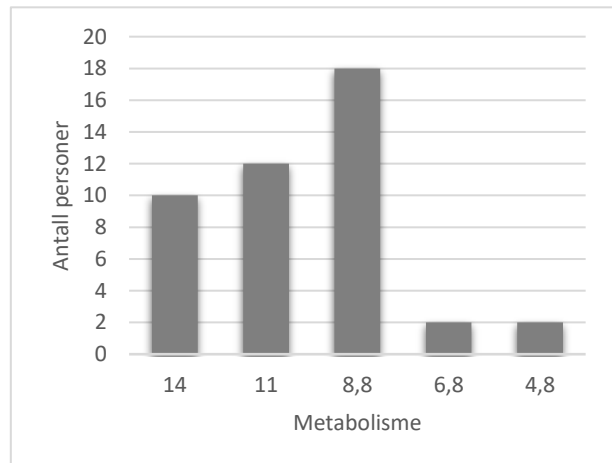
4.4 Metabolisme og watt

I dette kapitlet er data fra «Keiser M Series» presentert. For å angi metabolismen er det benyttet tabellverdier for metabolisme basert på produsert effekt angitt i watt (Herrmann, 2014). Resultatene av dette er sortert i Figur 4-7 og Figur 4-8. En slik bestemmelse av metabolismen medfører at alle som produserer en effekt innenfor et visst intervall vil få den samme estimerte metabolismen.

Figur 4-7 Metabolisme forsøk 2



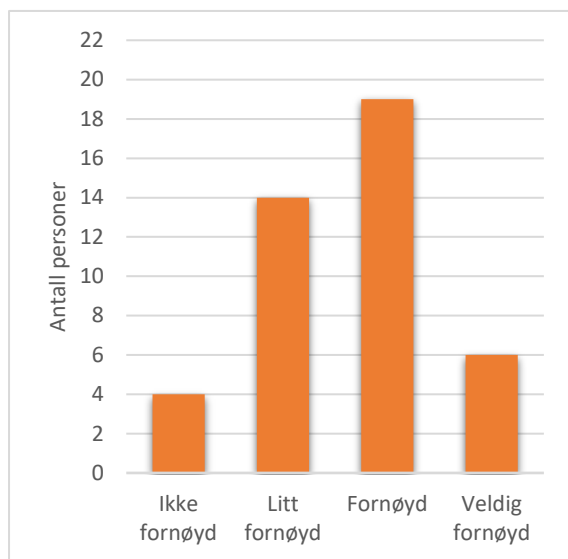
Figur 4-8 Metabolisme forsøk 3



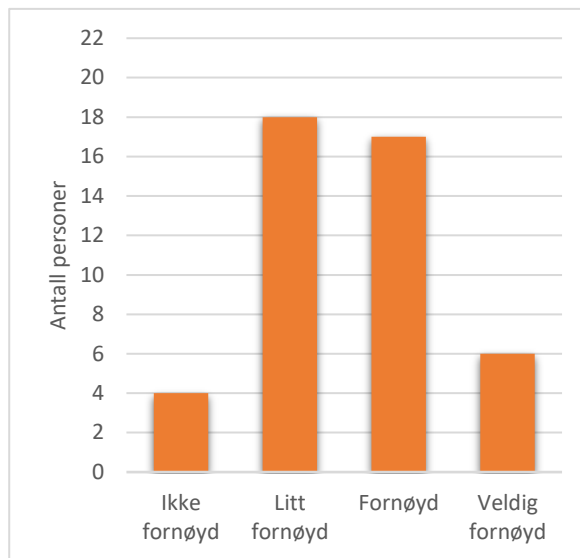
4.5 Spørreundersøkelse

Skjemaet som ble brukt til spørreundersøkelsen består av fire avkryssningsspørsmål og ett fritekstspørsmål. Skjemaet kan ses i vedlegg 3. Avkryssningen har en vurderingsskala med trinnene «Ikke fornøyd», «Litt fornøyd», «Fornøyd» og «Veldig fornøyd». I og med at trinnene i skalaen er delt opp i grader av fornøyd, må det ved vurdering av resultatene tas hensyn til at resultatene ikke er fullstendig representative for hvor misfornøyd deltakerne er. Spørreundersøkelsen ble gjennomført etter forsøk 2 og 3, og innsamlet data er presentert i diagrammer. Kommentarer og fritekstspørsmålet er på grunn av for få svar ikke benyttet i oppgaven.

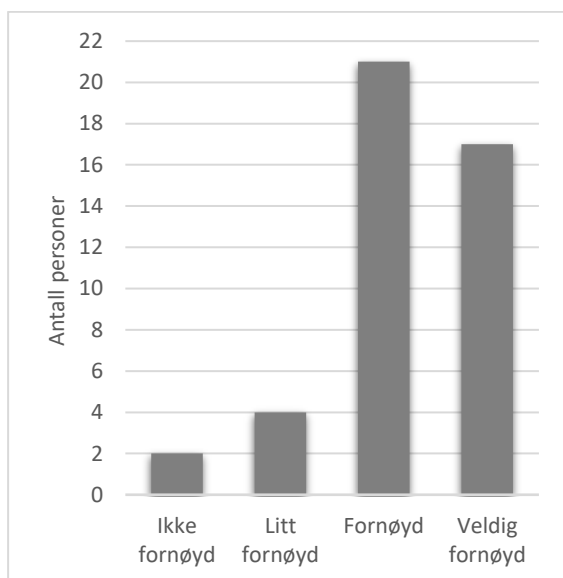
Figur 4-9 Vurdering temperatur forsøk 2



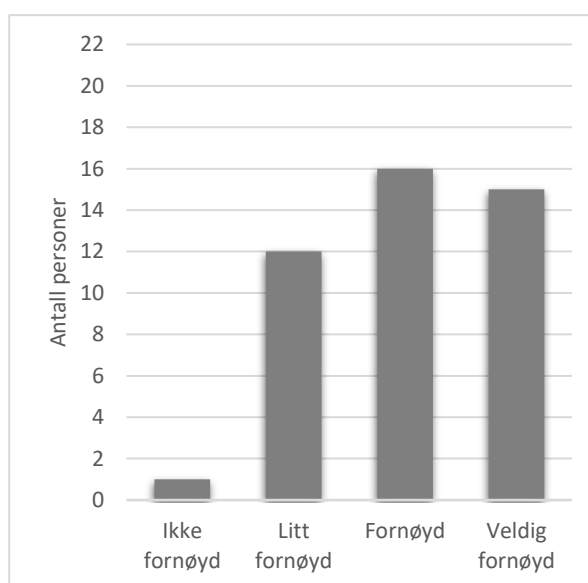
Figur 4-10 Vurdering luftkvalitet forsøk 2



Figur 4-11 Vurdering temperatur forsøk 3



Figur 4-12 Vurdering luftkvalitet forsøk 3



4.6 Kontrollmåling ventilasjonsanlegg

Kontrollmålingen ble utført slik den er beskrevet i kapittel 3.6. Målingen ble gjort under en spinningøkt med tilsvarende varighet som forsøk 2 og 3. Økten har ikke samme intensitet som forsøkene, og målinger brukes derfor kun som en stikkprøve for å undersøke om smitte forekommer. Resultatene er presentert for ulike luftmengder for å se om det er betydelige forskjeller mellom disse. Målingene viser at smitte forekommer, og dette må tas med i videre vurderinger.

Tabell 4-1 Stikkprøve CO₂

Målepunkt CO ₂	6700 m ³ /h	10150 m ³ /h
Inntaksrom	380 ppm	380 ppm
Avtrekkskanal	670 ppm	1100 ppm
Tilluftskanal	600 ppm	760 ppm
Måling fra SD	530,9 ppm	626 ppm

Tabell 4-2 Stikkprøve relativ fuktighet

Målepunkt RF	6700 m ³ /h	10150 m ³ /h
Inntaksrom	-	34 %
Avtrekkskanal	-	48,3 %
Tilluftskanal	-	40,7 %

(blank side)

5 Diskusjon

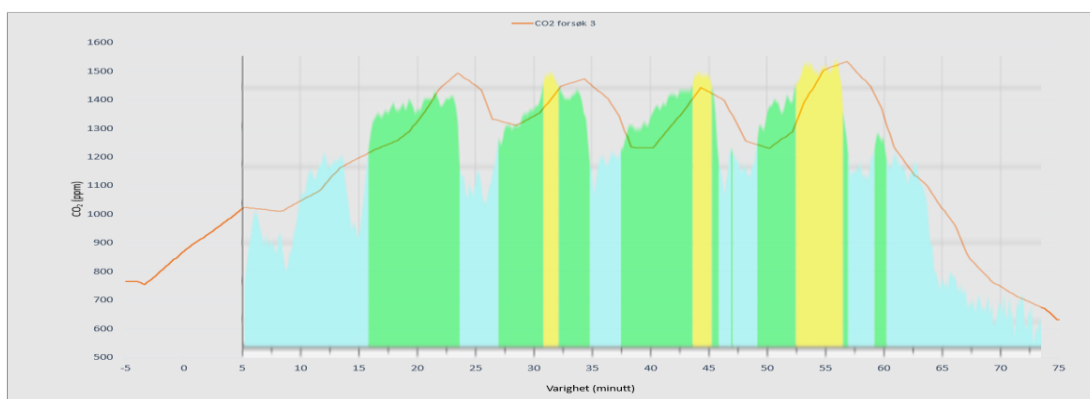
5.1 Utvikling av inneklimateparametere under forsøk

Resultatene for målinger av karbondioksidkonsentrasjon under forsøkene tyder på at karbondioksid ikke er en god indikator for luftkvaliteten i spinningrom. Under forsøkene kommer det frem at sammenhengen mellom endring i luftmengde og variasjon i relativ fuktighet og temperatur er mer interessant for vurdering av inneklimate enn sammenhengen mellom endring i luftmengde og endringen i konsentrasjon av karbondioksid. Ved å sammenligne utviklingen av karbondioksidkonsentrasjonen i forsøk 2 og 3 med intensiteten til spinningutøverne ser man at konsentrasjonen av karbondioksid har en direkte sammenheng med intensiteten.

Figur 5-1 CO₂ og puls forsøk 2



Figur 5-2 CO₂ og puls forsøk 3



Figur 5-1 og Figur 5-2 viser sammenhengen mellom karbondioksid og pulsnivået til instruktøren, justert med hensyn til de ulike starttidspunktene. I figurene vises det at karbondioksidkonsentrasjonen reagerer raskt i takt med intensiteten, og man kan se at

intensiteten i forsøk 2 og forsøk 3 var tilnærmet lik. Øverste horisontallinje representerer 140 bpm i begge figurene.

Forsøk 2 og 3 har de samme forutsetningene med likt antall deltakere og tilnærmet lik intensitet. Resultatene i Figur 4-1 viser at målte toppunkt for karbondioksid under intervallene i forsøk 3 varierer med å ligge opptil 7 ppm over og 45 ppm under toppunktene fra forsøk 2. Et ventet resultat ville vært en større senkning i konsentrasjon av karbondioksid i forsøk 3 på grunn av økning i luftmengde. Forventet karbondioksidkonsentrasjon kan beregnes basert på formel 4:

$$C_{\text{rom}} = \left(\frac{\dot{V}_{\text{CO}_2}}{q_p} \cdot 10^6 \right) + C_o \quad (\text{ppm})$$

Gjennomsnittlig produsert effekt ved tidspunktet for maksimal karbondioksidkonsentrasjon tilsvarer en metabolisme på 14. Produksjonen av karbondioksid beregnes med både metode 1 og metode 2. Forventet endring i maksimal konsentrasjon fra forsøk 2 til forsøk 3 kan dermed estimeres ut i fra disse forutsetningene.

