

Jørgen Tonning Buch
Simen Jensås

Filtrering av luft med høyt partikkelinnhold i klatrehaller

Mai 2019

NTNU

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

Bacheloroppgave

2019



Jørgen Tønning Buch
Simen Jensås

Filtrering av luft med høyt partikkelinnhold i klatrehaller

Bacheloroppgave
Mai 2019

NTNU

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



Kunnskap for en bedre verden

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

Besøksadresse:

R. Birkelands vei, 2B, Trondheim

Tittel

Filtrering av luft med høyt partikkelinnhold i
klatrehallerFiltration of Air with High Particle Content in
Climbing Halls

Prosjektnr

MTP-V-2019-06

Forfatter(e)

Jørgen Tonning Buch
Simen Jensås

Oppdragsgiver(e) eksternt

Bjørn Aas, Senter for idrettsanlegg og teknologi

Dato
levert

20.05.2019

Antall
vedlegg

7

Totalt antall
sider

88

Veileder(e) internt

Terje Arne Wenaas

Rapporten er ÅPEN

Kort sammendrag

Denne oppgaven handler om filtrering av kalkstøv i klatrehaller, mer spesifikt Trondheim klatresenter. Hensikten er å evaluere ventilasjonsanlegget, både når det går på omluft og på friskluftstilførsel. Det har blitt undersøkt om filtreringen i klatrehallen er god nok med tanke på det høye partikkelinnholdet. Videre har innneklimaet blitt kartlagt og målt, og sammenlignet med anbefalte grenseverdier for et bra innneklima.

Det har blitt tatt målinger både i klatrehallen og i ventilasjonsaggregatet. Svevestøv, CO₂, temperatur og relativ fuktighet er parametere som har blitt målt. På bakgrunn av målingene er det konkludert med at to-trinns filtrering av avtrekksluft er en god løsning, samt at en rekuperativ varmegjenvinner kan være mer egnet enn en regenerativ varmegjenvinner.

Stikkord fra prosjektet

Filter, svevestøv, klatring, klatrekalk, magnesiumkarbonat, ventilasjon, varmegjenvinner, CO₂, temperatur, relativ fuktighet, støvdekke, omluft

Oppgavebeskrivelse

Oppgaven skal omfatte feltmålinger ved Trondheim klatresenter og eventuelt 1-2 andre idrettsbygg i Trondheim. Målinger skal inkludere karakterisering (telling, gradering) av partikler i romluft. Videre skal eksisterende ventilasjonsanlegg evalueres med hensyn på luftmengde, luftbevegelser og utforming av varmegjenvinner.

Resultatmål:

Basert på kjent filterteori skal det utvikles et filterprinsipp som på best mulig måte skal forhindre partikler fra å sendes inn igjen i rommet når anlegget går på omluft.

Effektmål:

Gjennom oppgavens varighet ønsker vi å tilegne oss mer kunnskap om filterets funksjon i et ventilasjonsanlegg. Vi har satt oss som mål å bidra til et bedre inneklima i idrettsanlegg, spesielt klatresenter.

Med dette vil vi også prøve å bidra til å minske sykdommer som forekommer av høyt støvinnhold i luften.

Forord

Denne bacheloroppgaven er utarbeidet som den avsluttende delen av bachelorutdanningen for Maskiningeniør – VVS teknikk ved NTNU Trondheim. Det er en oppgave som strekker seg over hele siste semester av den treårige utdanningen, og skal vise hva studenter har tatt til seg av kunnskap. Oppgaven vår er en forskningsbasert oppgave, der hensikten er å løse en bestemt problemstilling ut ifra det vi har lært gjennom studiet.

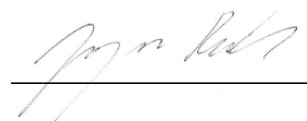
Oppgaven ble fremlagt som et forslag til bacheloroppgave av Senter for idrettsanlegg og teknologi (SIAT). SIAT arbeider med å utvikle og formidle forskningsbasert kunnskap rundt idrettsanlegg og idrettsteknologi.

Vi vil takke vår eksterne veileder ved SIAT, Bjørn Aas, og vår interne veileder Terje Arne Wenaas for all hjelp og veiledning med oppgaven vår. Videre vil vi også takke våre forelesere Oddbjørn Sjøvold og Tore Kristian Eliassen for god hjelp og stor interesse i vår oppgave. Det må også rettes en stor takk til Trondheim klatresenter som har stilt sine lokaler til disposisjon og som har bidratt med all nødvendig informasjon vi trengte. Takk til Camfil for filteranalyse og en stor takk til Bente Hellum ved OsloMet for hjelp med fotografering av støvdekkeprøver.

20. mai 2019



Simen Jensås



Jørgen Tønning Buch

Sammendrag

Bruken av klatrekalk gjør at klatrehaller skiller seg fra andre typer idrettsbygg, på grunn av et høyt partikkelinnhold i romluften. Det foreligger ingen klar veiledning for valg av filter og filterprinsipp i denne typen bygg. Partikkelinnholdet i inneluften fører med seg et behov for å filtrere avtrekksluften før den når komponenter i ventilasjonsaggregatet. Det er heller ingen forhåndsbestemt anbefaling for valg av varmegjenvinner.

Det er foretatt målinger og analyser av ventilasjonsaggregatet og inneklimaet ved én utvalgt klatrehall. Alle målinger er gjennomført både ved omlufts- og friskluftsinnstilling på ventilasjonsanlegget. Dagens filtermetode er undersøkt ved å finne filtereffektivitet, og konsentrasjonen av svevestøv som slippes inn igjen i klatrehallen. Det er foretatt målinger av partikkelinnhold, CO₂, temperatur og relativ fuktighet i ventilasjonsaggregatet og i klatrehallen.

Avtrekket er plassert såpass langt unna forurensningskilden at det er oppdaget en treghet fra konsentrasjonen av svevestøv øker, til ventilasjonsanlegget klarer å kvitte seg med økningen. Selv om dagens to-trinns filtrering i avtrekkskanalen er god, legger det seg svevestøv i og rundt varmegjenvinneren. Spesifikt for denne klatrehallen er det målt et unormalt høyt CO₂-nivå i tilluftskanal. Dette førte til en feilsøking, som resulterte i funn av kortslutning mellom inntaks- og avkastriest.

Oppgaven konkluderer med at en totrinns filtrering med et grov- og finfilter i avtrekket gjør jobben, men at det kan benyttes enda et filter i tilluft av hygieniske årsaker. En roterende varmegjenvinner er ikke å anbefale i denne typen bygg da roterende deler er utsatt for støv over tid.

Abstract

The use of climbing chalk (magnesia alba) makes climbing facilities different from regular sport facilities, because of the large number of particles. There is no specific guidance for choices of filters in this type of buildings. The number of particles makes it necessary to filtrate the exhaust air before it reaches components in the ventilation unit. There is no predetermined recommendation for the choice of heat exchanger.

It is done experiments and analyzes of the ventilation unit and the indoor air quality at one specific climbing hall. All the experiments are done at recirculated air and fresh air on the ventilation unit. Today's filter method has been examined by finding the efficiency of the filters, and the concentration of particles that is added to the building. Experiments have also been made on the number of particles, carbon dioxide, temperature and the humidity in the facility.

The extract is placed a bit away from the source of pollution, and it is therefore made a discovery that there is an inertia from when the concentration of particulate matter increases, until the ventilation unit can get rid of the increased amount. Even if today's two-step filtration in the extract is good, there is climbing chalk in the heat exchanger. What is special for this climbing hall is the high amount of carbon dioxide in the supply air. This led to a troubleshooting, which resulted in a discovery of a short circuit between the intake and the draft.

This thesis concludes that a system with filtration of the exhaust air in two stages is sufficient to keep the inlet air clean enough. However, it can be used an additional filter before the supply air duct in regard to hygiene measures. The use of a rotary heat exchanger is not recommended in this kind of facility as rotating parts are exposed to dust over time.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	I
Sammendrag.....	III
Abstract.....	V
Innholdsfortegnelse.....	VII
Figurliste.....	IX
Tabelliste.....	X
1 Innledning.....	1
2 Teori.....	3
2.1 Omluft.....	3
2.2 Klatrekalk.....	3
2.3 Generell filterteori.....	3
2.4 Svevestøv.....	6
2.5 Varmegjenvinner.....	7
2.6 Karbondioksid, CO ₂	8
2.7 Relativ fuktighet.....	8
2.8 Nødvendig luftmengde.....	9
3 Metode.....	11
3.1 Fasiliteter.....	11
3.2 Målingsprosedyre.....	13
3.3 Måleutstyr.....	15
3.4 Analyse av filter og støvdekkeprøver.....	16
3.5 Røykforsøk.....	16
3.6 Logging av CO ₂	16
3.7 Utregning av partikkelkonsentrasjon.....	17
3.8 Utregning av luftmengde.....	19
4 Resultat.....	21
4.1 Konsentrasjoner av svevestøv.....	21
4.2 Filteranalyse og foto av støvdekkeprøver.....	25
4.3 RF, CO ₂ og temperatur i klatrehallen.....	27
4.4 RF, CO ₂ og temperatur i ventilasjonsaggregatet.....	29
4.5 Varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad.....	30
4.6 Støvdekkeprøver.....	30
5 Diskusjon.....	33
5.1 Svevestøv i hallen.....	33

5.2 Svevestøv i aggregatet	35
5.3 Høy CO ₂ -konsentrasjon	37
5.4 Valg av varmegjenvinner	38
5.5 Temperatur og relativ fuktighet	39
5.6 Filtereffektivitet	39
5.7 Dimensjoneringsprinsipp	41
5.8 Mikroskopi og filteranalyse	44
5.9 Omluftprinsippet	45
5.10 Filterløsninger	45
6 Konklusjon	47
7 Videre arbeid	49
8 Referanseliste	51
9 Vedlegg	53
Vedlegg 1: Vitenskapelig artikkel	53
Vedlegg 2: Utklipp fra datablad aggregat	55
Vedlegg 3: Datablad F7 filter	60
Vedlegg 4: Datablad G4 filter	62
Vedlegg 5: Serienummer måleutstyr	63
Vedlegg 6: Utrekning av ny k-verdi for luftmengde	64
Vedlegg 7: Filteranalyse fra Camfil	65

Figurliste

Figur 1: Aggregatskisse fra Systemair.	11
Figur 2: Plantegning av klatresenter med målepunkter.....	12
Figur 3: Målepunkter for ventilasjonsaggregat.	13
Figur 4: Målepunkter for støvdekkeprøver.	14
Figur 5: Røykforsøk for undersøkelse av mulig kortslutning	16
Figur 6: PM ₁₀ konsentrasjoner i hallen sammenliknet med grenseverdier fra FHI.....	21
Figur 7: PM _{2,5} konsentrasjoner i hallen sammenliknet med anbefalt faglig norm fra FHI.	22
Figur 8: Ultrafint støv i klatrehallen	22
Figur 9: PM ₁₀ konsentrasjoner i aggregat sammenliknet med grenseverdier fra FHI.....	23
Figur 10: PM _{2,5} konsentrasjoner i aggregat sammenliknet med anbefalt faglig norm fra FHI.	23
Figur 11: Ultrafint støv målt i aggregatet.....	24
Figur 12: Mikroskopi av støvdekkeprøve i punkt 1. Forstørrelse x200. Foto: Bente Hellum.	25
Figur 13: Støvdekkeprøve tatt i punkt 5. Forstørrelse x100. Foto: Bente Hellum.	25
Figur 14: Bilde av filtermediet med forstørrelse x250. Foto: Camfil.	26
Figur 15: Fordeling av stoffer i filter.	26
Figur 16: Målinger av relativ fuktighet i klatrehall.....	27
Figur 17: Målinger av CO ₂ konsentrasjon i klatrehall.	27
Figur 18: Måling av temperatur i klatrehall.	28
Figur 19: CO ₂ logging under NM i buldring.....	28
Figur 20: Måling av relativ fuktighet ved målepunkter i ventilasjonsaggregatet.	29
Figur 21: Måling av CO ₂ konsentrasjoner ved målepunkter i ventilasjonsaggregatet.	29
Figur 22: Måling av temperatur ved forskjellige punkter i ventilasjonsaggregatet.	30
Figur 23: Støvdekkeprøver av målepunkter i aggregatet.	31
Figur 24: Støvdekkemålinger i punkt 2 og 3 med 3 ukers mellomrom.....	31
Figur 25: Sammenlikning av økning svevestøv fra formiddag til ettermiddag.....	34
Figur 26: Prosentvis økning av svevestøv fra formiddag til ettermiddag.	34
Figur 27: Bilde som viser kalkstøv etter F7 filter i avtrekket.	36
Figur 28: Q-tipsprøve av varmegjenvinner.....	39
Figur 29: Luftmengdebehov for PM ₁₀ støv, med ventilasjonseffektivitet = 1.	42
Figur 30: Luftmengdebehov for PM _{2,5} støv, med ventilasjonseffektivitet = 1.....	42
Figur 31: Luftmengdebehov for PM ₁₀ støv, med ventilasjonseffektivitet = 0,7.	43
Figur 32: Luftmengdebehov for PM _{2,5} støv, med ventilasjonseffektivitet = 0,7.....	44

Tabelliste

Tabell 1: Tabell som viser personbelastning ved målinger.....	13
Tabell 2: Utstysrliste	15
Tabell 3: Temperaturvirkningsgrader roterende varmegjenvinner.	30
Tabell 4: Filtereffektivitet for avtrekksfiltrene måledag 1.....	40
Tabell 5: Filtereffektivitet for avtrekksfiltrene måledag 2.....	40
Tabell 6: Filtereffektivitet for avtrekksfiltrene måledag 3.....	40

1 Innledning

Klatring har blitt en attraktiv idrett å drive med de siste årene. Derfor bygges det flere og flere klatrehaller, med stadig større utfordringer for klatrerne. Når man klatrer brukes det klatrekalk for å få et bedre grep i klatreveggen. Bruken av klatrekalken kan derfor føre til at klatrehaller oppleves som veldig støvete. Hvilket kjent filterprinsipp vil best klare å skille ut partikler når ventilasjonsanlegget i en klatrehall går på omluft?

Klatrehaller skiller seg fra andre typer idrettsbygg med et høyt innhold av partikler i romluften. I denne oppgaven er målinger og analyser begrenset til ett klatresenter.

Bakgrunnen for å filtrere avtrekksluft ligger vanligvis i å beskytte komponenter i ventilasjonsaggregatet. For et klatresenter som benytter omluft store deler av driftstiden, bør filtreringen forhindre at en uforsvarlig mengde partikler dras inn igjen i hallen. I tillegg evalueres dagens ventilasjonsanlegg på bakgrunn av vanlige inneklimatestetere som temperatur, relativ fuktighet og konsentrasjoner av karbondioksid.

Fremgangsmåten for feltmålinger er beskrevet under metode, og resultater fremstilles i form av grafer, som siden diskuteres og evalueres i eget kapittel. Avslutningsvis trekkes det konklusjoner om ventilasjonsanlegget og inneklimatestet i klatrehallen, og anbefalinger for valg som kan tas med tanke på filtrering i nye klatrehaller.

2 Teori

2.1 Omluft

Omluft omhandler prinsippet med resirkulert luft, der avtrekksluft først filtreres før det går gjennom et omluftspjeld og tilbake inn i bygget. Byggeteknisk forskrift (TEK17) §13-1 stiller følgende krav til omluft: «*omluft skal ikke benyttes dersom den forurenses rom hvor mennesker er til stede*». Med dette menes at omluft ikke skal benyttes som ventilasjonsprinsipp, men kan benyttes som ENØK-tiltak i forhold til oppvarming, så lenge kriteriene for tilført luftmengde er overholdt.

2.2 Klatrekalk

Idrettshaller er kjent for å ha store folkemengder med høy aktivitet. Klatrehall er en type idrettshall, med høyt innhold av partikler i romluften. Klatrekalk, også kjent som magnesiumkarbonat, $MgCO_3$ (eng: Magnesia alba), er et stoff som brukes av klatrere. Dette stoffet brukes for å redusere fukt i håndflater ved aktiviteter som klatring, turn eller vektløfting. Grunnen til at man vil redusere fukt er for å øke friksjonen mellom håndflaten og klatreveggen.

I denne oppgaven er det for beregninger og målinger tatt utgangspunkt i at magnesiumkarbonat («magnesia alba») har en tetthet (ρ) på $2,16\text{g/cm}^3$. (Castro *et al.*, 2015)

2.3 Generell filterteori

Filteret har i hovedsak to arbeidsoppgaver: skille ut forurensinger i uteluften, og beskytte komponenter i aggregatet. Hvilke filter som er best egnet avhenger av den typiske luftkvaliteten som sendes gjennom aggregatet. I de fleste tilfeller kan filter velges ut ifra utendørs luftkvalitet (ODAQ), og ønsket innendørs luftkvalitet (IDAQ) (Gustavsson *et al.*, 2011a). Grunnet den svært høye konsentrasjonen av partikler i et klatresenter vil det være nødvendig å beskytte aggregatet med god filtrering av inneluften.

2.3.1 Filterets virkemåte

Ingebrigtsen (Ingebrigtsen et al., 2016) nevner følgende virkemåter for et vanlig ventilasjonsfilter som sammen gir total utskillingsgrad for filteret:

- Sil-effekten som går ut på at partikler stoppes om diameteren på partikkelen er større enn avstanden mellom fibrene i filtermaterialet.
- Kollisjonseffekten (treghetseffekten) som går ut på at partikkelens vekt og hastighet gjør at den ikke klarer å følge luftstrømmen når denne bøyer seg rundt fibrene. Dette fører til en kollisjon med fibrene.
- Oppfangningseffekten som går ut på at partikkelen er liten og lett nok til å følge luftstrømmen rundt fibret, men om partikkelen følger en strømningsbane som ligger nærmere fiberoverflaten enn partikkelens radius vil den treffe fiberen og bli fanget opp.
- Diffusjonseffekten går ut på at små partikler ($<0,5 \mu\text{m}$) vil bevege seg på tvers av luftstrømmen, og dermed øke sjansen for en kollisjon med fibrene i filteret.
- Elektrostatisk ladning vil øke filtreringsgraden i starten av filterets levetid. Denne effekten vil avta ved at partikler fester seg på filterfibrene og vil nøytralisere ladningen.

2.3.2 Filertyper

Filter ble tidligere delt inn i klasser etter middelutskillingsgrad eller middelvirkningsgrad etter NS-EN 779 og NS-EN 1822-1 (Hestad, 2005).

Nå er den nye standarden ISO 16890 innført hvor filter ikke lenger klassifiseres med eksempelvis G3 (grovfilter) og F6 (finfilter), men klassifiserer som enten ISO PM₁, ISO PM_{2,5}, ISO PM₁₀ eller ISO grov. Denne klassifiseringen bygger på hvor mange prosent av PM₁-, PM_{2,5}- eller PM₁₀ støv filteret skiller ut, og er ikke direkte overførbar fra tidligere klassifiseringsmetoder. Kravet er minimum 50 % utskillingsgrad for å bli plassert i en klasse (Interfil).

Videre i denne oppgaven navngis filter etter NS-EN 779 da det er denne benevnningen som er brukt for de filtrene som står i dagens anlegg.

Det finnes mange forskjellige typer filter. Vanlige filertyper i ventilasjonsanlegg er eksempelvis posefilter, platefilter og kombinasjonsfilter (gass og partikkelfilter).

Gassfilter benyttes for å fjerne gassmolekyler. Filtreringen fungerer ved adsorpsjon slik at gassmolekyler holdes igjen på overflaten av det materialet som blir brukt. Vanlige gasser som vurderes fjernet ved bruk av gassfilter er SO₂, NO, NO₂, O₃ og VOC (flyktige organiske forbindelser) (Gustavsson *et al.*, 2011b).

REHVA guidebook (Gustavsson *et al.*, 2011c) forklarer virkemåten til et elektrofilter. Elektrofiltre består av en ioniserende del og en del bestående av oppfangende plater. Partiklene blir positivt ladet når de passerer ioniseringsdelen, slik at de tiltrekkes og festes i plater med negativ ladning. De oppfangende platene bygges opp slik at plater med positiv ladning hjelper med å tvinge partiklene mot platene med negativ ladning.

2.3.3 Filterets levetid

Filteret vil over tid samle opp partikler, og dermed vil også trykkfallet over filteret øke. Økt trykkfall forbindes vanligvis med en bedring i filtereffektivitet, da dette betyr at filteret vil slippe igjennom enda færre partikler. For noen typer filter kan det økte trykktapet føre til at «kaker» av partikler frigjøres og sendes gjennom filteret. Det samme kan skje med elektrofiltre, som over tid kan bli nøytralisert nok til at det slipper gjennom en stor mengde partikler, og derfor krever denne typen filter gode rutiner med rengjøring (Gustavsson, 2013a).

Et filter bør byttes når et gitt sluttrykkfall er nådd. Starttrykkfall og anbefalt sluttrykkfall står oppført i filterets datablad. Hvor lenge det bør gå mellom filterbytter avhenger også av hva slags partikler som samles opp i det aktuelle filteret med tanke på bakterievekst og hygiene (Gustavsson *et al.*, 2011d).

2.4 Svevestøv

2.4.1 Partikkelstørrelser

Partikkelstørrelsen er som oftest angitt i μm (mikrometer), men kan angis i flere enheter. Dette kommer av at partikler har forskjellig form og tetthet. Gustavsson (Gustavsson, 2013a) viser til forskjellige definisjoner av partikkelstørrelse: Den geometriske størrelsen som er partikkelens direkte målbare størrelse, og den aerodynamiske størrelsen som er basert på partikkelens fallhastighet i stillestående luft sammenliknet med en kule med tetthet på 1000kg/m^3 . Den aerodynamiske størrelsen er gitt som:

$$Da = Dg * \sqrt{\frac{\rho}{1000}} \quad (1)$$

Hvor D_a er den aerodynamiske diameter

D_g er den geometriske diameter

ρ er partikkelens tetthet.

Partikkelstørrelsen kan benyttes til å velge riktig type filter for det aktuelle ventilasjonsaggregatet.

Svevestøv deles inn i kategorier etter den totale massen under en aerodynamisk diameter (D_a) (Folkehelseinstituttet, 2017):

PM₁₀	$10 \mu\text{m} > D_a$
PM_{10-2,5}	$2,5 \mu\text{m} - 10 \mu\text{m}$ (grovfraksjon)
PM_{2,5}	$2,5 \mu\text{m} > D_a$ (finfraksjon)
PM_{0,1}	$D_a < 0,1 \mu\text{m}$ (ultrafin fraksjon)

2.4.2 Partikkelutskilling i luftveiene

Partikler skilles ut i ulik grad nedover i luftveiene avhengig av partikkelstørrelse. I følge Gustavsson (Gustavsson, 2013a) er partikler med diameter $< 1,0 \mu\text{m}$ mest skadelig da de lettest trenger ned i lungene og kan forårsake lungesykdom.

2.4.3 Grenseverdier

Folkehelseinstituttet og miljødirektoratet (Folkehelseinstituttet, 2017) har fastsatt følgende anbefalte grenseverdier for svevestøv utendørs:

	Døgnmiddel	Årsmiddel
PM₁₀	30 µg/m ³	20 µg/m ³
PM_{2,5}	15 µg/m ³	8 µg/m ³

I folkehelseinstituttet sin rapport for anbefalte faglige normer for inneklime står det «*I inneluft vil PM_{2,5}-fraksjonen være dominert av små partikler (PM_{2,5}-fraksjon eller mindre), enten partiklene kommer fra uteluften eller genereres inne. I denne vurderingen ser vi derfor bort fra partikler over PM_{2,5}.*» (folkehelseinstitutt, 2015), og de har konkludert med følgende anbefaling for konsentrasjon av svevestøv innendørs:

	Døgnmiddel	Årsmiddel
PM_{2,5}	15 µg/m ³	8 µg/m ³

2.5 Varmegjenvinner

En varmegjenvinner har som oppgave å gjenvinne mest mulig varme fra avtrekksluft til tilluft, så det brukes minst mulig ekstra energi for å oppnå ønsket tilluftstemperatur.

Varmegjenvinnere deles inn i to hovedkategorier: regenerativ varmegjenvinner og rekuperativ varmegjenvinner. Regenerative varmegjenvinnere overfører både følbare og latent varme. Dette betyr at fuktighet vil kondenseres i avtrekksluften, og deretter fordampe i tilluften. Roterende varmegjenvinner er et eksempel på dette. Rekuperative varmegjenvinnere overfører kun følbare varme. Her er luftstrømmene fysisk adskilt, som gjør at det ikke overføres noe som helst fuktighet (Ingebrigtsen *et al.*, 2016).

Temperaturvirkningsgraden til varmegjenvinneren kan regnes ut med følgende formel hentet fra byggforskserien (Schild og Hestad, 2002):

$$\eta = \frac{L_t \cdot (T_2 - T_1)}{L_{min} \cdot (T_3 - T_1)} * 100\% \quad (2)$$

Hvor: L_t er luftmengde tilluft

L_{min} er den minste luftmengden av tilluft og avtrekk

T_1 er temperatur i tilluft før varmeveksler

T_2 er temperatur i tilluft etter varmeveksler

T_3 er temperatur i avtrekk før varmeveksler

2.6 Karbondioksid, CO₂

For å karakterisere en bygnings ventilasjonsbehov, ser man blant annet på CO₂-produksjon som forekommer i bygget. Karbondioksid er en gass som dannes ved forbrenning i kroppen til mennesker (Haraldsen og Pedersen, 2018). Et menneske avgir CO₂ i ulik grad avhengig av fysisk aktivitet. Konsentrasjonen vil øke med et økende antall av mennesker i et bygg.

Ventilasjonsanlegget har som oppgave å skifte ut denne lufta med ny luft utenfra. Høye konsentrasjoner av CO₂ er ikke skadelig, men lufta kan virke tung og man kan begynne å merke kroppslukt (Aas, 2010). Folkehelseinstituttet har satt et normkrav for CO₂-innhold i inneluft på 1000 ppm («parts per million) (Folkehelseinstituttet, 2015).

2.7 Relativ fuktighet

Forholdet mellom mengden vanndamp i luft og den maksimale mengden vanndamp som luften kan inneholde om den var mettet, kalles for relativ fuktighet og måles i %. Dette er en parameter som er vanlig å måle når man skal karakterisere inneklimate i et bygg. Det er ikke gunstig med for høy eller for lav luftfuktighet i rommet. Luftfuktighet over 70 % kan bidra til lukt, mugg og bygningskader, mens luftfuktighet under 20 % kan føre til slimhinne- og øyeirritasjon og tørr hud (folkehelseinstitutt, 2015).