Tabell 5-1 Forventet karbondioksiddifferanse ved endring av luftmengde

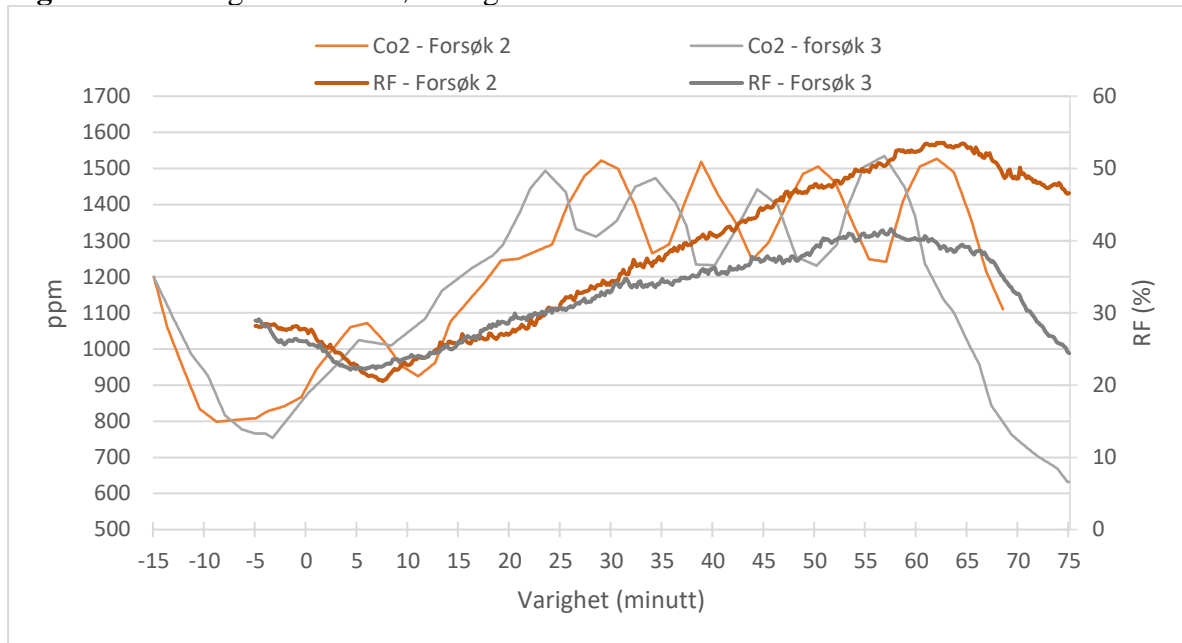
Forsøk	C _{rom} ved met 14 (ppm)		
	Forventet karbondioksidkonsentrasjon		
	Metode 1	Metode 2	Høyeste måling
Forsøk 2	1469	1306	1521
Forsøk 3	1260	1128	1534
Differanse	209	178	13

Slik Tabell 4-1 og Tabell 4-2 viser, ble det avdekket smitte av både fuktighet og karbondioksid mellom tilluft og avtrekksluft. Dette gjør at den forventede differansen i foregående utregning blir misvisende, da målt karbondioksidsmitte ser ut til å øke ved økende luftmengde. Man kan altså ikke i dette tilfellet estimere forventet konsentrasjon med god sikkerhet kun basert på parameterne i formlene. Det er ikke mulig å avdekke i ettertid hvor stor smitten var under forsøkene uten å gjennomføre disse på nytt. Måleresultatene for karbondioksidkonsentrasjon brukes derfor uten korreksjoner videre i oppgaven, men med det forbehold at nøyaktige konsentrasjoner mest sannsynlig ikke er helt korrekte.

Selv om verdiene for karbondioksidkonsentrasjon ikke kan brukes med nøyaktighet kan trenden i kurvene benyttes. For å bestemme hvilke inneklimateparametere som er hensiktsmessige å vurdere for dimensjonering av luftmengde bør trendene for karbondioksidkonsentrasjon, temperatur og relativ fuktighet vurderes opp mot hverandre. Måleresultatene viser at

karbondioksid følger aktivitetsnivået til spinningutøverne, men at temperatur og relativ fuktighet stiger. Dette er særlig tydelig ved å sammenligne utviklingen av karbondioksid og relativ fuktighet. Figur 5-3 presenterer resultater fra forsøk 2 og 3.

Figur 5-3 CO2 og RF ved forsøk 2 og 3



Måleresultatene viser en tydelig økning i luftas relative fuktighet under økta. Dette skjer som følge av at spinningutøverne svetter og puster ut fuktig luft. Den fuktige luften som pustes ut vil blande seg med tilført luft samtidig som at svetten vil fordampe. Luftas absolute fuktighet vil dermed øke. Spinningutøverne produserer svette raskere enn tiden det tar for å fordampe denne væsken. Det medfører at det legger seg svette i væskeform rundt deltakerne i tillegg til at svetten tas opp i klær og håndduker. Dette betyr at luften i rommet vil ha en kontinuerlig fukttilførsel så lenge det er væske tilgjengelig som kan fordampe.

Når den produserte fukten fjernes fra rommet gjennom avtrekket vil dette påvirke fuktinnholdet i tilluften. Varmegjenvinneren i aggregatet har en oppgitt fuktvirkningsgrad på 41,7 %, noe som betyr at ved prosentvis økning av fuktinnhold i avtrekket vil fuktinnholdet i tilluften også endre seg. Utleddet fra formel 16 blir fuktinnhold i tilluften:

$$x_2 = \eta_x \cdot (x_3 - x_1) + x_1 = \eta_x \cdot x_3 + x_1 \cdot (1 - \eta_x)$$

Ved en økning av fuktinnhold i avtrekket med α % blir endringen i fuktinnhold i tillufta:

$$\Delta x_2 = x_{2_2} - x_{2_1} = \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \cdot \eta_x \cdot x_3 + x_1 \cdot (1 - \eta_x) - (\eta_x \cdot x_3 + x_1 \cdot (1 - \eta_x))$$
$$\Delta x_2 = \eta_x \cdot x_3 \cdot \left(\frac{\alpha}{100}\right) \quad (\text{g/m}^3) \quad (20)$$

Dette medfører at en økning i luftmengde vil gi mer tilført fuktighet tilbake i rommet. Virkningen av å øke luftmengden i forbindelse med fjerning av uønskede forurensninger i rommet, her i form av fukt, må derfor vurderes med hensyn til fuktsmitten.

I løpet av økta tilføres rommet også varmeenergi fra deltakere. Avhengig av temperaturen på tillufta vil romtemperaturen også endre seg. Forsøkene viser at temperaturen øker i alle forsøkene, og at økningen er størst i forsøk 3 med en endring på 0,94 °C. Når dette knyttes opp mot resultatene i Figur 4-4 ser man at både endring i temperatur og endring i relativ fuktighet er størst når luftmengden er minst. Dette tyder på at et tilstrekkelig antall luftutskiftelser er viktig for å unngå store variasjoner i luftas entalpi.

5.2 Svevestøv under forsøk

I denne oppgaven er det kun støvkonsentrasjoner i tidsrom hvor det oppholder seg folk i lokalet som er interessante. Måleresultatene brukes derfor til å undersøke konsentrasjonene i forhold til faglige normer selv om disse angir årsmiddelverdier.

Sett i sammenheng med anbefalingene fra Folkehelseinstituttet, beskrevet i kapittel 2.7, ligger støvkonsentrasjonene i forsøkene godt under anbefalte nivå på 8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ for $\text{PM}_{2,5}$, selv ved den laveste luftmengden. Den største målte konsentrasjonen for $\text{PM}_{2,5}$ er så vidt over 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Konsentrasjonen av PM_{10} varierer i løpet av forsøkene. Det er vanskelig å avklare i hvilket av forsøkene konsentrasjonen er størst, trolig som et resultat av variasjoner i vasketid, ulik bekledding på deltakere og variasjoner i støvmengde fra uteluften. Folkehelseinstituttet sier også at det ikke er nødvendig å vurdere PM_{10} innendørs, og oppgaven utforsker derfor ikke dette videre.

5.3 Analyse av dagens dimensjoneringsmetode

I rapporten fra Fang, Clausen og Fanger poengteres det at det ikke er tilstrekkelig å kun se på den kjemiske sammensetningen av lufta når det gjelder opplevd luftkvalitet, men at luftas entalpi også må analyseres (Fang, Clausen og Fanger, 1998). Dette underbygges i en annen rapport, hvor det gjennom forsøk kommer frem at luftkvaliteten oppleves som dårligere ved økende fuktighet og økende lufttemperatur som følge av at lufta får en dårligere evne til å kjøle ned luftveiene (Toftum, Jørgensen og Fanger, 1997). Fang, Clausen og Fanger har sett på hvordan temperatur og fuktighet påvirker opplevelsen av inneklimate. I rapporten viser de hvordan disse parameterne blir avgjørende for et godt opplevd inneklimate når den kjølede effekten lufta har på luftveiene avtar i takt med at entalpien i lufta øker. «(...) when the respiratory cooling effect decreases to a certain level, the air will be perceived as very poor whether it is clean or polluted, and increasing the ventilation rate would be a waste of energy without any improvement in perceived air quality.» (Fang, Clausen og Fanger, 1998, s. 88).

Dagens dimensjoneringsmetode for nødvendig luftmengde er basert på veiledende anbefalinger. Til tross for dette anses ifølge Kulturdepartementet anbefalingene ofte som krav og benyttes av bransjen til dimensjonering (Frode Langø, Seniorrådgiver, Kulturdepartementet. Telefonsamtale den 14.05.18 kl. 09.55). I forordet til veilederen for planlegging og bygging fra Kulturdepartementet står det at veilederen ikke er ment å skulle brukes direkte som kravspesifikasjon (Kulturdepartementet, 2016, s. 3). Forfatter av veiledningen, Morten Roa, underbygger dette med å understreke at ventilering av spinningrom må anses som et spesielt tilfelle hvor anbefalte luftmengder kun må anses som veiledende og ikke som krav (Morten Roa, Seniorrådgiver. Telefonsamtale 14.05.18 kl. 10.09). Roa sier videre at anbefalt luftmengde for spinningrom er satt med bakgrunn i at luftmengdene som tidligere ble brukt erfaringsmessig ga dårlig opplevd inneklimate. Det er mulig at dagens anbefaling er en overestimering som følge av dette, men det poengteres også at anbefalingen er ment å gi mulighet for å kunne regulere luftmengden etter behov. Det kommer også frem av samtalen at det i veiledningen ikke er tatt hensyn til om konsentrasjonen av karbondioksid bør kunne tillates å ligge høyere i spinningrom enn i andre arbeids- og publikumsbygninger. Dette tyder på at det er hensiktsmessig å vurdere inneklimate ut ifra andre parametere enn karbondioksid alene, i tillegg til å vurdere hvor godt dimensjoneringsmetoden basert på karbondioksid angir luftmengdebehovet.

For å dimensjonere luftmengder korrekt ut fra karbondioksidkonsentrasjon, kreves det nøyaktige estimeringer av karbondioksidproduksjon og metabolisme da disse faktorene vektet sterkt i dimensjoneringsmetodene. Selv om det er stort fokus på karbondioksid ved en slik dimensjonering er bestemmelsen av metabolisme en veldig avgjørende faktor for hvilken luftmengde som er nødvendig. Metabolismen under spinning er svært høy, noe som gjør leddet for metabolisme i formelen avgjørende. Dette medfører et stort usikkerhetsmoment, da tabellene benytter relativt grove intervaller for produsert mekanisk effekt.

Tabell 5-2 Inndeling av met ved utgangspunkt i watt-intervaller

Intervaller for mekanisk arbeid (watt)	met
30-50	3,5
51-89	4,8
90-100	6,8
101-160	8,8
161-200	11
201-270	14

Verdiene presentert i Tabell 5-2 (Herrmann, 2014), viser at det estimeres samme metabolisme innenfor intervaller med variasjoner opptil 69 watt. Eksempelvis så vil et mekanisk arbeid på 201 watt gi 14 met, mens et arbeid på 200 watt gir 11 met. Denne forskjellen på 1 watt gir hele 21 % forskjell i met. I dagens dimensjoneringsmetode gir en prosentvis økning i metabolisme den samme prosentvise økningen i nødvendig luftmengde, noe som gjør beregningen av nødvendig luftmengde basert på metabolismen svært ømfintlig.

For å kunne sammenligne resultatene med dagens dimensjoneringsmetode er deltagerens gjennomsnittlige metabolisme beregnet for de ulike forsøkene. Resultatet av dette gir en gjennomsnittsmetabolisme for forsøk 2 og 3 tilsvarende den metabolismen som benyttes i Byggforskserien for dimensjonering av luftmengde i spinningrom, vist i kapittel 2.2.