2.8 Nødvendig luftmengde

En vanlig metode for utregning av luftmengdebehov er å ta hensyn til personbelastning og emisjoner fra bygninger som tilsvarer de aktuelle kravene i gjeldene byggt teknisk forskrift. Ingebrigtsen (Ingebrigtsen *et al.*, 2016) viser til følgende alternative formel for utregning av nødvendig tilført uteluft basert på forurensninger:

$$\dot{V}_u = \frac{G}{C_i - C_u} * \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (3)$$

Der \dot{V}_u er nødvendig tilført uteluft [m^3/h]

G er forurensningsbelastning av det angitte stoff [$\mu\text{g}/\text{s}$]

C_i er tillatt konsentrasjon av forurensning inne [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

C_u er konsentrasjon av forurensning i uteluft [$\mu\text{g}/\text{m}^3$]

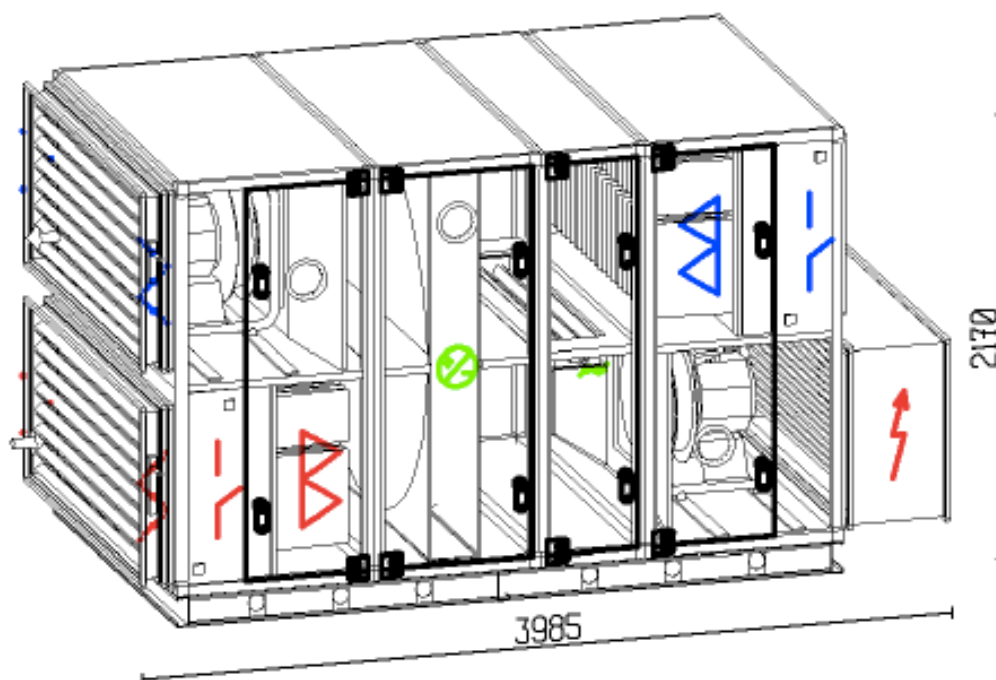
ε_v er ventilasjonseffektivitet [-]

3 Metode

Det ble gjennomført tre hovedserier med målinger over tre forskjellige dager. Svevestøv, karbondioksid, relativ fuktighet, temperatur og luftmengde ble målt. Det var viktig å både se på ventilasjonsaggregatet og på selve inneklimate i rommet. Det ble gjennomført målinger utendørs, for å kunne sammenligne med målinger gjort inne i klatrehallen.

Ventilasjonsanlegget gikk på omluft på nattetid og på dagtid. På ettermiddagen/kvelden slo det over på friskluft, men ved forskjellige tidspunkter for de tre måledagene. Måledag 1 slo anlegget over kl. 1800, mens måledag 2 slo det over kl. 1700. Måledag 3 sto anlegget på friskluft hele dagen, som det også hadde gjort dagen før. Det var da interessant å se hvordan dette påvirket inneklimate i bygget. Omluftmålingene ble gjennomført på formiddagen, da det var ganske lite folk ved klatresenteret. Under friskluftmålingene som ble gjennomført på ettermiddag/kveld etter at anlegget hadde slått om, var det en stor økning i antall klatrere i hallen.

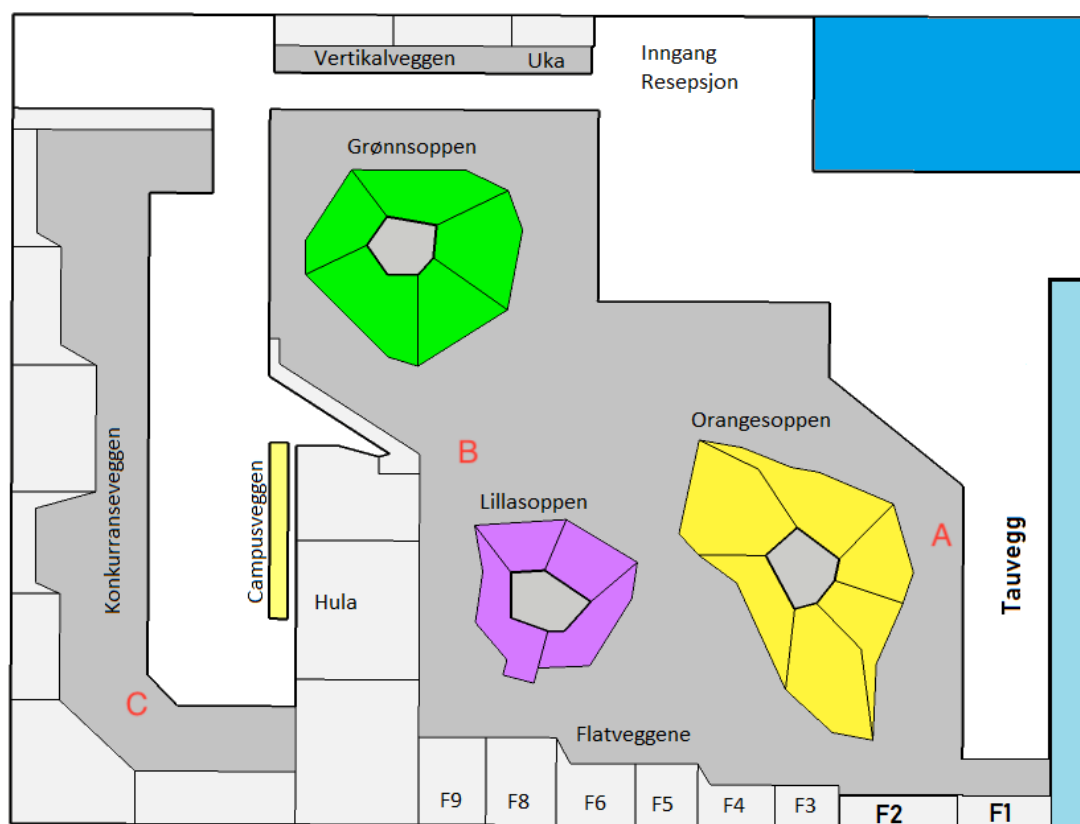
3.1 Fasiliteter



Figur 1: Aggregatskisse fra Systemair.

Ventilasjonsaggregatet er plassert åpent ut mot klatrehallen på en hems oppunder taket. Avkast- og inntaksrist er plassert på vegg. Aggregatet skal ifølge datablad gi en maksimal

luftmengde på 12 000 m³/h. Det er utstyrt med en roterende varmegjenvinner med en oppgitt temperaturvirkningsgrad på 82,7 % på vinterstid. Det står et omluftspjeld før varmegjenvinneren på avtrekkssiden. Filtrene som står i aggregatet er F7 filtre, med et oppgitt starttrykkfall på 70 Pa og sluttrykkfall på 200 Pa (vedlegg 3). I tillegg står det et G4 grovfilter plassert på avtrekket, som skal fange opp de største partiklene. Tidligere sto det en filterrist i avtrekket for å ta seg av de groveste partiklene, men det viste seg at F7 filteret allikevel gikk fort tett. Derfor benyttes det i dag G4 filterduk, og den originale filterristen fungerer som en ramme. Aggregatet er innstilt på mer luftmengde inn i rommet enn det som blir trukket ut. Det vil si at det blir et overtrykk i hallen.



Figur 2: Plantegning av klatresenter med målepunkter.

Bygget består av flere rom, men det var den store klatrehallen det ble tatt utgangspunkt i når målingene ble utført. Hallen har et areal på 1108 m², med en gjennomsnittlig høyde på 6 meter. Hele ventilasjonsanlegget er dimensjonert for 264 personer, og er bygd og prosjektert med omrøringsventilasjon som prinsipp.

3.2 Målingsprosedyre

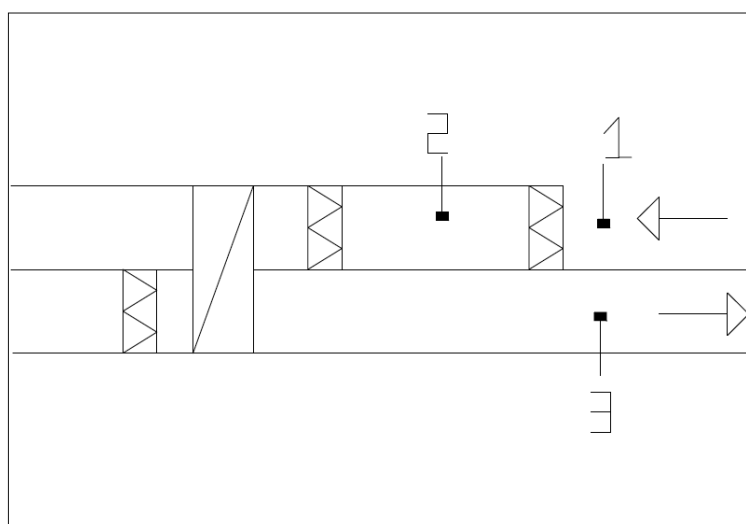
Antallet personer tilstede under målingene varierte stort. Tabellen under viser et anslag for antall personer i klatrehallen under de forskjellige målerseriene. Den 21.02.19 var det stor variasjon i personbelastning under gjennomføringen av målingene.

Tabell 1: Tabell som viser personbelastning ved målinger.

Måledag	Dato	Formiddag	Ettermiddag
1	21.02.19	40-50 pers	100-150 pers
2	11.03.19	40 pers	100 pers
3	15.03.19	20 pers	60 pers

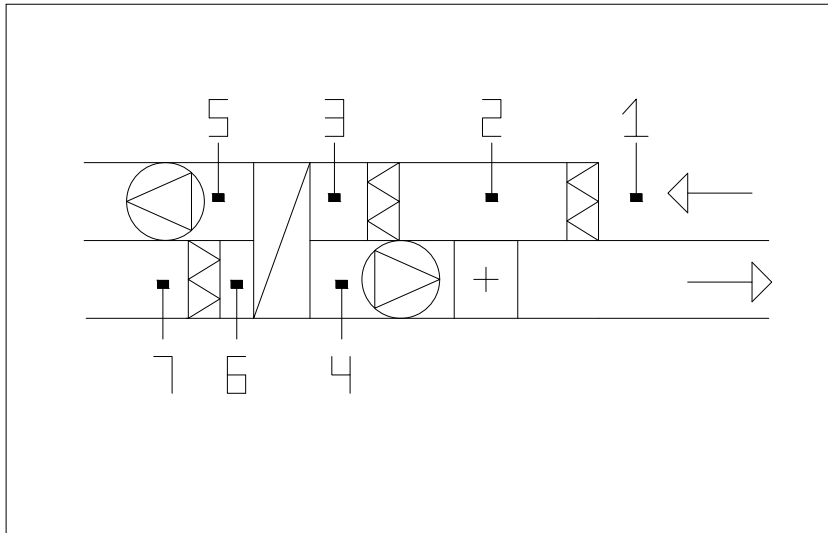
I rommet ble det valgt tre punkter, punkt A, B og C, som vist på plantegningen. Dette var for å se om det er store forskjeller rundt om i hallen, og for å finne ut hvordan luften til klatrerne var jevnt over i hallen. Målingene ble gjennomført i oppholdssonen, i 1,70 meters høyde. Følgende parametere ble målt: svevestøv, ultrafint støv, temperatur, CO₂ og relativ fuktighet.

I aggregatet ble det også valgt tre punkter, som vist i figur 3. Punkt 1 var før grovfilteret på avtrekket, punkt 2 var etter grovfilter i avtrekket, og punkt 3 var i tilluftskanalen (etter finfilter). Svevestøv ble målt i alle tre punkter, mens karbondioksid, relativ fuktighet og temperatur ble bare målt i punkt 1 og 3. Grunnen til at punkt 2 ikke ble målt var fordi det kun var hensiktsmessig å måle forandring av svevestøv mellom avtrekksfiltrene.



Figur 3: Målepunkter for ventilasjonsaggregat.

Støvdekkeprosenten ble målt på 7 punkter i aggregatet. Her ble BM Dustdetector benyttet for å få støvdekkeprosenten. Støvdekkeprøvene ble videre benyttet til fotografering i mikroskop. For å se utviklingen av støvdekkeprosent over tid, ble punkt 2 og 3 rengjort og tatt nye målinger av. Deretter ble støvdekkeprosenten målt på nytt etter 3 uker. Figur 4 viser målepunkter benyttet for støvdekkemålinger.



Figur 4: Målepunkter for støvdekkeprøver.

Det ble gjennomført målinger for å sjekke temperaturvirkningsgraden på varmegjenvinneren. Det ble da målt temperatur på alle fire sider av den roterende gjenvinneren i henhold til metoden forklart i kapittel 2.5. I tillegg til måling av temperatur direkte var det nødvendig å måle luftmengde, da oppgitt luftmengde på display ikke stemte overens med luftmengden som ble sendt ut i hallen. Utregningen av luftmengde forklares videre i kapittel 3.7.2.

3.3 Måleutstyr

Tabell 2: Utstyrliste

Navn	Måleparameter	Enhet
Rotronic	Temperatur, CO ₂ , relativ fuktighet	°C, ppm, %
Fluke 51 II Thermometer	Temperatur	°C
AeroTrak Particle counter	Svevestøv	pt/m ³
P-Trak 8525	Ultrafint støv	pt/cc
BM Dustdetector	Støvdekke	%
SwemaAir 300	Lufthastighet	m/s

Rotronic er et apparat som måler flere parametere, blant annet temperatur, CO₂ og relativ fuktighet. Det er et digitalt apparat med en føler, som gir kontinuerlige verdier.

Fluke 51 ble brukt for å måle temperaturene rundt varmegjenvinneren. Dette apparatet ble brukt fremfor Rotronic, da apparatet er mer egnet for målinger i selve aggregatet.

Svevestøv ble målt med AeroTrak. Apparatet fungerer ved at det suger til seg luft over en viss tid. I dette tilfellet ble det sugd inn 2,83 liter i løpet av et minutt. I starten av hver målingsdag, ble det påsett at apparatet var kalibrert. Dette foregikk ved at en tube ble koblet på for testmåling. AeroTrak teller partikler i størrelser fra 0,3 til 10 µm.

Kalibrering måtte også gjøres på P-Trak, som målte ultrafint støv. Her måtte det i tillegg settes inn en metallspyle som var dynket i sprit før hver måling. Dette apparatet måler partikler mindre enn 0,1 µm, oppgitt i antall partikler per kubikkcentimeter [pt/cc].

Støvdekkeprøvene ble målt av BM Dustdetector, som benytter gelteip. Denne teipen måtte først kalibreres til null prosent, for så å klistre den fast på den flaten som skulle måles. Over teipen ble det benyttet en kjevle, som skulle rulles med en eksakt kraft tre ganger. Deretter ble teipen tatt av, og satt i apparatet for å se hvor mange prosent av flaten som var dekket av støv.

SwemaAir 300 ble brukt for å finne luftmengden i tilluftskanalen. Apparatet gir ikke luftmengden direkte, men lufthastighet i m/s. Metoden for å finne volumstrømmen kalles for traversering. Her måler man hastigheten i 8 forskjellige punkter i kanalen, og benytter en gjennomsnittshastighet for å beregne luftmengden som forklart i kapittel 3.8.

3.4 Analyse av filter og støvdekkeprøver

Tre dager før målingsdag 1 ble F7-filteret på avtrekkssiden byttet. Det brukte filteret ble sendt til Stockholm for analyse, utført av Camfil. Denne analysen skulle gi svar på hva som var fanget opp av filteret.

Det ble også benyttet mikroskop for fotografering av støvprøvene som ble tatt i aggregatet, for å se på form og størrelse på partiklene. For fotografering ble prøvene sendt til Bente Hellum ved Oslo Met.

3.5 Røykforsøk

Det ble gjennomført et røykforsøk utendørs. Dette ble gjennomført for å se om det var kortslutning mellom avkast og inntak. Røykkilden ble plassert foran avkastet, for å se om røyken trakk inn igjen i inntaket.



Figur 5: Røykforsøk for undersøkelse av mulig kortslutning

3.6 Logging av CO₂

08/04 til 10/04 ble det arrangert NM i buldring i klatrehallen. I den forbindelse ble det plassert en CO₂-logger i hallen for å måle utviklingen av karbondioksid med et høyt antall personer i hallen. CO₂-måleren ble festet oppe ved aggregatet, der avtrekksluften trakk inn i aggregatet.

3.7 Utregning av partikkelkonsentrasjon

For å kunne sammenligne partikkelantallet i hallen med anbefalte grenseverdier fra folkehelseinstituttet, var det nødvendig å regne om fra partikler/m³ til µg/m³.

Følgende formler fra varme- og klimateknikk (Gustavsson, 2013b) ble benyttet for omregning mellom partikkelkonsentrasjon N [partikler/m³] og forurensningskonsentrasjon c [µg/m³].

$$N = A_2 * \int_{D_1}^{D_2} D^{-(n+1)} * dD \quad [\text{partikler/m}^3] \quad (3)$$

$$c = A_2 * \frac{\rho * \pi}{6} * \int_{D_1}^{D_2} D^{(2-n)} * dD \quad [\text{kg/m}^3] \quad (4)$$

Hvor N er partikkelkonsentrasjon [partikler/m³]

D er partikkeldiameter [m]

A_2 er en konstant

ρ er partikkeltettheten [kg/cm³]

c er forurensningskonsentrasjonen [kg/m³]

n er en konstant, som settes til 2,5.

(Gustavsson, 2013a)

Her settes den generelle tettheten til klatrekalk som:

$$\rho = 2,16 \text{ g/cm}^3 \text{ (Castro } et al., 2015)$$

Utregning av PM₁₀

For utregning av PM₁₀ støv får man $D_1=0,3 \mu\text{m}$ og $D_2=10 \mu\text{m}$ som gir:

Fra formel (3)

$$\int_{D_1}^{D_2} D^{-(n+1)} * dD = \int_{0,3 * 10^{-6} \text{m}}^{10 * 10^{-6} \text{m}} D^{-(2,5+1)} * dD = 8,1131134448 * 10^{15}$$

Fra formel (4)

$$\frac{\rho \cdot \pi}{6} * \int_{D_1}^{D_2} D^{(2-n)} * dD = \frac{2160 \cdot \pi}{6} * \int_{0,3 \cdot 10^{-6} m}^{10 \cdot 10^{-6} m} D^{(2-2,5)} * dD = 5,914$$

Finner så A_2 ved bruk av formel (3):

$$A_2 = \frac{N}{8,1131143348 \cdot 10^{15}}$$

Finner til slutt c ved å sette inn verdien for A_2 i (4)

$$c = \frac{N}{8,1131143348 \cdot 10^{15}} * 5,914 * 10^9 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$$

Utrekning av PM_{2,5}

For utregning av PM_{2,5} støv blir den totale massen av partikler fra 0,3 μm til 3 μm benyttet, da 3 μm er den nærmeste størrelsen til 2,5 μm på de måleapparatene som ble brukt. (Se kapittel 2.4.1 for forklaring av PM-størrelser).

Derfor settes da $D_1=0,3\mu\text{m}$ og $D_2=3\mu\text{m}$ som gir:

Fra formel (3)

$$\int_{D_1}^{D_2} D^{-(n+1)} * dD = \int_{0,3 \cdot 10^{-6} m}^{3 \cdot 10^{-6} m} D^{-(2,5+1)} * dD = 8,088748247371811 * 10^{15}$$

Fra formel (4)

$$\frac{\rho \cdot \pi}{6} * \int_{D_1}^{D_2} D^{(2-n)} * dD = \frac{2160 \cdot \pi}{6} * \int_{0,3 \cdot 10^{-6} m}^{3 \cdot 10^{-6} m} D^{(2-2,5)} * dD = 2,6789$$

Finner så A_2

$$A_2 = \frac{N}{8,088748247371811 \cdot 10^{15}}$$

Finner til slutt c ved å sette inn verdien for A_2 i (4)

$$c = \frac{N}{8,088748247371811 \cdot 10^{15}} * 2,6789 * 10^9 [\mu\text{g}/\text{m}^3]$$

3.8 Utregning av luftmengde

Følgende formel ble benyttet for utregning av luftmengde i tilluftskanalen:

$$q_v = i * v_m * A * 3600 \quad (5)$$

Der q_v er luftmengde [m^3/h]

i er en korreksjonsfaktor lik 0,98

A er tverrsnittarealet av kanalen [m^2]

v_m er gjennomsnittshastigheten i kanalen [m/s]

Gjennomsnittshastigheten i kanalen er målt med traversering som beskrevet av Stensaas i ventilasjonsteknikk del 1 s. 287 (Stensaas og Hovland, 2001).

Luftmengden i tilluft og avtrekk styres ved å stille inn ønsket trykk over viften som ved gitt viftekarakteristikk skal gi en bestemt luftmengde.

Formelen for utregning av luftmengde ved hjelp av differensialtrykk over viften er gitt som

$$q_v = k * \sqrt{\Delta p_w} \quad (6)$$

(Ziehl-abegg, 2018)

Hvor q_v er luftmengde [m^3/h]

k er en proporsjonalitetsfaktor

Δp_w er differensialtrykket [Pa]

I databladet for aggregatet er k oppgitt til 381 for kammerviftene. Ved luftmengdemålinger i tilluftskanalen viste det seg at oppgitt luftmengde på display ikke viste riktig verdi. Derfor var det nødvendig å regne ut en ny k -verdi som gav riktig luftmengde i forhold til det oppgitte trykk over viftene ved å snu om på formelen. Det ble tatt flere målinger og regnet ut en gjennomsnittlig k -verdi.

Som nevnt i kapittel 3.1 er det et overtrykk i hallen. Derfor ble den «nye» k -verdien benyttet for å finne luftmengden i avtrekket da denne var vanskelig å måle.

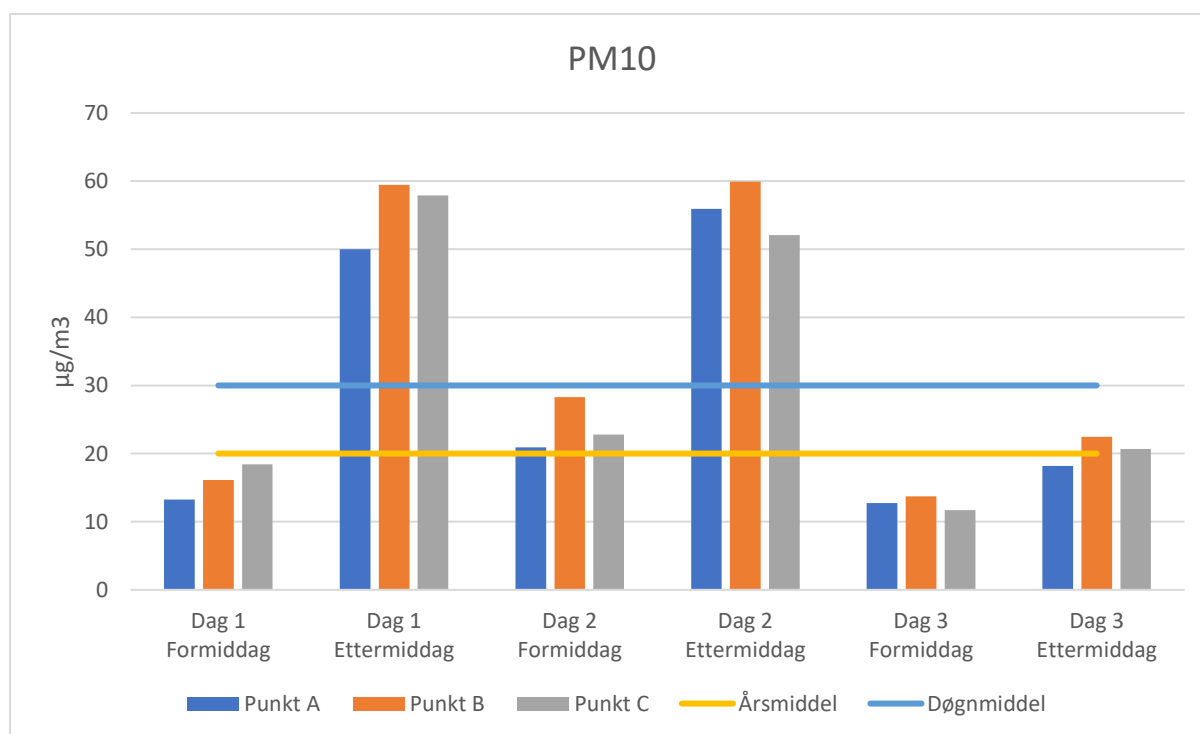
4 Resultat

I dette kapittelet presenteres alle resultater som har blitt målt på en enkel og grei måte. Det er derfor utarbeidet grafer, som skal vise en bestemt verdi til hvert tidspunkt. Det er gjort flere målingsrunder for å få statistisk gode resultater.