Tabell 5-3 Gjennomsnittlig metabolisme, forsøk 2

Forsøk 2	M = 14	M = 11	M = 8,8	M = 6,8	M = 4,8	Sum
Antall	10	10	17	4	3	44
Produkt	140	110	149,6	27,2	14,4	441,2
Gjennomsnittlig met, forsøk 2						10,03

Tabell 5-4 Gjennomsnittlig metabolisme, forsøk 3

Forsøk 3	M = 14	M = 11	M = 8,8	M = 6,8	M = 4,8	Sum
Antall	10	12	18	2	2	44
Produkt	140	132	158,4	13,6	9,6	453,6
Gjennomsnittlig met, forsøk 3						10,31

Når det gjelder estimering av karbondioksidproduksjon er det interessant å sammenligne de to metodene i kapittel 2.2. Metode 1 settes som referanse og avviket mellom metode 1 og 2 beregnes som differanse fra metode 1. Beregningene gjøres ved $M = 10$, $T = 18$ °C og $P = 101\,235$ Pa. Tabell 5-5 og Tabell 5-6 presenterer differansene ved ulike aldersintervaller og ulike kjønn for spinningutøvere.

Tabell 5-5 CO₂ produsert ved 10 met for utøvere mellom 18 – 60 år

Metode	\dot{V}_{CO_2} (l/s)	Differanse fra metode 1
Metode 1	0,041667	0
Metode 2 mann	0,038412	- 7,81 %
Metode 2 kvinne	0,032156	- 22,82 %
Metode 2 gjennomsnitt	0,035284	- 15,3 %

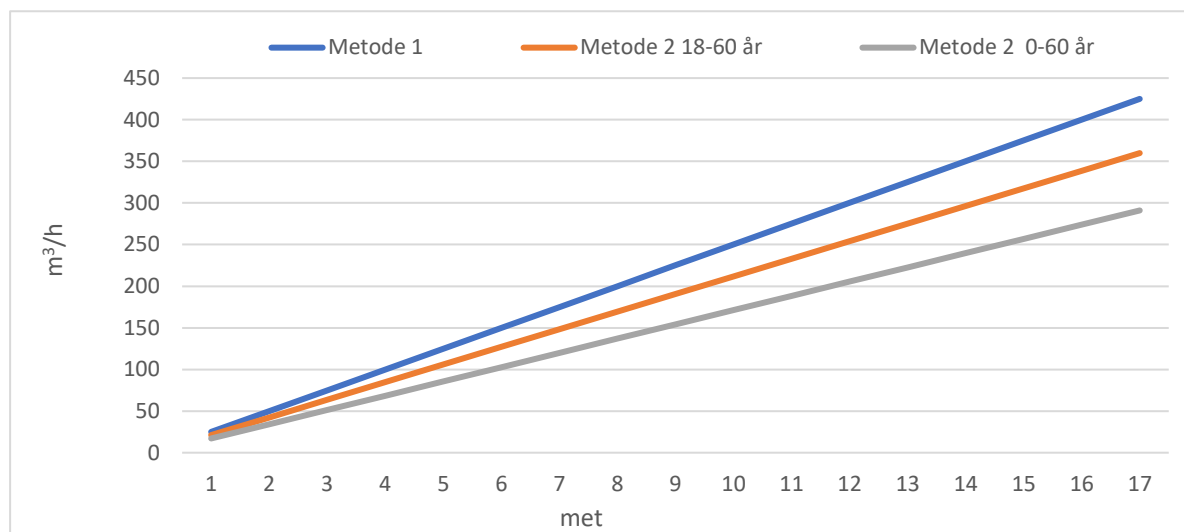
Tabell 5-6 CO₂ produsert ved 10 met for utøvere mellom 0 – 60 år

Metode	\dot{V}_{CO_2} (l/s)	Differanse fra metode 1
Metode 1 gjennomsnitt	0,041667	0
Metode 2 gjennomsnitt	0,02853	- 31,52%

Tabellene viser at estimert karbondioksidproduksjon blir høyere med metode 1 enn metode 2. I en rapport av A. Persily og L. De Jonge kommer det frem at dette også er tilfelle for den amerikanske dimensjoneringsmetoden fra ASHRAE (Persily og de Jonge, 2017, p. 877), hvor den amerikanske metoden overestimerte karbondioksidproduksjonen for unge voksne i Kina (Qi *et al.*, 2014).

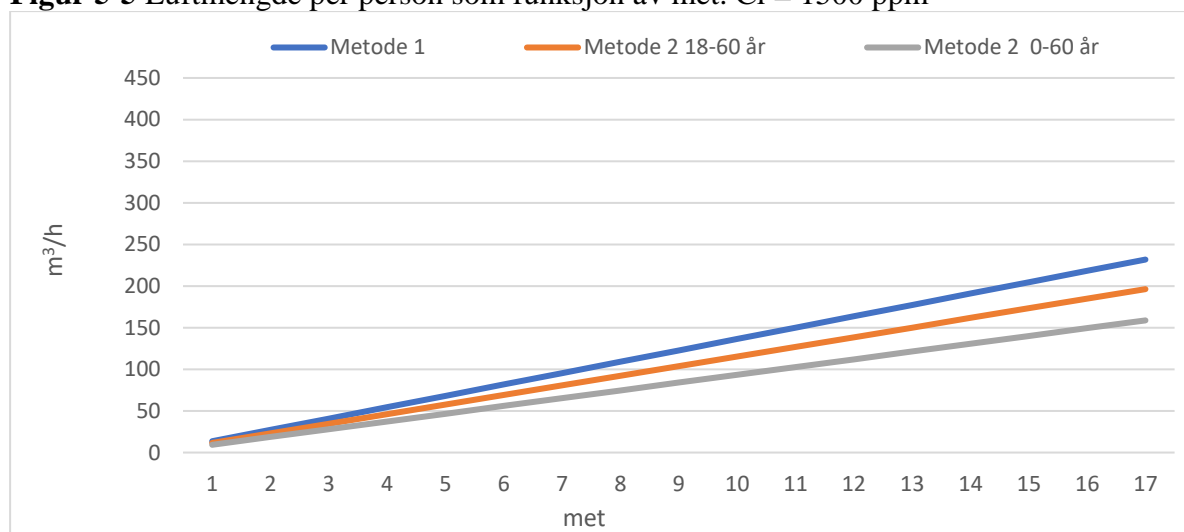
Ved dimensjonering av luftmengde etter formel 4 kan nødvendig luftmengde per person presenteres lineært ved en gitt maksimal konsentrasjon av karbondioksid. Det er interessant å se hvor stor innvirkning valg av estimeringsmetode for karbondioksidproduksjon har på beregning av luftmengden. Figur 5-4 og Figur 5-5 viser derfor denne forskjellen ved maksimal tillatt konsentrasjon på henholdsvis 1000 og 1500 ppm.

Figur 5-4 Luftmengde per person som funksjon av met. $C_i = 1000$ ppm



Figuren illustrerer hvor mye variasjoner i estimeringen av karbondioksidproduksjon har å si for dimensjonering av nødvendig luftmengde. Eksempelvis ved 10 met vil bruk av metode 2, 18-60 år, redusere beregnet nødvendig luftmengde med $38 \text{ m}^3/\text{h}$ per person sett i forhold til metode 1. Metode 2, 0-60 år, gir en reduksjon på $79 \text{ m}^3/\text{h}$ fra metode 1.

Figur 5-5 Luftmengde per person som funksjon av met. $C_i = 1500$ ppm



En økning med 500 ppm i maksimal tillatt konsentrasjon senker luftmengdebehovet betraktelig. Folkehelseinstituttet sier i sin anbefaling (Nasjonalt folkehelseinstitutt, 2015) at grensen for maksimal karbondioksidkonsentrasjon på 1000 ppm ikke skal være absolutt og at praktiske hensyn skal tas. Dette praktiseres ikke i dimensjoneringsmetodene som ligger til grunn for anbefalingene fra Kulturdepartementet (Kulturdepartementet, 2016). Ved bruk av dagens dimensjoneringsmetoder reduseres beregnet nødvendig luftmengde når det tillattes høyere karbondioksidkonsentrasjoner. Forutsetningene for å beregne luftmengde basert på

karbondioksid er at denne gassen har de riktige indikatoregenskapene for å vurdere inneklimaet, og økning av maksimal tillatt konsentrasjon vil basert på dette kunne anses som en selvmotsigelse. Det som likevel er interessant å se er at selv om konsentrasjonene overstiger 1000 ppm i alle forsøkene, vil en beregning med metode 2 ved maksgrense på 1000 ppm gi en nødvendig luftmengde på 212 m³/h per person. Denne luftmengden er i nærheten av det som ble tilført under forsøk 3, hvor omtrent 70 % av deltakerne i spørreundersøkelsen svarte at de var fornøyd eller veldig fornøyd med luftkvaliteten. Dette gjør det hensiktsmessig å undersøke basert på forsøksresultatene om det termiske miljøet er akseptabelt ved denne luftmengden, selv om karbondioksidkonsentrasjonen overstiger maksgrensen under forsøket.

5.4 Opplevd inneklima

Vurdering av opplevd inneklima er individuelt og kan ikke direkte måles, men temperatur og relativ fuktighet anses som viktige faktorer for hvordan inneklimaet oppleves. Når fuktinnholdet i lufta stiger ved konstant temperatur vil lufta ta opp væske saktere (Stensaas, 1999, s. 51). Inneklimaet vil derfor oppleves som varmere da mer svette blir liggende igjen på kroppen uten å fordampe, og man kvitter seg med mindre varmeenergi.

For vurdering av opplevd inneklima er det interessant å sammenligne resultatene fra spørreundersøkelsen med akseptnivå basert på Fang, Clausen og Fangers akseptskala presentert i Figur 2-2. Fordi spørreundersøkelsen hadde andre svaralternativ enn det som benyttes i akseptskalaen antas det i denne oppgaven følgende sammenheng mellom skalaene:

Tabell 5-7 Spørreundersøkelse og akseptnivå

	Ikke fornøyd	Litt fornøyd	Fornøyd	Veldig fornøyd
Akseptnivå	-1	-0,5	0,5	1

Opplevd inneklima i forsøkene kan vurderes ut ifra akseptnivå ved utledning av formel 8. Basert på Figur 4-4 settes Aks_0 som akseptnivå ved $t = 5$ min. Dette estimeres til å være tilnærmet lik 0,8 i og med at rommet er godt utluftet etter forrige økt, men det kan fortsatt bære preg av foregående aktivitet.

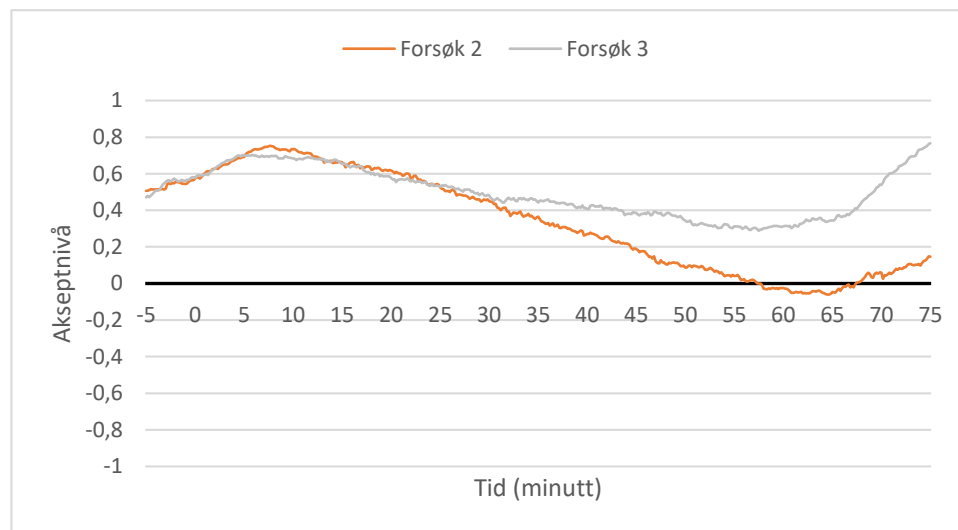
Tabell 5-8 Akseptnivå

	t (min)	$\varphi(t)$ (%)	T(t) (°C)
Forsøk 2	5	22,75	20,69
Forsøk 3	5	22,38	20,69
Gjennomsnitt	5	22,56	20,69