4.1 Konsentrasjoner av svevestøv

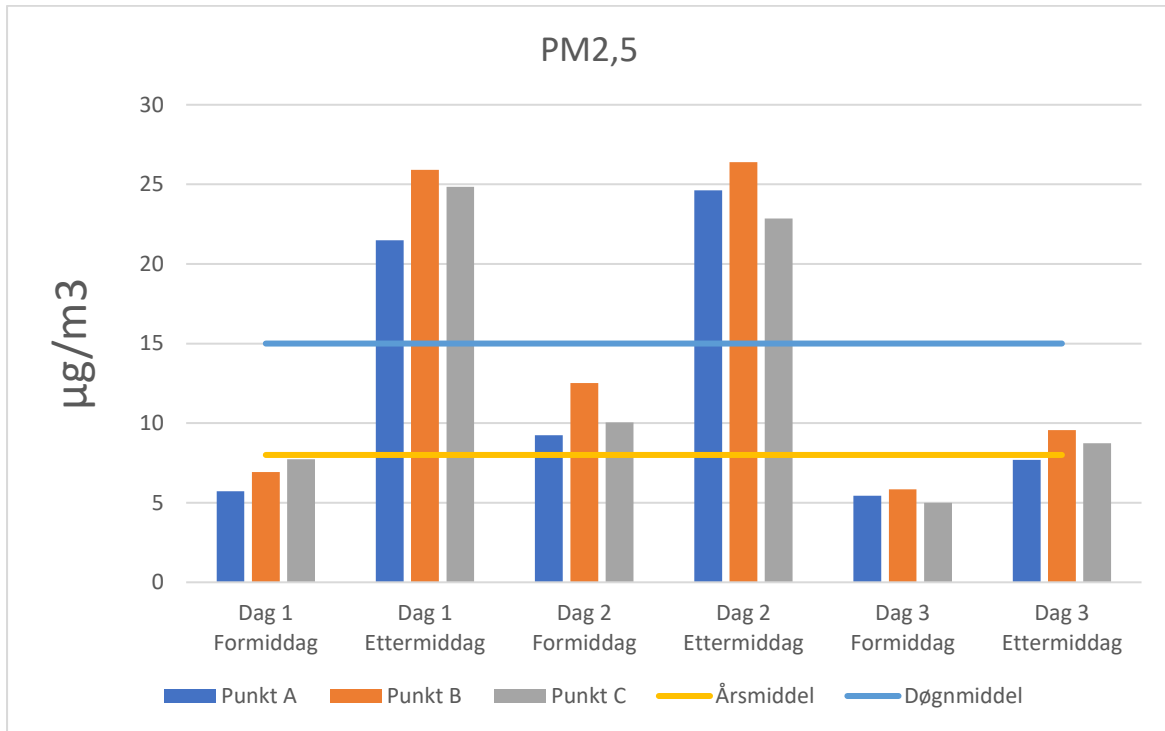
4.1.1 Svevestøv i klatrehall

Partikkeltelling av svevestøv ble gjort i forskjellige størrelser. Her vises målte verdier av PM₁₀ og PM_{2,5} ved de ulike måledagene. Man ser ut fra figurene at forholdet mellom PM₁₀-støv og PM_{2,5}-støv er omtrent det samme ved hvert tidspunkt. Figur 6 viser PM₁₀ konsentrasjoner i hallen sammenliknet med anbefalte utendørs årsmiddel- og døgnmiddel grenseverdier fra FHI (Folkehelseinstituttet, 2017) som gir et bilde av mengden svevestøv.



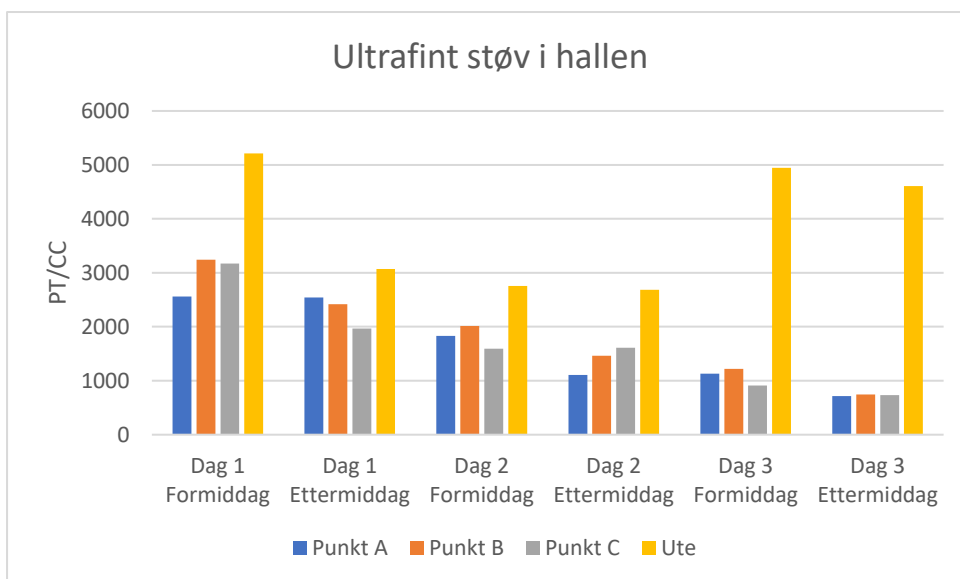
Figur 6: PM₁₀ konsentrasjoner i hallen sammenliknet med grenseverdier fra FHI.

Figur 7 viser PM_{2,5} konsentrasjoner i hallen sammenliknet med anbefalt faglig norm for innendørs svevestøv fra FHI (folkehelseinstitutt, 2015).



Figur 7: PM_{2,5} konsentrasjoner i hallen sammenliknet med anbefalt faglig norm fra FHI.

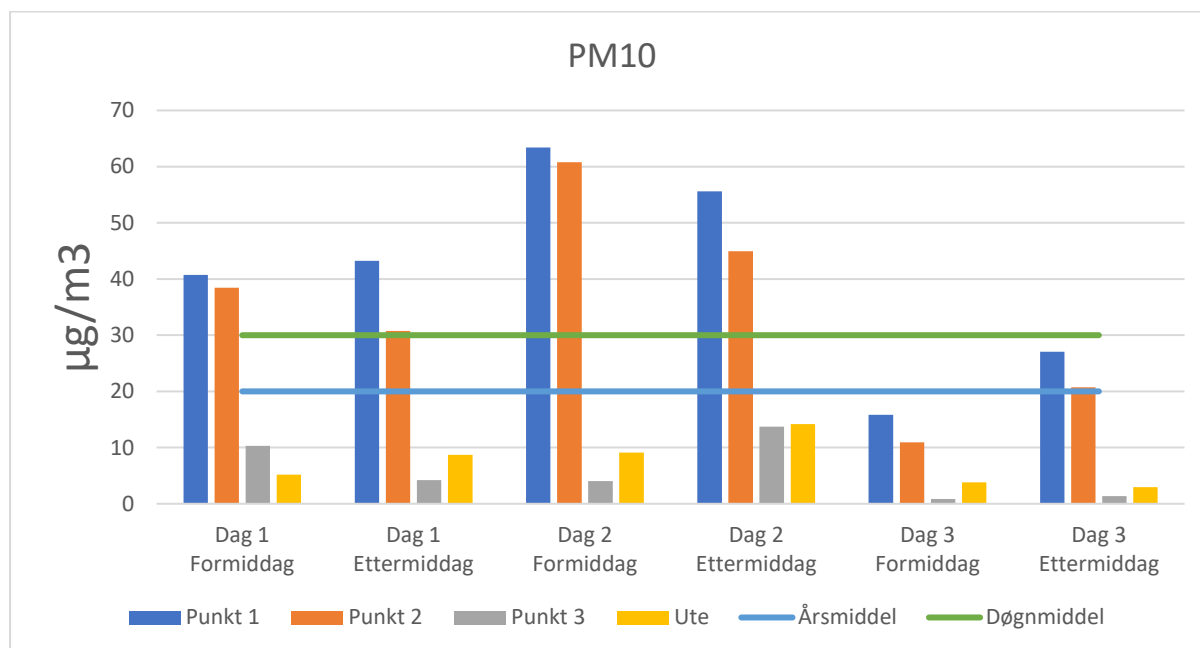
Ultrafint støv ble målt ved de samme punktene og er vist i figur 8. Dette er oppgitt i partikler per kubikkcentimeter, og viser innholdet ved de ulike tidspunktene. I tillegg til målepunkt A, B og C er også utendørsmålingene lagt inn i grafen for å kunne sammenlikne. Her ser man at målingen utendørs utelukkende gav en høyere verdi enn innendørs.



Figur 8: Ultrafint støv i klatrehallen

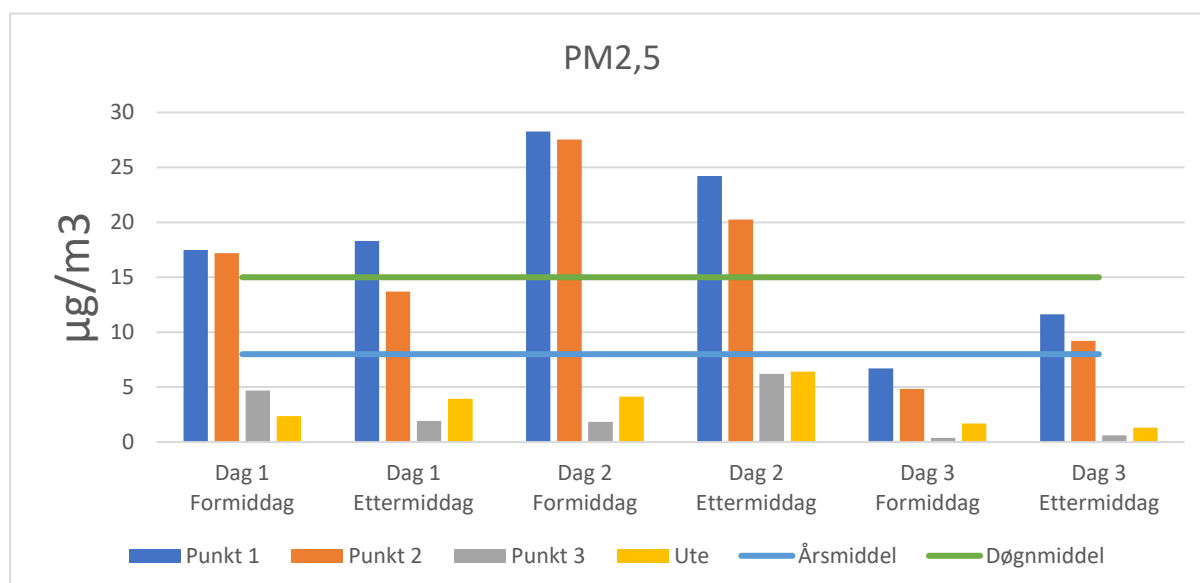
4.1.2 Svevestøv i aggregat

Svevestøv ble målt i aggregatet ved de punktene som er beskrevet i figur 3 i kapittel 3.2. Diagrammet under viser PM₁₀ konsentrasjoner i de forskjellige målepunktene ved de ulike måledagene. Her er støvkonsentrasjonen sammenliknet med anbefalte grenseverdier for svevestøv utendørs fra folkehelseinstituttet (Folkehelseinstituttet, 2017).



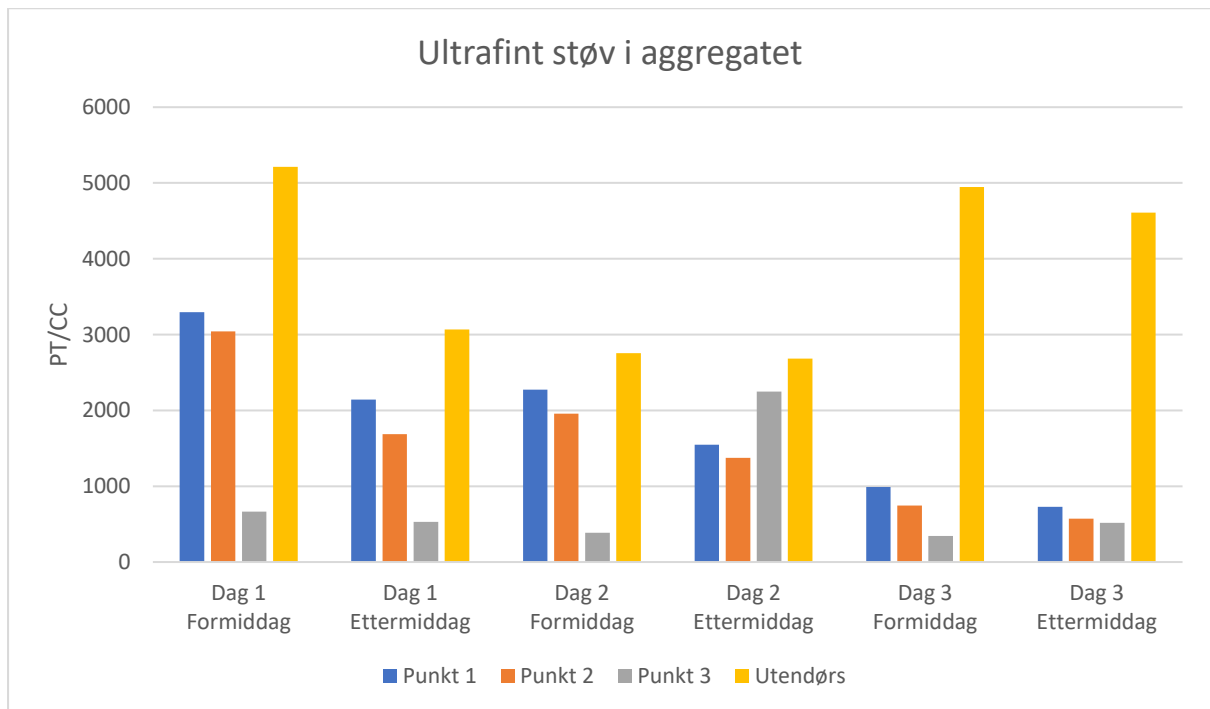
Figur 9: PM₁₀ konsentrasjoner i aggregat sammenliknet med grenseverdier fra FHI.

Figur 10 viser konsentrasjonen av PM_{2,5} støv sammenliknet med anbefalt faglig norm fra FHI (folkehelseinstitutt, 2015).



Figur 10: PM_{2,5} konsentrasjoner i aggregat sammenliknet med anbefalt faglig norm fra FHI.