Gjennomsnittlig temperatur og relativ fuktighet innsatt i formel 15 gir $E(t) = 29,47$ kJ/kg. Dette settes inn som referanseentalpi i formel 8:

$$Aks = Aks_0 - 0,0247(E - 29,47) - 0,0416Aks_0(E - 29,47) \quad (21)$$

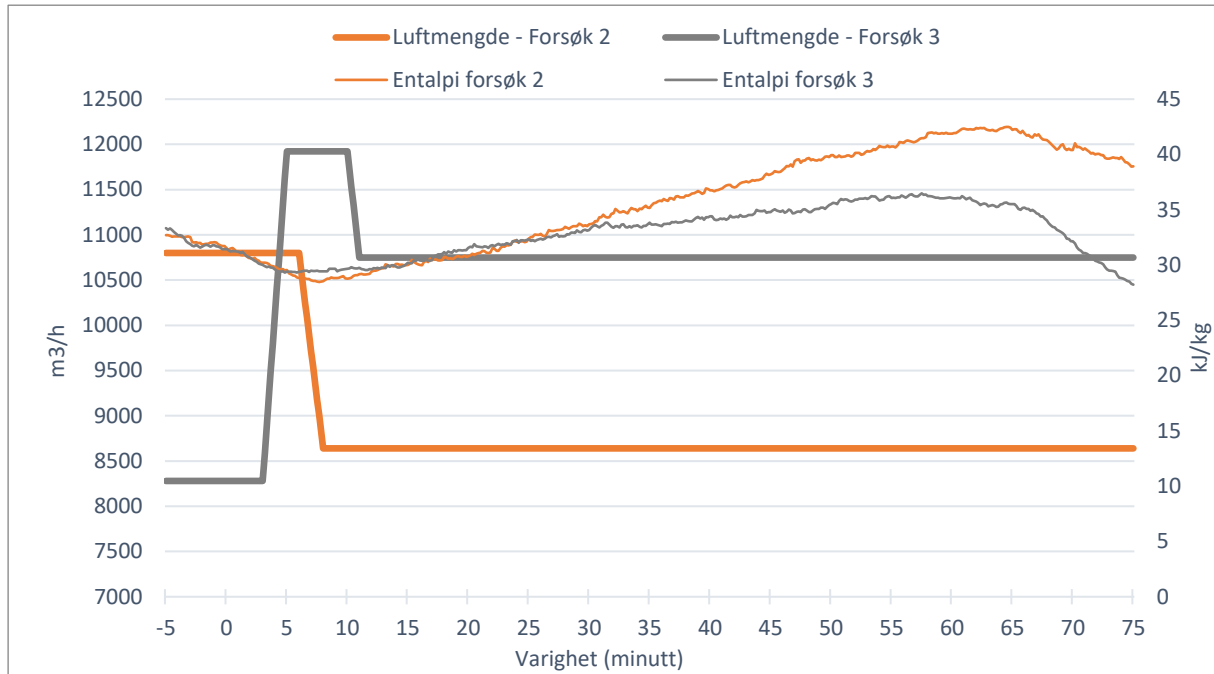
Formel 21 kan dermed benyttes til å beregne akseptnivå som funksjon av tid ved utregning av entalpi ved de ulike tidspunktene.

Figur 5-6 Akseptnivå som funksjon av tid

Det fremgår av Figur 5-6 at inneklimate etter akseptnivåberegning kun anses som uakseptabelt i forsøk 2 ved $57,5 < t < 67,3$. Dette tilsvarer i dette tilfellet en entalpi på 41,46 kJ/kg. Resultatet tyder på at det muligens finnes en entalpigrense som bør vurderes ved dimensjonering av nødvendig luftmengde. Målingene i Figur 4-4 viser at relativ fuktighet stiger tilnærmet lineært i løpet av økta. Når dette sammenlignes med utviklingen av akseptnivået i løpet av den samme tidsperioden, viser trenden at det er mulig å vurdere stigningstallet til fuktighetsgrafen og aktuell temperatur opp mot forventet akseptnivå ved endt økt. Dette betyr at man i teorien kan forutsi om inneklimate er akseptabelt eller ikke, og dermed vurdere om man bør tilføre mer eller mindre luft for eventuelt å endre entalpien.

Ved å følge denne antakelsen videre kan det antas at en luftmengde mellom det som ble tilført i forsøk 3 og i forsøk 2 vil gi en entalpi som gir et akseptert inneklime med relativt god margin. Dette tilsvarer en luftmengde mellom 175 og 223 m³/h per person, slik Tabell 3-2 viser.

Figur 5-7 Entalpi og luftmengde



Figur 5-7 presenterer entalpiendringen ved de ulike luftmengdene. Stigningen på entalpi kurvene øker ved reduksjon av luftmengde.

5.5 Estimering av inneklime ved endt spinningøkt

Basert på vurderinger knyttet til karbondioksid, fuktighet og temperatur ser det ut til at entalpinivået øktas slutt kan estimeres. Ved å sammenligne den estimerte entalpien med maksimal entalpi for godkjent inneklime fra kapittel 5.4, kan man dermed forutsi om rommet er tilstrekkelig ventilert eller om luftmengden må økes.

For å estimere entalpien må enten temperatur og relativ fuktighet, eller absolutt fuktighet ved øktas slutt estimeres. Dette kan gjøres ved å måle temperatur og relativ fuktighet fra et gitt starttidspunkt for økta og i intervaller frem til et gitt måletidspunkt og dermed finne stigningstallet til kurven for relativ eller absolutt fuktighet. Øktas varighet må også være kjent. Med bakgrunn i forsøksresultatene presentert i Figur 4-4 kan utviklingen av relativ og absolutt fuktighet anses som tilnærmet lineær. De lineære kurvene kan finnes ved hjelp av lineær regresjon.

Ved et gitt tidspunkt kan absolutt fuktighet beregnes ved utledning av formel 22 basert på formel 12, 13 og 14.

$$x = 0,622 \cdot \frac{0,01 \cdot \varphi \cdot e^{\left(\frac{23,58 - \frac{4043}{T+273,15-37,58}}{p_0 - 0,01 \cdot \varphi \cdot e^{\left(\frac{23,58 - \frac{4043}{T+273,15-37,58}}\right)}\right)}}{p_0 - 0,01 \cdot \varphi \cdot e^{\left(\frac{23,58 - \frac{4043}{T+273,15-37,58}}\right)}} \cdot \varphi \cdot \rho_{\text{luft}} \cdot 1000 \frac{\text{g}}{\text{kg}} \quad (\text{g/m}^3) \quad (22)$$

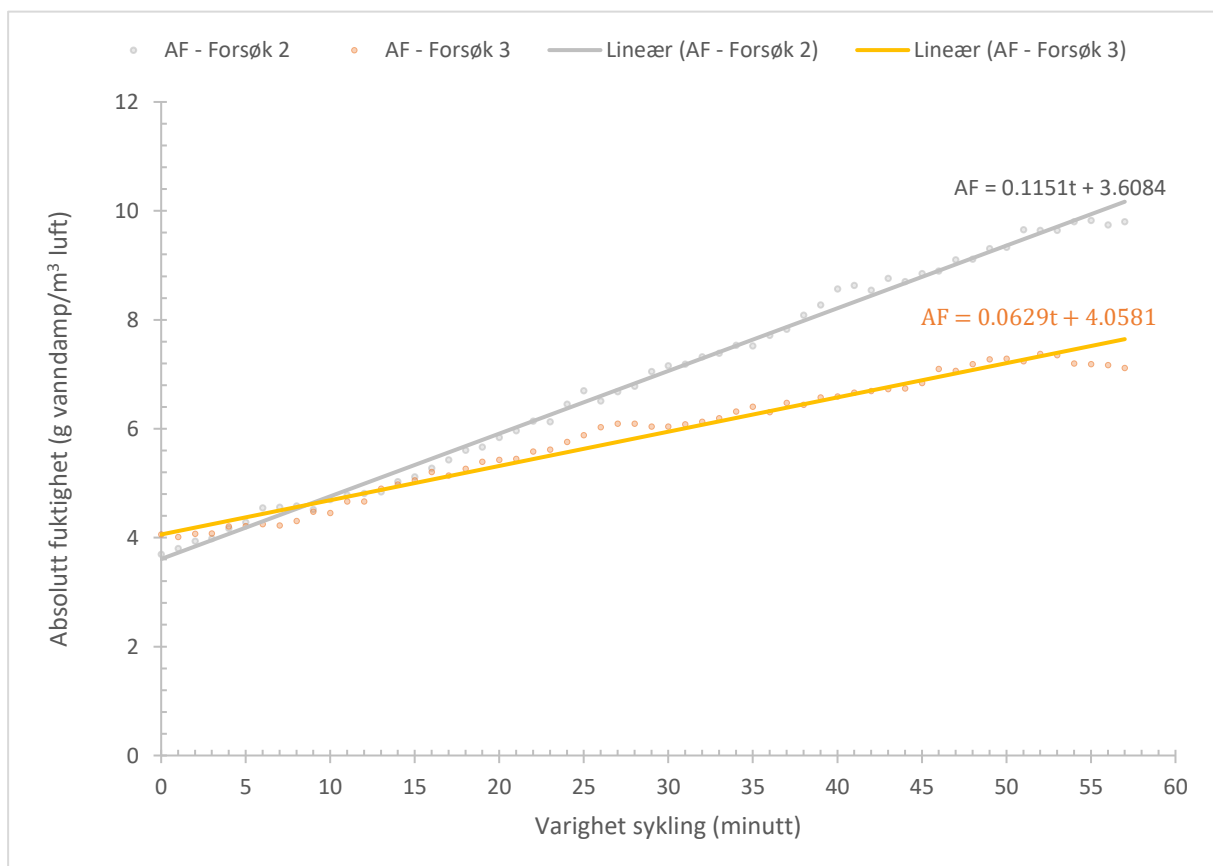
der T er temperatur (°C), p₀ er atmosfæretrykk (Pa), φ er relativ fuktighet (%) og ρ_{luft} er luftas massetetthet (kg/m³).

Videre utledning av formel 22 gir følgende beregning for estimert temperatur ved øktas slutt:

$$T_{\text{slutt}} = \frac{4043}{23,58 - \ln(p_0) + \ln(6,22 \cdot \rho_{\text{luft}} + 0,01 \cdot x_{\text{slutt}}) - \ln(x_{\text{slutt}}) + \ln(\varphi_{\text{slutt}})} - 235,57 \quad (^\circ\text{C})$$

Ved å beregne absolutt fuktighet gjennom forsøk 2 og forsøk 3 kan utviklingen av denne parameteren ved hjelp av lineær regresjon presenteres i et diagram. Utviklingen av absolutt fuktighet presenteres som funksjon av varigheten for spinningøkta, justert for ulike starttidspunkt.

Figur 5-8 Absolutt fuktighet



Atmosfæretrykk og massetetthet luft kan anses som konstanter, og basert på disse likningene kan entalpien ved øktas slutt estimeres basert på formel 9 ut fra følgende lineær regresjon og beregninger basert på: T_0 , T_t , φ_0 , φ_t , Δt , Δt_{slutt} .

$$E_{slutt} = 1,006 \cdot T_{slutt} + \frac{x_{slutt}}{\rho_{luft} \cdot 1000} \cdot (2501 + 1,84 \cdot T_{slutt}) \quad (\text{kJ/kg}) \quad (23)$$

der, x_{slutt} : basert på lineær regresjon fra t_0 til t_t (g/m³)

φ_{slutt} : basert på lineær regresjon fra t_0 til t_t (%)

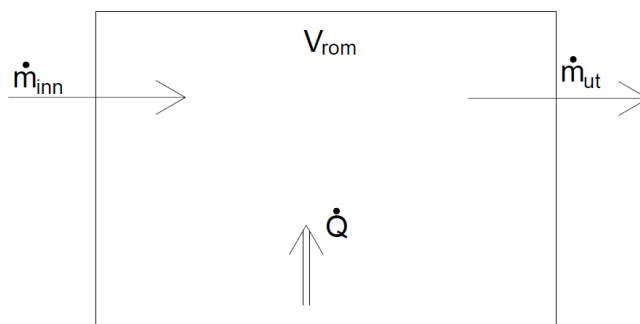
$$T_{slutt} = \frac{4043}{23,58 - \ln(p_0) + \ln(6,22 \cdot \rho_{luft} + 0,01 \cdot x_{slutt}) - \ln(x_{slutt}) + \ln(\varphi_{slutt})} - 235,57 \quad (^\circ\text{C})$$

$$x = 0,622 \cdot \frac{0,01 \cdot \varphi \cdot e^{\left(\frac{23,58 - \frac{4043}{T + 273,15} - 37,58\right)}}}{p_0 - 0,01 \cdot \varphi \cdot e^{\left(\frac{23,58 - \frac{4043}{T + 273,15} - 37,58\right)}}} \cdot \varphi \cdot \rho_{luft} \cdot 1000 \quad (\text{g/m}^3)$$

Denne modellen for estimering av entalpinivå er basert på forsøksresultatene, og det kan derfor ikke sies at den er overførbart til alle spinningøkter uten å gjøre flere undersøkelser.

Basert på entalpinivået er det ønskelig å se på muligheter for regulering av nødvendig luftmengde ut i fra det termiske miljøet i rommet ved et gitt tidspunkt. En massebalanse med fokus på fuktproduksjon settes derfor opp.

Figur 5-9 Illustrasjon massebalanse



Figur 5-9 illustrerer hva som tilføres og fjernes fra spinningrommet. Massestrøm inn, massestrøm ut, romvolum og diverse produksjon fra mennesker er markert i figuren. I denne beregningen skal fuktproduksjon beregnes, og man kan derfor se bort ifra faktorer som bygningskonstruksjon og lyskilder slik man må gjøre hvis modellen skal brukes til energibalanse.

$$\Delta X_{rom} = V_{rom} (x_t - x_0) = \frac{\dot{m}}{\rho_{luft}} \cdot (x_{inn} - x_{ut}) \cdot \Delta t + \beta \cdot n \cdot \Delta t \quad (\text{g vann}) \quad (24)$$

der X er fuktinnhold (gram vann), ρ er massetetthet til luft (kg luft/m³ luft), x er absolutt fuktighet (g vann/m³ luft), \dot{m} er luftmengde (kg/s), t er tid etter start (sekund), n er antall personer og β er mengde vann som tas opp per person per tid (g/(s·pers)).

Det er ønskelig å finne tilført mengde vann i lufta per person per sekund, og det kan antas at absolutt fuktighet i rommet er lik absolutt fuktighet i avtrekk og at massetetthet til luft er konstant lik 1,2 kg/m³.

$$\beta = \frac{V_{\text{rom}}(x_t - x_0) - \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{luft}}} \cdot (x_{\text{inn}} - x_t) \cdot \Delta t}{n \cdot \Delta t} \quad (\text{g vann})$$

Med bakgrunn i at forsøk 2 og forsøk 3 har ulike starttidspunkt settes grensene for beregning ved øktenes start ved henholdsvis 10 og 5 minutter og 50 minutter aktivitet etter dette. Fuktinnhold i tilluft ble ikke målt og aggregatet har ikke logging for dette (Figur 3-6). Det gjøres derfor beregninger for fuktinnhold basert på fuktvirkningsgraden til varmegjenvinneren og gjennomsnittlig absolutt fuktighet inn i rommet kan brukes i beregningen av tilført mengde vann per person.

$$x_{\text{innt}} - x_{\text{inn}_0} = (\eta_x(x_t - x_{\text{ute}}) + x_{\text{ute}}) - (\eta_x(x_0 - x_{\text{ute}}) + x_{\text{ute}}) \quad (\text{g/m}^3)$$

$$x_{\text{innt}} = \eta_x(x_t - x_0) + x_{\text{inn}_0} \quad (\text{g/m}^3)$$

Vannmengden finnes ved å se på hele økta:

$$\beta = \frac{V_{\text{rom}}(x_{\text{slutt}} - x_0) - \frac{\dot{m}}{\rho_{\text{luft}}} \left(\frac{\sum_i x_{\text{inn}_i}}{i} - \frac{\sum_i x_t}{i} \right) \cdot \Delta t_{\text{slutt}}}{n \cdot \Delta t_{\text{slutt}}} \quad (\text{g/(s·pers)})$$

Basert på forsøksresultatene beregnes β for forsøk 2 og forsøk 3. For videre bruk må denne verdien beregnes mer nøyaktig for ulike spinningøktar. Hvordan denne beregningen bør gjøres og hvilke parametere den bør baseres på blir ikke beskrevet i denne oppgaven.

	t_0 (min)	t_{slutt} (min)	β (g/(s·pers))	n (pers)
Forsøk 2	10	60	0,1117	44
Forsøk 3	5	55	0,0919	44

Da forsøkene har noe variasjon i deltakere, intensitet og temperatur blir også fuktproduksjonen per person ulik. I hvilken grad de ulike parameterne påvirker væskeoptaket i lufta vurderes ikke her, og β brukes til videre beregning uten korreksjoner.

Når fukttilførselen er beregnet kan det estimeres hvilken luftmengde som trengs for å holde entalpinivået under en ønsket grense.

$$\begin{aligned} \dot{m} &= \frac{\rho_{\text{luft}} \cdot (V_{\text{rom}} \cdot (x_t - x_0) - \beta \cdot n \cdot \Delta t)}{\Delta t (x_{\text{inn}} - x_{\text{ut}})} && (\text{kg/s}) \\ \dot{V} &= \frac{\rho_{\text{luft}} \cdot (V_{\text{rom}} \cdot (x_t - x_0) - \beta \cdot n \cdot \Delta t)}{\Delta t (x_{\text{inn}} - x_{\text{ut}})} \cdot \frac{3600 \frac{\text{s}}{\text{h}}}{\rho_{\text{luft}}} && (\text{m}^3/\text{h}) \\ \dot{V} &= \frac{(V_{\text{rom}} \cdot (x_{\text{slutt}} - x_0) - \beta \cdot n \cdot \Delta t_{\text{slutt}})}{\left(\frac{\sum_i x_{\text{inn}i}}{i} - \frac{\sum_i x_t}{i} \right) \cdot \Delta t_{\text{slutt}}} \cdot 3600 \frac{\text{s}}{\text{h}} && (\text{m}^3/\text{h}) \quad (25) \end{aligned}$$

Ved å se Figur 5-6 i sammenheng med svarene fra spørreundersøkelsen kan de være rimelig å anta at et entalpinivå som ligger mellom nivået i forsøk 2 og 3 vil gi et godt inn klima. Denne entalpien ved $t = 57,5$ minutt blir:

$$E(57,5 \text{ min.}) = \frac{E_{\text{forsøk 2}}(57,5 \text{ min.}) - E_{\text{forsøk 3}}(57,5 \text{ min.})}{2} + E_{\text{forsøk 3}}(57,5 \text{ min.}) = 38,97 \text{ kJ/kg}$$

For å gjøre vurderinger basert på forsøksresultatene må det benyttes en valgt temperatur ved øktas slutt. Basert på dataene i Figur 4-4 benyttes en sluttemperatur på $20,5 \text{ }^\circ\text{C}$. Veiledningen fra Kulturdepartementet anbefaler en temperatur på $18 \text{ }^\circ\text{C}$ (Kulturdepartementet, 2016), men på grunn av at romtemperaturen ikke ble lav nok før øktene var ikke dette mulig å oppnå i disse forsøkene. Beregningen videre går ut ifra et eksempel hvor det måles temperatur og relativ fuktighet 5 minutter ut i øktene. Det benyttes lineære regresjonskurver basert på øktene i sin helhet, slik som angitt i Figur 5-8. Ved bruk av denne metoden til regulering kan det benyttes lineær regresjon for resultater frem til måletidspunkt.

	β (g/(s·pers))	t_0 (min)	t (min)	t_{slutt} (min)	\dot{V} (m^3/h)	q_p ($\text{m}^3/(\text{h} \cdot \text{pers})$)
Forsøk 2	0,1117	10	15	60	9 330	191
Forsøk 3	0,0919	5	10	55	9 593	197

Dette eksempelet viser at for å oppnå en entalpi på $38,97 \text{ kJ/kg}$ i forsøk 2 og 3 må det tilføres en luftmengde på henholdsvis 191 og $197 \text{ m}^3/\text{h}$ per person, et resultat som ligger mellom det som ble tilført i de to forsøkene slik Tabell 3-2 viser.

Selv om formlene er representative for forsøkene, er faktoren for tilført fuktighet i massebalansen, x_{inn} , vanskelig å forholde seg til. Slik formel 16 angir, er tilført fuktighet avhengig av fuktigheten i avtrekket i tillegg til fuktigheten utendørs når roterende varmegjenvinner benyttes. Ved å utstyre aggregatet med rekuperativ varmegjenvinner uten

fuktsmitte, vil faktoren for tilført absolutt fuktighet være lik absolutt fuktighet i utelufta som kan anses som konstant under hele økta.

Ved å først undersøke om estimert entalpi ved øktas slutt overskrider maksimal entalpi for akseptert inneklimate kan nødvendig luftmengde deretter beregnes. Dette betyr at luftmengden til enhver tid kan justeres enten opp eller ned avhengig av behovet. I og med at modellen krever verdier fra målinger underveis i økta kan den kun benyttes til regulering og ikke til dimensjonering av nødvendig luftmengde.

5.6 Dimensjonerende inneklimateparametere

Før forsøk 2 og 3 startet var laveste temperatur henholdsvis 20,2 og 20,3 °C. På grunn av disse forutsetningene kunne ikke den anbefalte romtemperaturen på 18 °C oppnås. Resultatene er derfor vurdert ut fra hvordan temperaturene utviklet seg under forsøkene. Siden entalpi beregnes som en funksjon av både temperatur og relativ fuktighet antas det at høyere relativ fuktighet kan tillates om temperaturen reduseres.

Ved sammenligning av nødvendig luftmengde basert på karbondioksidkonsentrasjon presentert i kapittel 5.2, nødvendig luftmengde basert på entalpi i kapittel 5.5 og luftmengdene fra forsøkene vist i Tabell 3-2 kommer det frem at alle parameterne angir et luftmengdebehov som ligger mellom luftmengdene som ble tilført i forsøk 2 og forsøk 3.

Grunnlag	Kapittel	Luftmengde per person (m ³ /(h·pers))
Veiledning	2.2	250
Forsøk 2	3.1	175
Forsøk 3	3.1	223
Metode 2, 1000 ppm	5.2	212
Entalpi	5.5	191 - 197

Dette underbygger antakelsen om at det kan utledes en veiledende luftmengde som er basert på det faktiske behovet i et spinningrom. Ved å senke den nødvendige luftmengden vil dette gi et totalt luftmengdebehov per time som ligger flere tusen kubikk under det veiledningen angir. For å bestemme nøyaktig hvilken luftmengde og temperatur som er passende for de fleste spinningøktar må flere forsøk med utgangspunkt i disse resultatene gjennomføres.

6 Konklusjon

Gjennom vurderinger av forsøksresultatene går det frem at karbondioksid ikke er en god indikator for dårlig luftkvalitet i spinningrom. Selv om karbondioksidkonsentrasjonen i rommet henger sammen med spinningutøvernes intensitet indikerer ikke denne parameteren hvordan fuktighet og temperatur utvikler seg i løpet av økta. Dette betyr at dagens dimensjoneringsmetode for nødvendig luftmengde i spinningrom ikke er basert på de riktige inneklimateparameterne. Basert på foregående vurderinger er det tydelig at fuktigheten og temperaturen er avgjørende for opplevelsen av inneklimate og bør vurderes som dimensjonerende inneklimateparametere for luftutskiftning i spinningrom.

Selv om dimensjoneringsgrunnlaget for nødvendig luftmengde gir upresis dimensjonering, kommer det frem at den anbefalte luftmengden per person som angis i veiledningen fra Kulturdepartementet er mer enn tilstrekkelig for å holde den relative fuktigheten, temperaturen, og dermed også entalpien innenfor aksepterte nivåer.

Karbondioksidkonsentrasjonene målt i forsøkene i seg selv er langt ifra å kunne anses som helseskadelig. Hvis konsentrasjonen hverken er en god indikator for inneklimate eller påvirker helsen, ser man i denne oppgaven ingen grunn til at en grense for maksimal tillatt karbondioksidkonsentrasjon i spinningrom på akkurat 1000 ppm må håndheves. Regulering av karbondioksidkonsentrasjonene i lufta bør komme som et resultat av at spinningrommet ventileres basert på luftas entalpi. Denne vil variere med intensitet og personbelastning, noe som gjør at også drift av ventilasjonsanlegg tilknyttet spinningrom bør gjennomføres basert på entalpien.

Når det gjelder ventilasjonsaggregat som betjener spinningrom anbefales det i denne oppgaven at rekuperative varmegjenvinnere benyttes. Dette kan medføre lavere nødvendige luftmengder som følge av at luftsmitten blir neglisjerbar, men dette må undersøkes videre. Ved bruk av rekuperative varmegjenvinnere vil også drift basert på entalpi bli lettere, da man vil få mer kontroll på fuktinnholdet i tillufta.