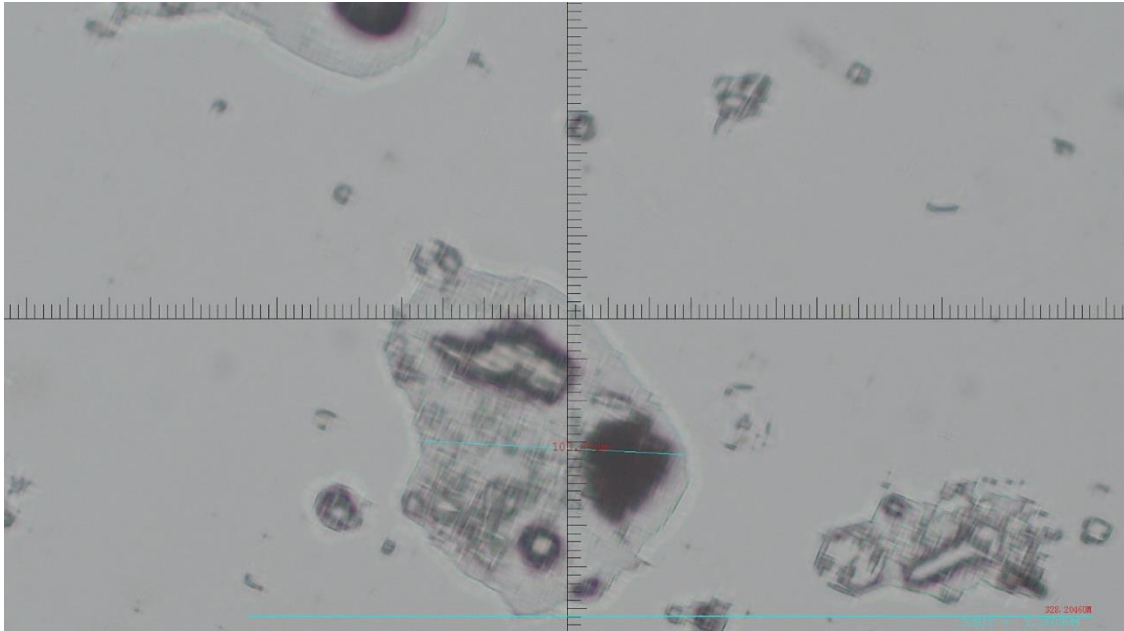
Diagrammet under viser konsentrasjoner av ultrafint støv i samme målepunkter (figur 3). Her er også konsentrasjoner målt utendørs lagt inn ved alle måletidspunkt for å kunne sammenlikne. Det er tydelig at det til enhver tid var høyere konsentrasjon av ultrafint støv utendørs.



Figur 11: Ultrafint støv målt i aggregatet

4.2 Filteranalyse og foto av støvdekkeprøver

Figur 12 viser et bilde av støvdekkeprøve tatt før noen form for filtrering (målepunkt 1). Avstanden mellom størrelseslinjene på bildet tilsvarer 3,1909 μm , diameteren på det markerte området på bildet er 103,85 μm .



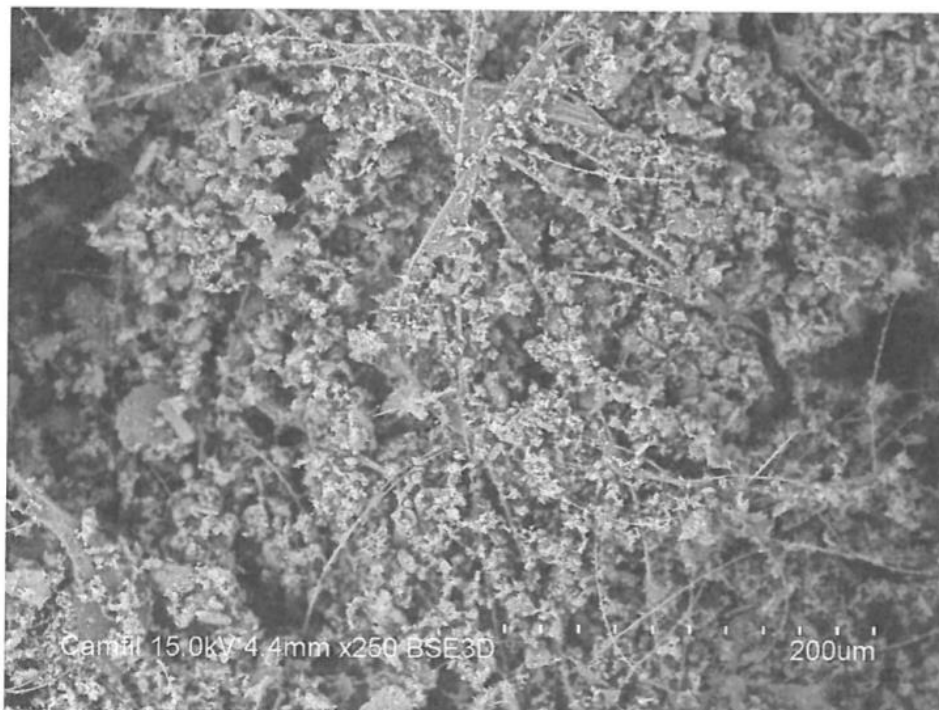
Figur 12: Mikroskopi av støvdekkeprøve i punkt 1. Forstørrelse x200. Foto: Bente Hellum.

Figur 13 viser et bilde av støvdekkeprøve tatt på sidevegg i aggregatet etter den roterende varmegjenvinneren i avtrekket (målepunkt 5). Partikkelen som ligger inne i den grønne sirkelen øverst i venstre bildekant har en diameter på ca. 83,61 μm .



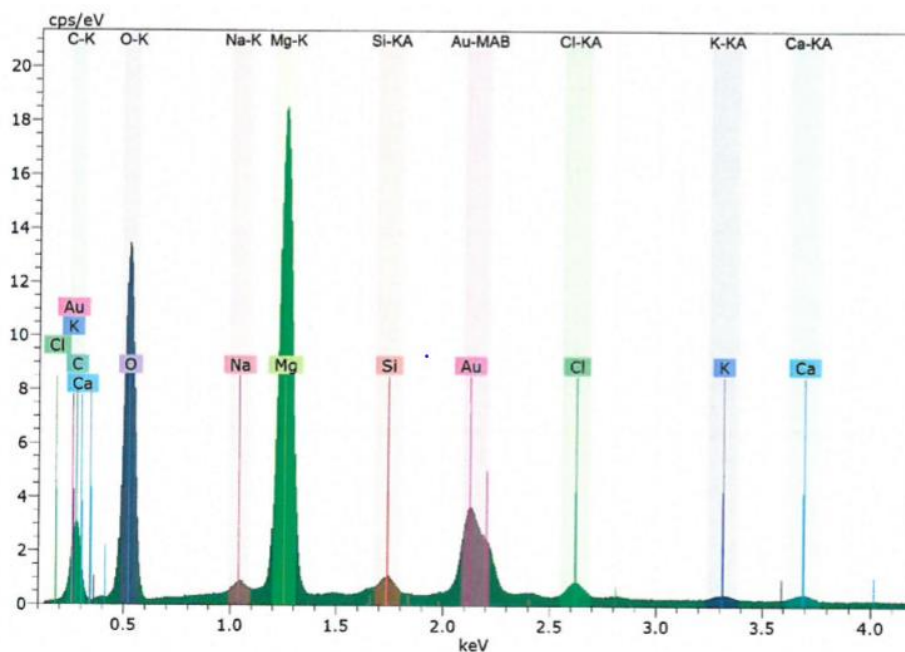
Figur 13: Støvdekkeprøve tatt i punkt 5. Forstørrelse x100. Foto: Bente Hellum.

Figur 14 viser et bilde av filterduken som Camfil gjorde analyse av. «Trådene» er filtermediet, med partikler som ligger rundt.



Figur 14: Bilde av filtermediet med forstørrelse x250. Foto: Camfil.

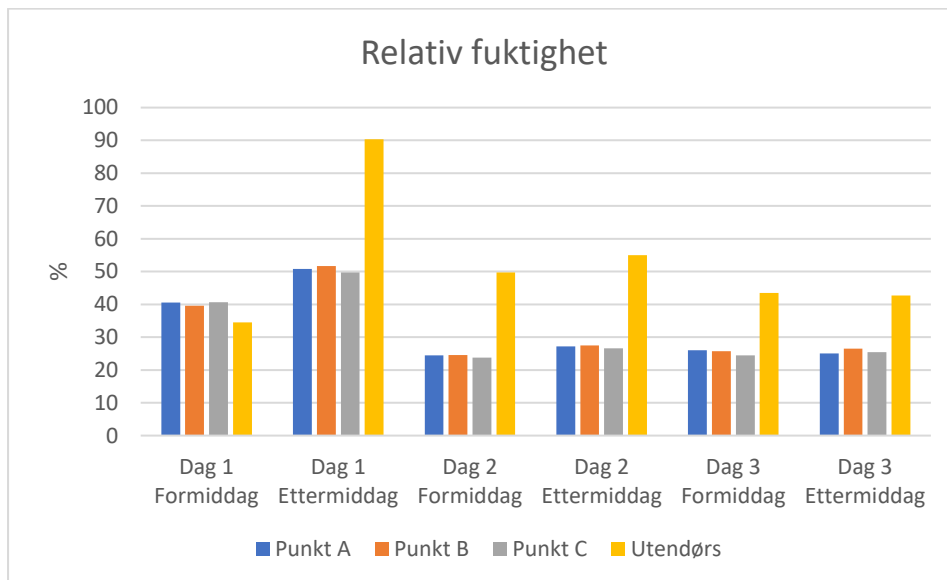
Figur 15 fra filteranalysen gjennomført av Camfil viser hvilke stoffer som er fanget opp i filterduken, og mengdeforholdet mellom dem.



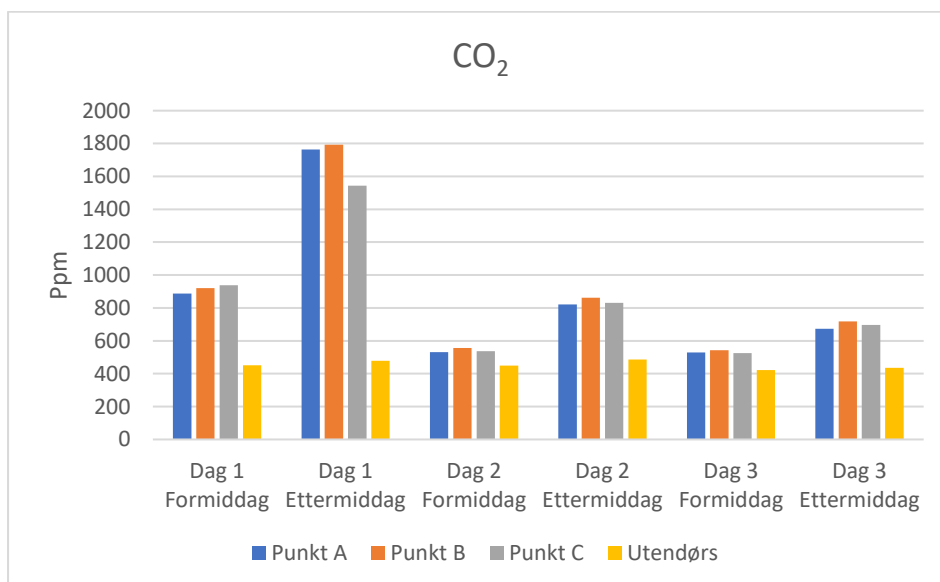
Figur 15: Fordeling av stoffer i filter.

4.3 RF, CO₂ og temperatur i klatrehallen

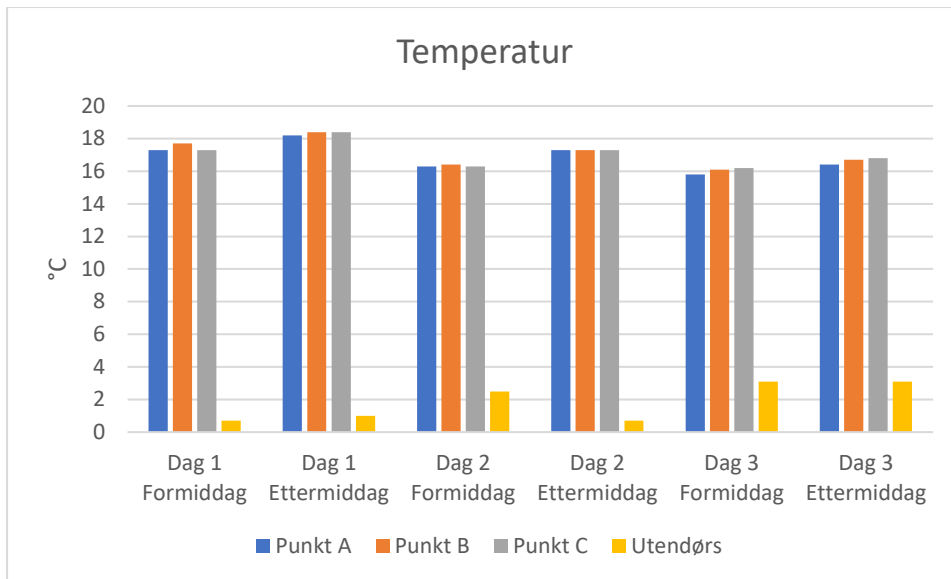
Grafene i dette kapittelet framstiller relativ fuktighet, karbondioksidinnhold og temperatur i klatrehallen.



Figur 16: Målinger av relativ fuktighet i klatrehall.

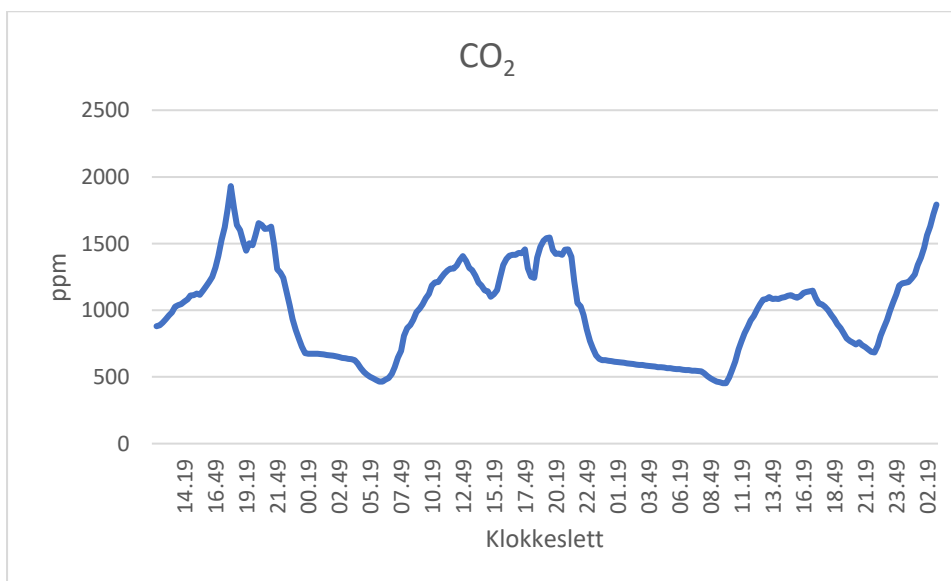


Figur 17: Målinger av CO₂ konsentrasjon i klatrehall.



Figur 18: Måling av temperatur i klatrehall.

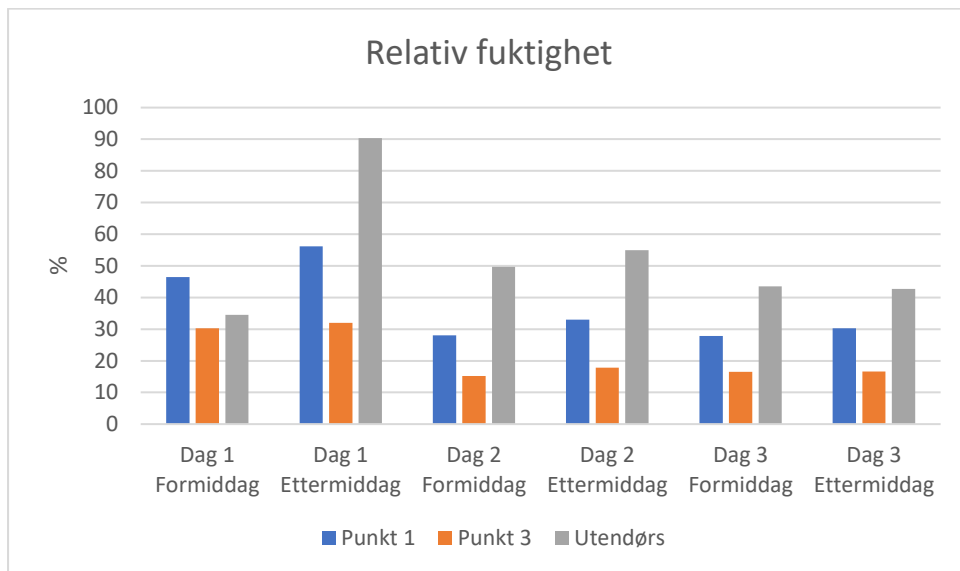
Figur 19 viser logging av CO₂ under NM helgen, der det varierte mellom 500 og 2000 ppm. X-aksen viser klokkeslett som startet på fredag ettermiddag og avsluttet sent søndag.



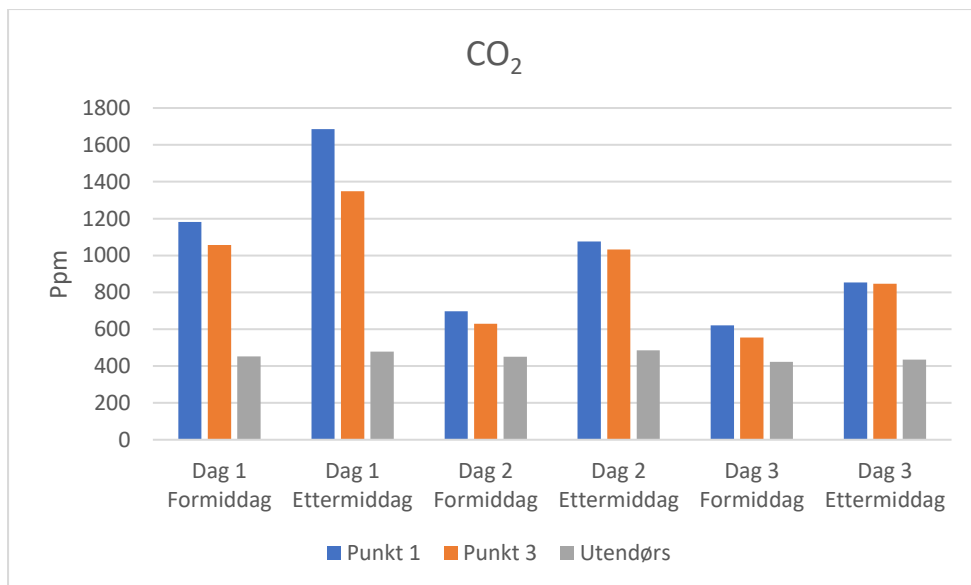
Figur 19: CO₂ logging under NM i buldring.

4.4 RF, CO₂ og temperatur i ventilasjonsaggregatet

Dette kapittelet viser relativ fuktighet, karbondioksidinnhold og temperatur i ventilasjonsaggregatet.

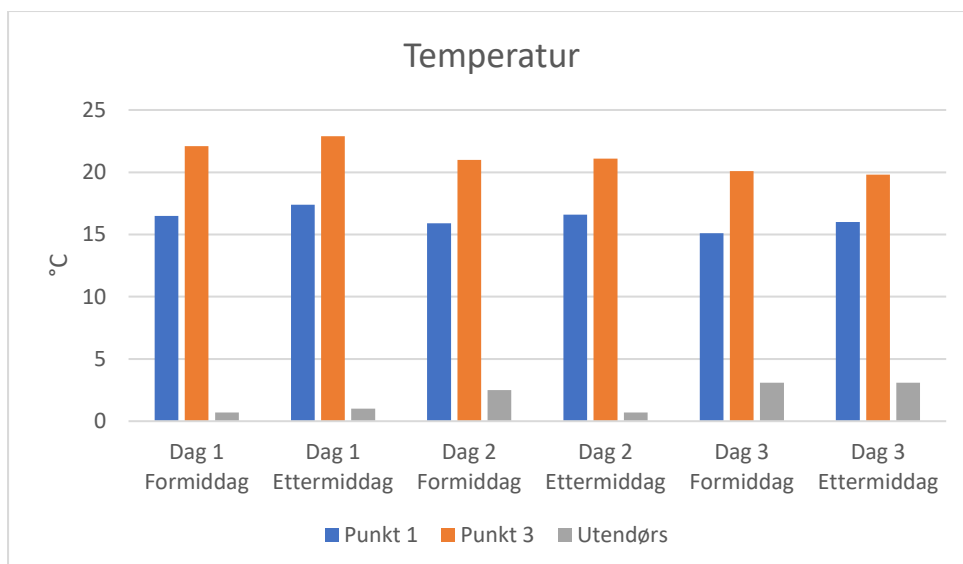


Figur 20: Måling av relativ fuktighet ved målepunkter i ventilasjonsaggregatet.



Figur 21: Måling av CO₂ konsentrasjoner ved målepunkter i ventilasjonsaggregatet.

Variasjonen i tilluftstemperaturen i figur 22 kommer av at aggregatet kan stilles inn til ønsket temperatur av driftspersonell i hallen, og at dette har blitt endret på mellom dagene det har blitt gjennomført målinger.



Figur 22: Måling av temperatur ved forskjellige punkter i ventilasjonsaggregatet.

4.5 Varmegjenvinnerens temperaturvirkningsgrad

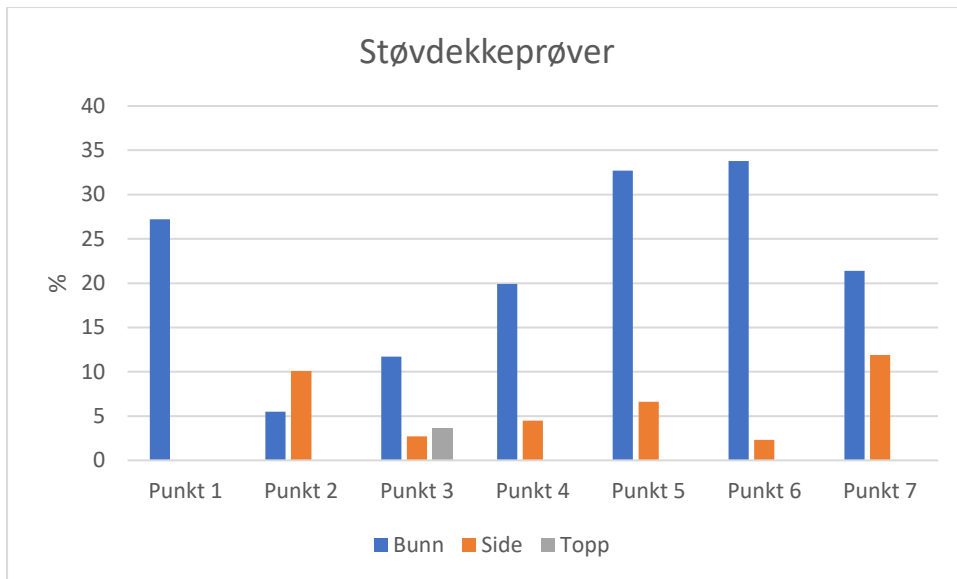
Følgende temperaturvirkningsgrader for den roterende varmegjenvinneren har blitt regnet ut med formel (2):

Tabell 3: Temperaturvirkningsgrader roterende varmegjenvinner.

Dato	η [%]	t_{ute} [°C]
21.02.2019	85,5	2,8
11.03.2019	77,23	1,6
15.03.2019	40,65	4,3
09.04.2019	65,63	3,9

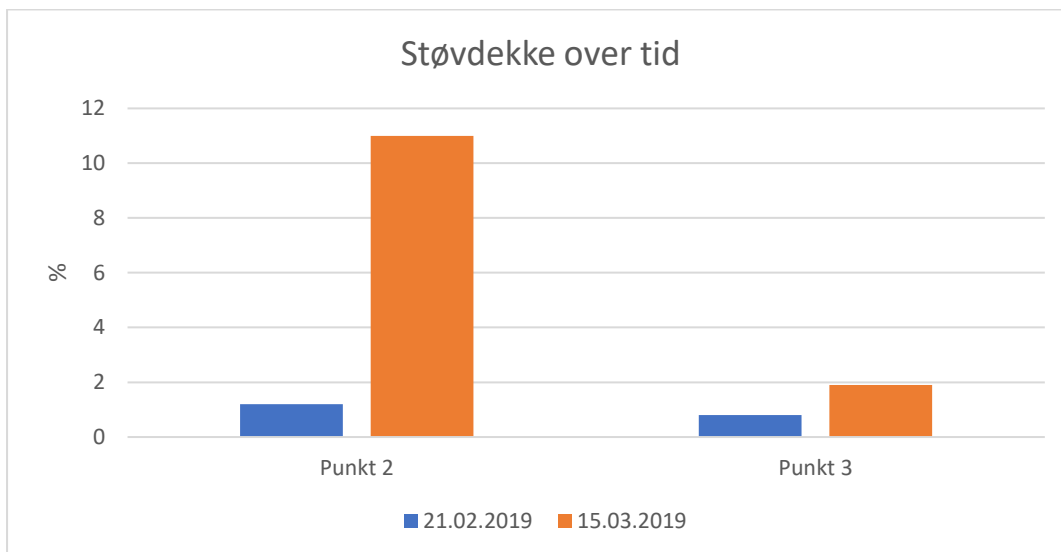
4.6 Støvdekkeprøver

Støvdekkeprøvene er målt i punktene som er beskrevet i figur 4 i kapittel 3.2. Der det var mulig ble det også tatt prøver av vegg- og takplate i aggregatet. Som figur 23 viser er det utelukkende høyest støvdekkeprosent på bunnplaten i disse punktene. De høyest målte verdiene er målt i henholdsvis punkt 5 (etter varmegjenvinner avtrekk) og punkt 6 (før varmegjenvinner tilluft) med verdier mellom 30 og 35 %.



Figur 23: Støvdekkeprøver av målepunkter i aggregatet.

Følgende diagram viser utviklingen av støvdekkeprosenten i to utvalgte punkter i aggregatet over tid. I punkt 3 (etter G4 og F7 filter i avtrekk) hadde prosenten doblet seg i løpet av de tre ukene. I punkt 2 (etter G4 og før F7 filter i avtrekk) var det en markant økning fra 1,2% til 11%.



Figur 24: Støvdekkemålinger i punkt 2 og 3 med 3 ukers mellomrom.