(blank side)

7 Forslag til videre arbeid

For både å underbygge og bygge videre på resultatene i denne oppgaven bør det gjennomføres flere tilsvarende forsøk i spinningrom. Basert på funnene som er gjort presenteres det her forslag til videre arbeid som bør gjøres.

Lineære utviklinger

Basert på forsøksresultatene i denne oppgaven ble det antatt at utviklingen av relativ og absolutt fuktighet kan ses på som tilnærmet lineært. Det bør gjøres ytterligere forsøk for å se om dette også er representativt for flere spinningøkter. Når dette gjøres bør det benyttes termometerer som kan måle mer nøyaktig enn de som ble benyttet her.

Fukt- og karbondioksidproduksjon

Fukt- og karbondioksidproduksjonen per person bør analyseres. I denne oppgaven ble det kun benyttet enkle estimater basert på målt relativ fuktighet og temperatur. Det bør gjøres undersøkelser knyttet til hvor mye fukt og karbondioksid som produseres ved ulike intensiteter, hvordan tilførselen av disse forurensningene varierer med personbelastningen og om det kan estimeres gjennomsnittlige fukt- og karbondioksidproduksjoner til bruk i beregninger. Et forslag til fremgangsmåte er å gjennomføre forsøk i klimarom, slik at alle parametere kan kontrolleres.

Regulering basert på entalpi

Det ble presentert en modell for estimering av entalpi basert på lineære utviklinger og fuktproduksjon. Denne modellen bør undersøkes nærmere og videreutvikles. Det kan være interessant å undersøke om mer nøyaktige formler kan utarbeides i tillegg til å gjennomføre en slik regulering i praksis slik at eventuelle problemer med metoden kan kartlegges.

Bruk av rekuperativ varmegjenvinner

Tilsvarende forsøk som de som er gjort i denne oppgaven bør gjennomføres med bruk av rekuperativ varmegjenvinner i stedet for roterende varmegjenvinner. Basert på måleresultatene man da får bør det analyseres om karbondioksidkonsentrasjonene varierer mer ved endring av luftmengden fordi at smitten fjernes, og om nødvendig luftmengde dermed blir annerledes. I tillegg bør det undersøkes om det med bruk av en slik varmegjenvinner blir behov for forskjellig driftsmønster på sommerstid kontra vinterstid.

(blank side)

8 Referanseliste

- Aas, K. (2010) *Inneklima: Definisjoner*. Tilgjengelig fra:
<http://www.inneklima.com/index.asp?document=5&context=> (Hentet: 21. april 2018).
- COVENT (u.å.) Roterende varmegjenvinner (s. 26-29). Tilgjengelig fra:
<http://byggebolig.no/imageoriginals/f506579120d0d6d45821f69face95953109afb59.pdf>
- Elgen, I. (u.å.-a) *Gutters høyde og vekt i forhold til alder*. Tilgjengelig fra:
<http://www.nettdoktor.no/helseraad/fakta/guttervektstabell.php> (Hentet: 19. mai 2018).
- Elgen, I. (u.å.-b) *Jenters høyde og vekt i forhold til alder*. Tilgjengelig fra:
<http://www.nettdoktor.no/helseraad/fakta/jentervektstabell.php> (Hentet: 19. mai 2018).
- Engineering ToolBox (2003) *Mollier Diagram*. Tilgjengelig fra:
https://www.engineeringtoolbox.com/psychrometric-chart-mollier-d_27.html.
- Fang, L., Clausen, G. og Fanger, P. O. (1998) Impact of Temperature and Humidity on the Perception of Indoor Air Quality, *Indoor Air*, s. 80-90.
- Herrmann, S. (2014) 2011 Compendium of Physical Activities Tracking Guide, i 2011_Compndium_Tracking_Guide_.pdf (red.). Tilgjengelig fra:
<https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities/tracking-guide>.
- Kulturdepartementet (2016) Idrettshaller Planlegging og bygging, s. 1-76.
- Meteorologisk institutt og NRK (2018) *Været som var Skjetlein målestasjon, Trondheim (Trøndelag)*. Tilgjengelig fra:
https://www.yr.no/sted/Norge/Tr%C3%B8ndelag/Trondheim/Skjetlein_m%C3%A5lestasjon/statistikk.html (Hentet: 19. mai 2018).
- Nasjonalt folkehelseinstitutt (2015) Anbefalte faglige normer for inneklima.
- Particle Density* (u.å.). Tilgjengelig fra:
<http://passel.unl.edu/pages/informationmodule.php?idinformationmodule=1130447039&topicorder=5&maxto=10> (Hentet: 10. mai 2018).
- Persily, A. og de Jonge, L. (2017) Carbon dioxide generation rates for building occupants, *Indoor Air*, 27(5), s. 868-879. doi: 10.1111/ina.12383.
- Qi, M. W. *et al.* (2014) CO₂ generation rate in Chinese people, *Indoor Air*, 24(6), s. 559-566. doi: 10.1111/ina.12110.
- SIAT (2018) *Centre for Sport Facilities and Technology*. Tilgjengelig fra:
<https://www.ntnu.edu/web/siat/contact> (Hentet: 19. mai 2018).
- SINTEF Byggforsk (2002) *Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg*. Tilgjengelig fra:
https://byggforsk.no/dokument/537/varmegjenvinnere_i_ventilasjonsanlegg#i21 (Hentet: 9. mai 2018).
- SINTEF Byggforsk (2017) *Luftmengder i ventilasjonsanlegg. Krav og anbefalinger*. Tilgjengelig fra:
https://www.byggforsk.no/dokument/2753/luftmengder_i_ventilasjonsanlegg_krav_og_anbefalinger#i23 (Hentet: 30. april 2018).
- Sjøvold, O. (2016) *Ventilasjonsteknikk 2016* (s. 1-73). ItsLearning: NTNU.
- Stensaas, L. I. (1999) *Ventilasjonsteknikk 1*. Skarland Press AS.

Toftum, J., Jørgensen, A. S. og Fanger, P. O. (1997) Upper limits of air humidity for preventing warm respiratory discomfort, *Energy and Buildings* 28, s. 15-23.

9 Vedlegg

9.1 Vedlegg 1 – Artikkel



Fuktighet er den nye rockestjernen for regulering av luftmengde i spinningrom

Ventilasjonsbransjen anser i dag CO₂ som en velfungerende indikator for opplevd inneklime i de fleste romtyper, men hva skjer når intensiteten i et spinningrom er så høy at karbondioksid ikke lenger henger med på inneklimanotene? En bacheloroppgave fra NTNU Trondheim, VVS-teknikk, viser gjennom forsøk at CO₂ ikke godt nok indikerer hvordan inneklimate oppleveres i et spinningrom. I oppgaven kommer det derimot frem at fuktighet heller bør ta over stjernestatusen som den dimensjonerende parameteren for bestemmelse av nødvendig luftmengde i spinningrom.

Gaute Tveit ¹
Jostein Jevard ¹

¹ Norges teknisk-naturvitenskapelig universitet, Trondheim, Norge

Utfordrer dagens dimensjonering.

SIAT (Senter for idrettsvitenskap og anlegg) jobber for å bringe frem forskningsbasert kunnskap og teknologiske løsninger for idrettsbygg, og utfordret studentene til å analysere dagens anbefalinger for nødvendig luftmengde i spinningrom. I dag finnes det lite forskning på inneklime i rom beregnet for aktiviteter med høy intensitet, noe som gjør temaet i denne bacheloroppgaven veldig interessant for alle som på en eller annen måte har et forhold til idrettsbygg.

Dette ble oppdaget:

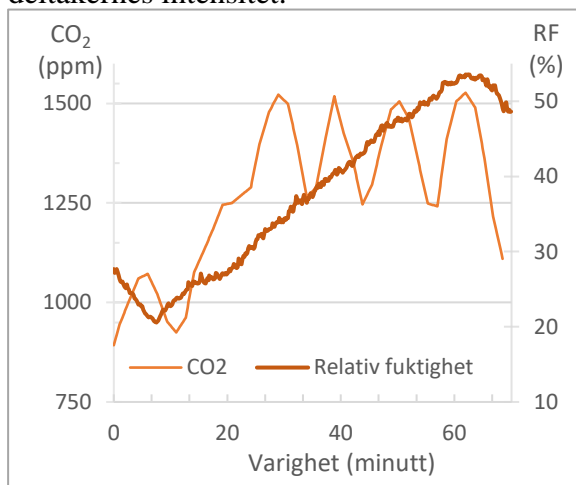
- ✓ CO₂ er ikke den ideelle indikatoren for opplevd inneklime i spinningrom
- ✓ Fuktighet og temperatur bør anses som de mest avgjørende faktorene for opplevelsen av inneklimate

- ✓ Nødvendig luftmengde kan reguleres basert på luftfuktighet og romtemperatur
- ✓ Roterende varmegjenvinner med luftsmitte bør ikke benyttes i ventilasjonsanlegg tilknyttet spinningrom

Tidligere forsøk avdekket mistanke.

Bacheloroppgaven er en videreføring av et tidligere prosjekt, gjennomført høsten 2017 av andre- og tredjeklasse VVS-teknikk ved NTNU, hvor det også ble utført forsøk i et spinningrom. Under analysen av forsøksresultatene mente mange at anbefalte luftmengder for spinningrom i veilederen «Idrettsbygg – Planlegging og bygging» [2] fra Kulturdepartementet var i overkant store, og studentene stilte derfor spørsmål til gyldigheten av dagens anbefaling, og om dagens dimensjoneringsmetode er basert på de riktige inneklimateparameterne.

Målt under spinningøkter. Forsøk ble utført ved at spinningøkter med tilsvarende lik intensitet ble gjennomført med ulike luftmengder. Under forsøkene ble det målt temperatur, relativ fuktighet, støv og CO₂, og i etterkant ble det avholdt spørreundersøkelser angående det opplevde inneklimaet under økta. Målingene ble analysert for å finne sammenhengen mellom målte inneklimaparametere og tilført luftmengde. Et tydelig resultat var at relativ fuktighet øker tilnærmet lineært gjennom økta og at CO₂ varierer i takt med deltakernes intensitet.



Hvor er fokuset på fuktighet? Kort og enkelt så kan høy fuktighet gjøre at rommet føles varmere og at lufta føles tyngre enn hva som ville vært tilfelle ved samme romtemperatur og lavere fuktighet. Dette kan man på tilsvarende måte merke på en sommerdag like før torden og lyn melder sin ankomst. Luftfuktigheten øker og det oppleves plutselig som varmere. Det som skjer i løpet av en spinningøkt der deltakerne holder et høyt aktivitetsnivå, er at de produserer mye karbondioksid, svette og varme, og disse faktorene vil påvirke inneklimaet i rommet under hele økta ved endring i luftfuktighet og temperatur. En utbredt antakelse er at et godt inneklima kan

oppnås ved å øke luftmengden når innholdet av CO₂ i luften kommer over en valgt grense. Som forsøkene viser er det ikke denne konsentrasjonen som indikerer behovet for luftutskiftning. Regulering med fokus på fuktighet er i dette tilfellet viktigere.

En metode ble utviklet. Ved å først undersøke når fuktigheten og temperaturen tilsier at luftkvaliteten ikke er god nok, ble luftas energiinnhold ved disse verdiene beregnet. Deretter ble tilført fuktighet beregnet, slik at man kan anta fuktigheten og energiinnholdet i lufta ved øktas slutt. Videre beregninger gjorde det mulig å sammenligne disse verdiene for så å beregne til enhver tid om luftmengden kan justeres opp eller ned for å oppnå et godt inneklima gjennom hele økta.

Vurder veiledninger nøye. Funn som er gjort i oppgaven har avdekket at anbefalingene for nødvendig luftmengde i spinningrom kun er ment som en anbefaling og ikke et krav. Dette medfører at bransjen må vurdere behovet i hvert enkelt spinningrom, og at erfaringsverdier og skjønn må legges til grunn for prosjektering og drift.

Kilder:

- [1] Foto: Shutterstock/Kzenon
- [2] Kulturdepartementet (2016) Idrettshaller Planlegging og bygging

9.2 Vedlegg 2 - Tabell for gjennomsnittsvekt for befolkning Norge

Hei,

Viser til din telefonhenvendelse til Statistisk sentralbyrå i dag om nordmenns gjennomsnittsvekt. For noen år siden ble denne oversikten laget fra Helseseksjonen vår. Jeg har spurt om det er laget en tilsvarende tabell med nyere tall.

Saksbehandleren som jobber med denne statistikken har ferie i noen dager, så du får svar så fort hun er tilbake.

Personer 16-79 år											
ÅR	N	gjennomsnittsvekt			gjennomsnittshøyde			N	Alle 16-79	menn 16-79	kvinner 16-79
		Alle 16-79	menn 16-79	kvinner 16-79	Alle 16-79	menn 16-79	kvinner 16-79				
2008	6046	75,6	83,8	67,5	6142	173,4	180,2	166,8			
2005	6400	75,1	82,7	67,2	6400	173,3	179,7	166,6			
2002	6450	74,8	82,2	67	6533	173,4	179,9	166,7			
1998	6751	73	80,8	65,3	6818	172,9	179,7	166,3			
1995	7317	72	79,4	64,5	7321	172,6	179,1	166,1			
1973	2945	68,6	74,6	63,1	2951	170,1	176,3	164,3			
Kilder:											
Levekårsundersøkelsen 1973											
Helseundersøkelsen 1995											
Levekårsundersøkelsen om helse, omsorg og sosial kontakt 1998, 2002, 2005, 2008											

Jeg fant følgende i Levekårsundersøkelsen om helse, men ikke direkte tall for gjennomsnittsvekt: 11277: Levevaner, etter kjønn (F) 2015

<http://www.ssb.no/tabell/11277>

<https://www.ssb.no/helse/artikler-og-publikasjoner/vi-er-kanskje-ikke-sa-overvektige-likevel>

Vennlig hilsen

Elsa Granvoll

Statistisk sentralbyrås informasjonstjeneste

Elsa.granvoll@ssb.no

informasjon@ssb.no

Dato 16.05.2018 kl. 12.00

9.3 Vedlegg 3 - Spørreskjema

Spinning

3T Rosten 2018

Kjønn: Mann Kvinne



Alder: _____

Watt (gjennomsnitt): _____

Sykkel nr: _____

	Ikke fornøyd	Litt fornøyd	Fornøyd	Veldig fornøyd
1. Hvor fornøyd er du med treningsutbyttet av dagens økt?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
2. Hva synes du om spinninglokalet?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
3. Hvordan opplevde du temperaturen i spinningssalen?	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Kommentar:

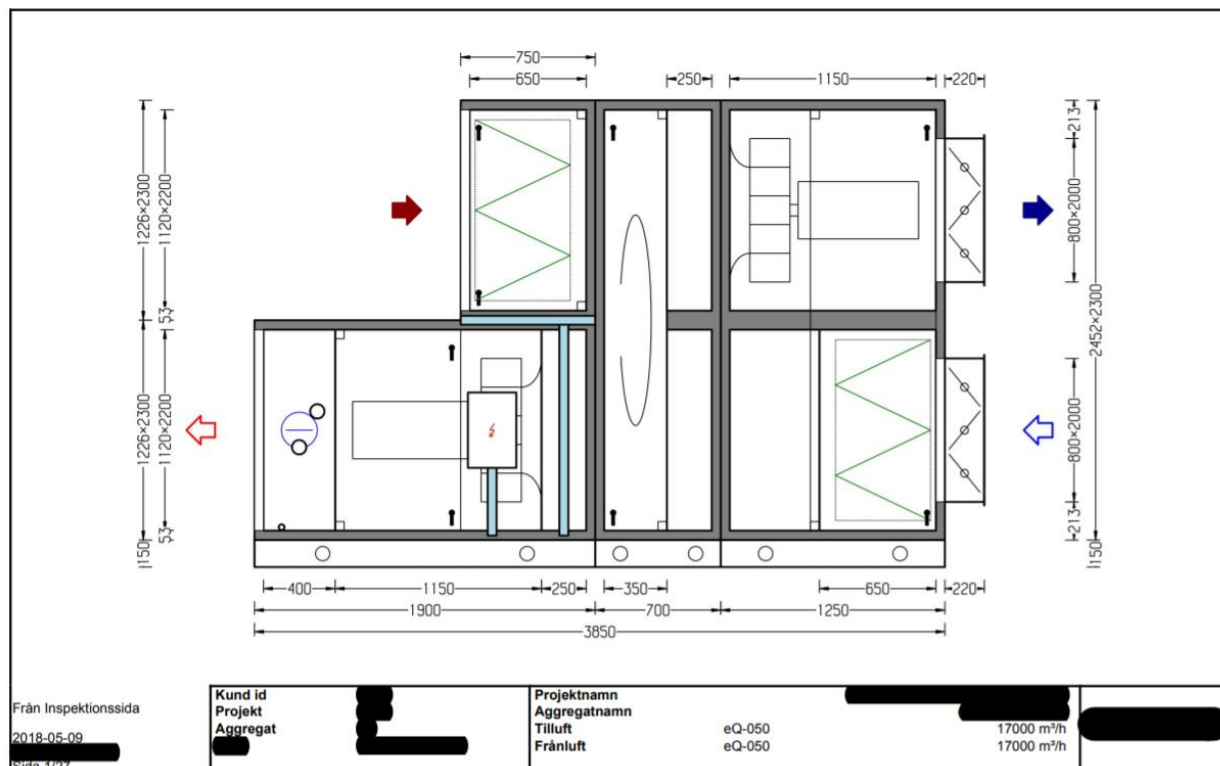
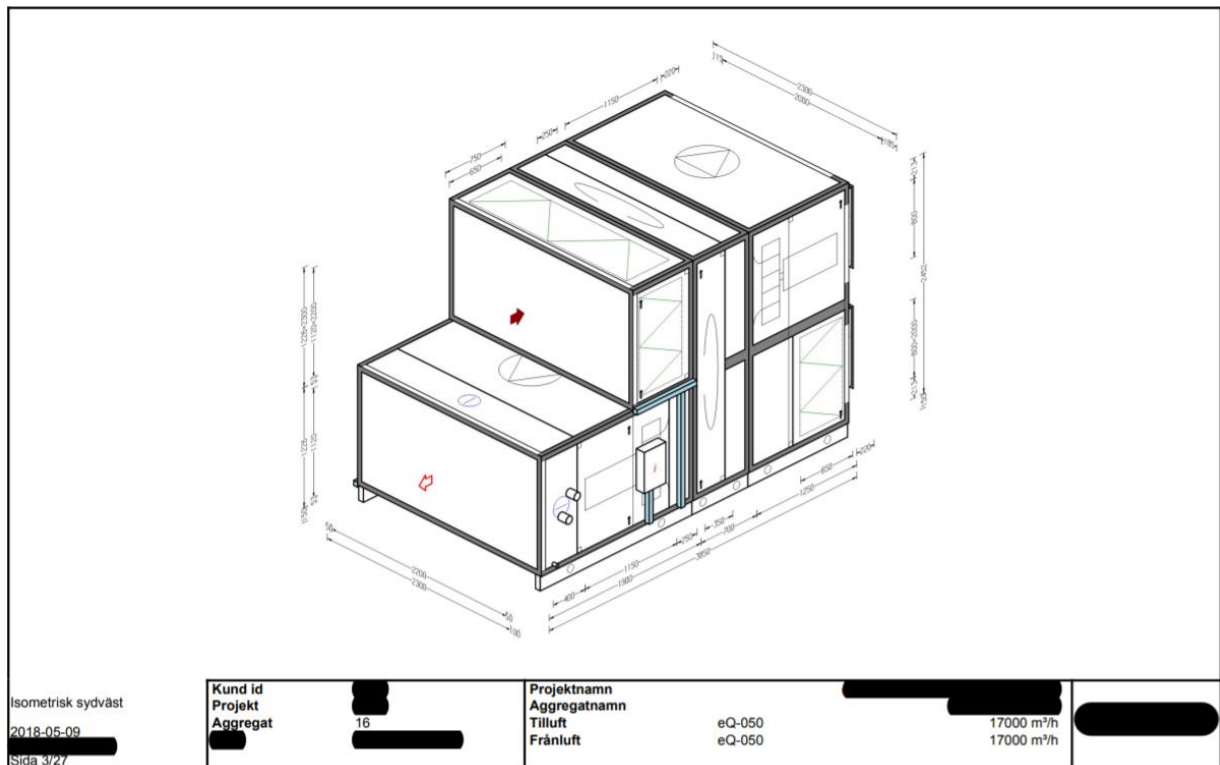
4. Hvordan opplevde du luften under økten?

Kommentar:

5. Har du noe du ønsker å tilføye angående dagens økt?

Takk for innsatsen!

9.4 Vedlegg 4 - Utdrag fra datablad for aggregat



[REDACTED]

LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt	[REDACTED]	[REDACTED]
Aggregat	16 (01Or) / NY 36.01	2018-05-09
Storlek	050	Sida 5/27

TEKNISK SPECIFIKATION
(komponenter ordnade efter luftströmmens riktning)

TILLUFT

Anslutningsgavel

Tryckfall, dimensionerande

5 Pa

Höljesgavel

Multikabel

Spjäll

Bredd i cm : 200

Höjd i cm: 080

Täthetsklass: CEN 3

Anslutning: pg

Funktion: uteluft

Placering: utvändigt gavel hela

Spjälltyp: 200mm blad

Material: Förzinkad stålplåt

Spjällställdon

Leveransform: Monterat på aktuellt sub, snabbanslutning

Filter

Storlek: 050

Filterlängd: lång påse (endast stående filterfickor)

Filterklass: F7

Filtertyp: syntet

Filterram: fz stålplåt

Variant: inlopp gavel

Placering: undertryck

Förfilter: utan

Tråg: utan

Material: fz stålplåt

Inspektionssida: vänster

Tryckfall, start

82 Pa

Tryckfall, dimensionerande

132 Pa

Tryckfall, slut

182 Pa

Frontarea

2 m²

Fronthastighet

2,5 m/s

Filtervakt

Roterande värmväxlare REGOTERM

Aggregatstorlek: 050

Rotorutförande: ej hygroskopisk

Welldelning: normal

Drivanordning: reglerbart varvtal, 1x230V

Styranslutning: med

Funktionslängd: standard (enbart rotor)

Material: fz stålplåt

Tilluftsplacering: undervåning

Inspektionssida: vänster

Verkningsgrad

Verkningsgrad beräknas i förhållande till vad som anges i EN308 standarden

0,0 %

Temperaturverkningsgrad vid 0°C utomhus

77,7 %

Fuktverkningsgrad , Sommar

0,0 %

Fuktverkningsgrad , Vinter

41,7 %

Tilluft

Sommar

Vinter

Tryckfall

156

132 Pa

Lufttemperatur

25 / 25

-19 / 12,8 °C

[REDACTED]

LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt [REDACTED] [REDACTED]
 Aggregat 16 (01Or) / NY 36.01 2018-05-09
 Storlek 050 Sida 6/27

Relativ fuktighet	50 / 50	70,1 / 25,5 %
Effekt reduktion		208 kW
Luftflödesöverföring		1027 m³/h
Fronthastighet	2,9	2,7 m/s
Frånluft	Sommar	Vinter
Tryckfall	154	141 Pa
Lufttemperatur	23 / 23	22 / -7,2 °C
Relativ fuktighet	50 / 50	30 / 100 %
Tillsatsstrykning		0 Pa
Fronthastighet	2,9	2,8 m/s
Multikabel		

Tomdel

Aggregatstorlek: 050
 Längd: 025
 Inspektionssida: vänster

Kammarfläkt

Inspektionssida: vänster

Fläktval

Fläktstorlek: storlek 2
 Vibrationsdämpare: gummi

Motorval

Motortyp: FläktGroup IE2

Vartalsstyrning

Fabrikat: FläktGroup integral
 Skyddsform: IP21
 Monteringsutförande: på panel
 Leveransform: monterat på aktuellt sub

Motor- / frekvensomriktartillbehör

Anslutningstillbehör: snabbkontakt
 Kabellängd: 428

Dimensionerande data

Varvtal	1254 Rpm
Max varvtal	1800 Rpm
Fläkt verkningsgrad	75,0 %
Totalverkningsgrad	62,5 %
Tryckökning, dimensionerande (vått batteri)	676 Pa
Fläktaxe-effekt vid dim.data	4,35 kW
Näteffekt	5,22 kW
Temperaturhöjning	0,9 °C
Fläkthjulsstorlek	071
SFP-beräkning	
Näteffekt enligt SFP	4,62 kW
Tryckökning	610 Pa
Varvtal	1202 Rpm
Motor	
Verkningsgrad	86,0 %
Varvtal	955 Rpm
Motoreffekt	5,5 kW
Ström	20,7 A
Poltal	6
Driftfrekvens vid frekvensomriktardrift	66 Hz
Maxfrekvens vid frekvensomriktardrift	70,2 Hz
Maxvarvtal vid frekvensomriktardrift	1331 Rpm
Effektmarginal, minst	10 %
Frekvensomriktare	
Verkningsgrad	96,9 %
Multikabel	

LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt

Aggregat
Storlek

050

2018-05-09
Sida 7/27

Enhastighetsmotor

Spänning: 220-240 VD /380-420 VY
Fabrikat: ABB

Frekvensomriktare

Skyddsform: IP21

Motortillbehör

Motor: 1-hastighet
Vartalsstyrning: Monterad frekvensomriktare
Anslutningstillbehör: Snabbkontakt
Typ: Standard
Kabellängd: 428
Nätspänning: 3x230 VAC

Fläktstyrning

Placering: Tilluftsfläkt
Reglerfunktion: Flödesreglering
Reglerreferens: Börvärde i DUC
Tryckområde: 0-5000 Pa
Brandfunktion: Utan
Utförande: Standard
Leveransform: Monterat på aktuellt sub, snabbanslutning

Startutrustning fläkt

Placering: Tilluft 1
Motor: Enhastighet
Startmetod: Frekvensomriktare
Spänning: 230 VAC, 3-fas
Märkström högfart: 207
Leveransform: Monterat på aktuellt sub, snabbanslutning

Luftkylare, för kylvatten

Använd som: Kylbatteri
Aggregatstorlek: 050
Effektvariant: 4
Utförande : normal frontarea
Lamelledning: 2 mm
Vätskevågar: 2
Material, lamellkropp: Cu/Al
Material, ram : fz stålplåt
Anslutningssida: vänster

Rörstorlek	80
Vätskevolym	-10000,0 l
Tryckfall, dimensionerande	90 Pa
Vått batteritryckfall	90 Pa
Torr batteritryckfall	85 Pa
Effekt	82,2 kW
Lufttemperatur	25,9 / 14 °C
Relativ fuktighet	47,5 / 90,2 %
Fronthastighet	2,2 m/s
Vattentemperatur	8 / 13 °C
Vattenflöde	3,92 l/s
Vattenhastighet	0,5 m/s
Tryckfall vatten	2,7 kPa

Vattenlås

Typ: Övertryck +3000 Pa

FRÄNLUFT

Filter

Storlek: 050
Filterlängd: lång påse (endast stående filterfickor)

[REDACTED]
LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt
 [REDACTED]

Aggregat
 Storlek

050

2018-05-09
 Sida 8/27

Filterklass: F7
 Filtertyp: syntet
 Filterram: fz stålplåt
 Variant: inlopp gavel
 Placering: undertryck
 Förfilter: utan

Tråg: utan

Material: fz stålplåt
 Inspektionssida: höger

Tryckfall, start

79 Pa

Tryckfall, dimensionerande

129 Pa

Tryckfall, slut

179 Pa

Frontarea

2 m²

Fronthastighet

2,4 m/s

Multikabel

Filtervakt

Tomdel

Aggregatstorlek: 050

Längd: 025

Inspektionssida: höger

Kammarfläkt

Inspektionssida: höger

Fläktval

Fläktstorlek: storlek 2

Vibrationsdämpare: gummi

Motorval

Motortyp: FläktGroup IE2

Vartalsstyrning

Fabrikat: FläktGroup integral

Skyddsform: IP21

Monteringsutförande: på panel

Leveransform: monterat på aktuellt sub

Motor- / frekvensomriktartillbehör

Anslutningstillbehör: snabbkontakt

Kabellängd: 428

Dimensionerande data

Varvtal

1221 Rpm

Max varvtal

1800 Rpm

Fläkt verkningsgrad

73,1 %

Totalverkningsgrad

61,4 %

Tryckökning, dimensionerande (vått batteri)

583 Pa

Fläktaxeeffekt vid dim.data

3,93 kW

Näteffekt

4,68 kW

Temperaturhöjning

0,8 °C

Fläkthjulsstorlek

071

SFP-beräkning

Näteffekt enligt SFP

4,25 kW

Tryckökning

528 Pa

Varvtal

1184 Rpm

Motor

Verkningsgrad

86,0 %

Varvtal

955 Rpm

Motoreffekt

5,5 kW

Ström

20,7 A

Poltal

6

Driftfrekvens vid frekvensomriktardrift

64 Hz

Maxfrekvens vid frekvensomriktardrift

70,2 Hz

LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt		
Aggregat		2018-05-09
Storlek	050	Sida 9/27

Maxvarvtal vid frekvensomriktardrift	1331 Rpm
Effektmarginal, minst	10 %

Frekvensomriktare

Verkningsgrad	97,6 %
---------------	--------

Multikabel

Enhastighetsmotor

Spänning: 220-240 VD /380-420 VY

Fabrikat: ABB

Frekvensomriktare

Skyddsform: IP21

Motortillbehör

Motor: 1-hastighet

Vartalsstyrning: Monterad frekvensomriktare

Anslutningstillbehör: Snabbkontakt

Typ: Standard

Kabellängd: 428

Nätspänning: 3x230 VAC

Fläktstyrning

Placering: Frånluftsfläkt

Reglerfunktion: Flödesreglering

Reglerreferens: Börvärde i DUC

Tryckområde: 0-5000 Pa

Brandfunktion: Utan

Utförande: Standard

Leveransform: Monterat på aktuellt sub, snabbanslutning

Startutrustning fläkt

Placering: Frånluft 1

Motor: Enhastighet

Startmetod: Frekvensomriktare

Spänning: 230 VAC, 3-fas

Märkström hög fart: 207

Leveransform: Monterat på aktuellt sub, snabbanslutning

LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt

Aggregat
Storlek

050

2018-05-09
Sida 10/27

STYR OCH REGLER

Produktlista

Apparatskåp

STEQ-000-10-10-0-3-2-65-5-1-1

Placering: I fast panel
Spänning: 3x230 VAC
Reglercentral: Siemens Climatix 600, TCP/IP + exp
HMI (display): Alfanumerisk med inställningsrätt, IP31
Utförande: Standard

Temperaturreglering

STAZ-01-2-1-0-0-1-0-0-1-65-1

Typ av reglering: Frånluftsreglering
Nattkyla: Med frikyla
Börvärdesförskjutning: Utekomparerat tempbörvärde
Reglercentral: Siemens Climatix 600, TCP/IP + exp

Temperaturgivare

STAZ-02-10-1-2-5

Typ av givare: Tilluftstempgivare
Utförande: Kanalgivare
Leveransform: Medlevererat med STEQ

Temperaturgivare

STAZ-02-30-1-3-5

Typ av givare: Uteluftsgivare
Utförande: Väggh monterad givare
Leveransform: Medlevererat med STEQ

Temperaturgivare

STAZ-02-70-1-3-5

Typ av givare: Rumsgivare
Utförande: Väggh monterad givare
Leveransform: Medlevererat med STEQ

S & R Dokumentation

STAZ-36-65-1-050-1-1-01-1

Kommunikation

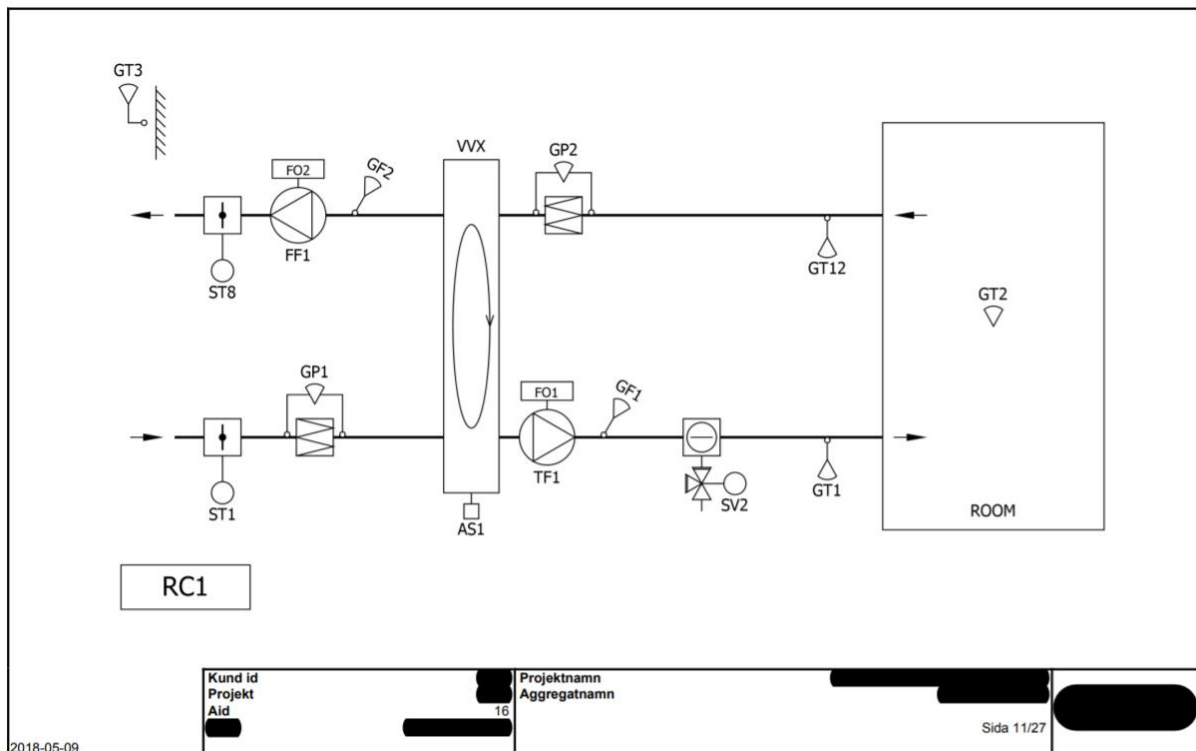
STAZ-51-65-0-0-2

Reglercentral: Saphir Evo, TCP/IP + exp
Web: Utan
Larm via SMS: Utan
Kommunikations protokoll: Modbus RTU/Modbus TCP

Arbetsbrytare

STAZ-80-051-1-5

Maxström: 051
Hjälpkontakt: Med hjälpkontakter (1 NO, 1NC)
Leveransform: Medlevererat med STEQ



LUFTBEHANDLINGSAGGREGAT eQ

Projekt

Aggregat

Storlek

050

2018-05-09

Sida 12/27

Funktionstexter

Start och stopp av aggregat

TF1 och FF1 startas och stoppas av det i RC1 inbyggda tiduret.
 Spjällställdon ST1, ST8 öppnar innan TF/FF startar samt stänger vid stopp av TF/FF.
 RC1 styr återvinningen till 100% vid uppstart om utetemperaturen är lägre än 15°C.
 Driftvalskomponenter samt drift- och larmindikering finns i OP-panelen till RC1

Temperaturreglering

RC1 styr luftkylare och värmeväxlare i sekvens. Vid ökat värmebehov styrs värmeväxlare VVX för värmeåtervinning.
 Vid ökat kylbehov styrs luftkylare för kyla.
 Roterande värmeväxlare styrs via drivenhet AS1 av reglercentral RC1.
 Kylbatteri styrs via ventilställdon SV2 av reglercentral RC1.
 Temperaturgivaren GT12 konstanthåller önskad frånluftstemperatur via reglercentralen RC1.
 Temperaturgivaren GT1 min- och maxbegränsar tilluftstemperaturen via reglercentralen RC1.
 TF1 och FF1 startar automatiskt nattetid för kylning med sval uteluft. Återvinningssignal blockeras.
 Aktuellt temperaturbörvärde justeras enligt bestämd styrkurva via RC1 beroende på utetemperaturen GT3.

Fläktreglering

Flödesgivare GF1 konstanthåller flödet för TF1 via FO1.
 Flödesgivare GF2 konstanthåller flödet för FF1 via FO2.

Larm erhålles för

Manuell drift,
 värmeväxlare VVX,
 reglerfel tilluftsfläkt,
 reglerfel frånluftsfläkt,
 fel frekvensomriktare tilluftsfläkt,
 fel frekvensomriktare frånluftsfläkt,
 filtervakt tilluft
 filtervakt frånluft
 eller temperaturgivarfel

9.6 Vedlegg 6 – Serienummer måleutstyr

Måleapparat	Serienummer
KIMO AQ 200E	14039654
TSI AeroTrak 9306	93061626013
TSI VelociCalc 9565-P	9565-P1627007
964 Probe	P16270056
982 Probe CO2	P16230051