5 Diskusjon

5.1 Svevestøv i hallen

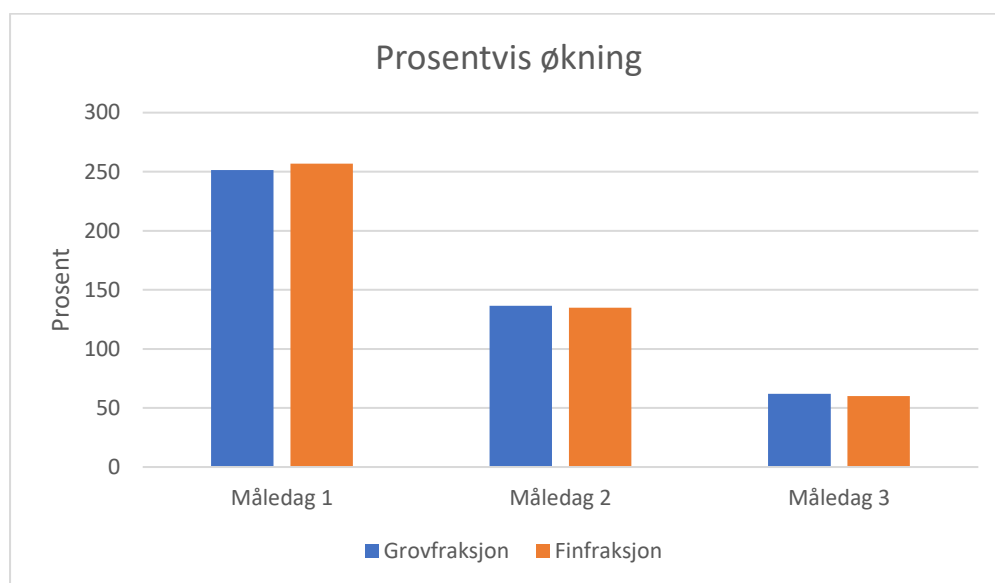
Målinger og resultater viser til høy konsentrasjon av svevestøv i hallen spesielt på ettermiddagen, selv da ventilasjonsanlegget gikk på friskluft/normal drift. Målingene som er gjennomført er ikke tatt over ett døgn eller ett års tid, men det sammenliknes med anbefalte grenseverdier fra folkehelseinstituttet som er angitt som døgn- og årsmiddel. Sett i sammenheng med personbelastning viser det seg at konsentrasjonen av svevestøv økte i takt med antall personer i hallen som benyttet seg av klatrekalk.

Den høyeste målingen av PM_{10} støv ble målt i punkt B på måledag 2. Her var personbelastningen forholdsvis jevn med personbelastningen under målingene gjennomført måledag 1. På måledag 2 gikk aggregatet fra omluft til friskluft kl. 17:00. Dette var altså en time tidligere enn forrige måling. Dette virker ikke å ha en stor innvirkning på konsentrasjonen av PM_{10} støv, da økningen av støv fra formiddag til ettermiddag er ganske lik. Det som er verdt å merke seg med målingene av svevestøvet, er at det var forskjellig mengde støv nede i hallen og oppe ved aggregatet (punkt 1, figur 3). Både punkt A, B og C i hallen og punkt 1 oppe ved aggregatet er punkter målt inne i romluften. Uansett ble den målte støvkonsentrasjonen ved punkt 1 i mange av tilfellene forskjellig fra verdiene nede i hallen. Ved måledag 2 sank forurensningskonsentrasjonen oppe ved aggregatet fra formiddag til ettermiddag. I det samme tidsrommet doblet det seg nede i hallen.

Da anlegget gikk på omluft var det altså et lavt støvinnhold nede i hallen i forhold til oppe ved aggregatet. Da anlegget gikk på friskluft derimot, var forholdene av forurensningskonsentrasjonene mer jevne mellom punktene nede i klatrehallen, og oppe ved aggregatet. Det viser seg at støvinnholdet høyt oppe ved aggregatet ikke økte tilsvarende som støvinnholdet nede i klatrehallen, og det virker som det kan være en treghet i utskiftingen av støvet. Indirekte vil det si at avtrekket kanskje burde vært plassert nærmere området det klatres i, for å klare å trekke ut mer av støvet som samler seg opp.

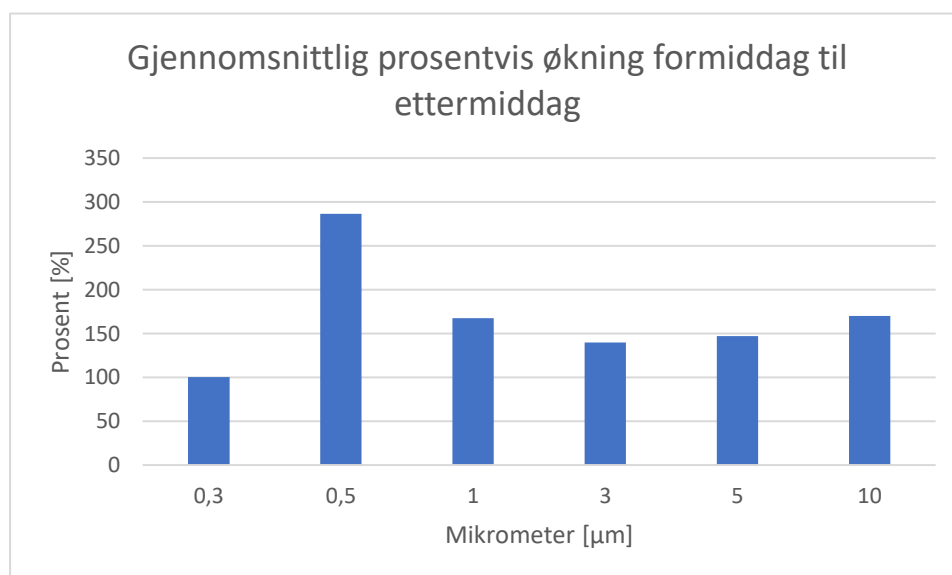
5.1.1 Prosentvis økning av grovfraksjon og finfraksjon

Følgende sammenlikning av grov- og finfraksjon viser at den prosentvise økningen av svevestøv fra formiddag til ettermiddag følger hverandre. Her er søylene vist frem som en gjennomsnittlig økning i målepunktene nede i hallen. Det er altså ingen tydelig forskjell, og man kan ikke basert på økningen i konsentrasjonen av grovfraksjon og finfraksjon kategorisere klatrekalken i en av de spesifikke kategoriene.



Figur 25: Sammenlikning av økning svevestøv fra formiddag til ettermiddag.

Figur 26 viser gjennomsnittlig prosentvis økning av svevestøv i hallen i størrelsesorden fra 0,3 til 10 μm . Her er det benyttet en gjennomsnittsverdi fra målepunkt A, B og C, samt gjennomsnittet fra de tre dagene målingene ble gjennomført.



Figur 26: Prosentvis økning av svevestøv fra formiddag til ettermiddag.

Av diagrammet ser man at det ikke var veldig stor forskjell i økningen mellom de forskjellige partikkelstørrelsene, men at størrelsesorden 0,5 μm økte mer enn resterende partikkelstørrelser. Den klare økningen i svevestøv fra formiddag til ettermiddag kan som sagt knyttes til den økte personbelastningen. Som figur 26 viser kan det virke som om klatrekalken førte til en jevn økning av partikler for alle størrelser, utenom 0,5 μm , som økte mer. Dermed må hele størrelsesspekteret tas hensyn til ved filtrering og valg av filter. Den jevne fordelingen gjør også at en sammenlikning med anbefalte grenseverdier fra FHI (Folkehelseinstituttet, 2017) for PM_{10} - svevestøv utendørs, er en grei indikator for tilstanden inne.

Som bildene av støvdekkeprøvene viser i kapittel 4.2, kan det se ut til at kalkpartikler samler seg i klaser som er synlig for det blotte øyet (større en 10 μm), og som er en god del større enn de partiklene som partikkeltelleren samler opp. Sett i sammenheng med diagrammet i figur 26 må man altså ta hensyn til støvpartikler fra 0,3 til 10 μm , men også langt større «støvklaser» som potensielt kan trekkes inn i ventilasjonsaggregatet. Derfor er det nødvendig med et grovfilter før finfilteret.

5.1.2 Ultrafint støv

Som nevnt i kapittel 2.4.2 vil mye ultrafint støv være skadelig med tanke på helse. Målingene av ultrafint støv viser at det til enhver tid var høyere konsentrasjoner utendørs enn inne i klatrehallen. Dette viser til at klatrekalken med stor sannsynlighet ikke fører til noen betydelig økning av ultrafint støv i hallen. Dette støttes også opp av et annet studie (Weinbruch *et al.*, 2012), som viser til at deres forsøk tilsier at bruken av klatrekalk først og fremst fører til økning av partikler større enn 1 μm . Dermed skal ikke omluftprinsippet føre til en betydelig økning av ultrafint støv, da dette ser ut til i stor grad å stamme utenfra.

5.2 Svevestøv i aggregatet

Støvet fra klatrekalken er synlig i hallen, og som figur 27 viser, samlet det seg over tid også støv etter avtrekksfiltrene i aggregatet. Støvdekkemålingene som vist i kapittel 4.5, som ble gjennomført med tre ukers mellomrom, viser en klar økning av støv som har lagt seg på bunnplaten henholdsvis før og etter F7 filteret i avtrekket. Støvdekkeprøven i figur 13 tilsier at støvet samler seg opp, også etter den roterende varmegjenvinneren. Så selv om det ikke er

foretatt noen måling av støvdekkeprosenten i varmegjenvinneren, tyder det på at støvet vil feste seg der over tid. Bildet under viser tydelig hvordan støv har lagt seg på bunnplaten etter F7 filteret i avtrekket.



Figur 27: Bilde som viser kalkstøv etter F7 filter i avtrekket.

Partikkelmålingene i punkt 3 (figur 9 og 10) viser at konsentrasjonen av både PM₁₀- og PM_{2,5} støv er godt under anbefalte grenseverdier og faglig norm fra folkehelseinstituttet. Filtringen er altså god nok med de filtrene som er valgt.

Målingene for ultrafint støv i aggregatet (figur 11) viser at støvinnholdet til enhver tid er høyere utendørs enn i aggregatet. I målepunkt 3 var det for alle måledagene lavere konsentrasjon av ultrafint støv enn det var utendørs og ellers i hallen. Her gav målingene gjennomført på formiddag (omluft) og målingene gjennomført på ettermiddag (normal drift/friskluft) svært like resultater, som igjen støtter opp at bruken av klatrekalk ikke vil øke konsentrasjonen av ultrafint støv i hallen.

Det var stor forskjell i tilstanden til G4 filtrene for de forskjellige måledagene. Det kom av at filtrene rengjøres med støvsuging ca. tre ganger i uken, og dermed vil også filtereffektiviteten variere. Dette vises i tabellene i kapittel 5.5.

5.3 Høy CO₂-konsentrasjon

Man kan se ut ifra målingene at CO₂-innholdet i hallen som regel var innenfor «grensa» på 1000 ppm. På måledag 1 var det godt over, men da var også personbelastningen betraktelig høyere. Det som er noe merkelig er CO₂-innholdet i tilluftskanalen (målepunkt 3, figur 21). Når anlegget går på omluft gir dette mening, for da blir den samme luften transportert inn i hallen igjen, men med et redusert innhold av partikler. Når anlegget går på normal drift på ettermiddager, trekkes det inn friskluft som skifter ut luften i bygget. CO₂-konsentrasjonen skal da være omtrent den samme i tilluften som den er utendørs. Ser man på målingene som er gjort, så stemmer ikke dette overens. Det var i de fleste tilfeller en dobling av CO₂ fra luften gikk inn i bygget til den passerte aggregatet og inn i tilluftskanalen. Dette viser tydelig at det må være en form for kortslutning eller lekkasje.

De plassene i selve aggregatet hvor det kan tenkes at det er smitte, er i omluftspjeldet og varmegjenvinneren. Omluftspjeldet stenges når anlegget slår om til friskluft, så der skal det egentlig ikke være noen form for lekkasje. Dette er sjekket visuelt, men det kan selvfølgelig være glipper. Roterende varmegjenvinner er kjent for å overføre varme, men også lekke luft. For at det skal bli en dobling av CO₂ i tilluft, må det en mye større luftlekkasje til enn normalt for en roterende varmegjenvinner (Schild og Hestad, 2002).

En annen grunn til at CO₂-innholdet i tilluften var høyt kan være på grunn av kortslutning fra avkast til inntak. Det ble som sagt gjort et røykforsøk, som vist i figur 5 i kapittel 3.5. Her ble det funnet ut at en del av avtrekksluften ble dratt inn i bygget igjen. Dette er noe man vil prøve å unngå når man plasserer avkast og inntak. Etter samtale med brukerne av bygget, ble det også sagt at de kjente røyklukt inne i bygget. Dette er et klart tegn på at en form for kortslutning skjer. Det er trolig denne kortslutningen som har ført til høye verdier av CO₂ i tilluftskanalen. En mulig feilkilde til målingene som er gjennomført, er at målingene av CO₂ ble tatt høyt i tilluftskanalen, og det kan være forskjellige verdier andre steder i kanal. Det kan også tenkes at måleapparatet kan ha blitt påvirket av høye lufthastigheter i tilluftskanalen.

Under mange omstendigheter er det vanlig å plassere avkast over tak, for å få sendt den «brukte» lufta opp og bort. Hvis det ikke er mulig å lede avtrekksluften opp over tak, kan en form for skjerming være en mulighet for å begrense kortslutningen.

Loggingen av CO₂ under NM-helga viser et mønster som forventet. Man ser at det var høyest CO₂-innhold ved ettermiddagene og kveldene, som gav konsentrasjoner godt over 1000 ppm. Setter man grensa til 1000 ppm, var konsentrasjonen over grensa fra ca. kl. 14 til ca. kl. 22 på fredagen. Etter det holdt det seg under grensa til ca. kl. 09 på lørdag, og lå over 1000 ppm til ca. kl. 22. Så under en intensiv helg med en stor personbelastning kan CO₂-innholdet i hallen være høyt over lang tid. Det er også verdt å nevne at det ble oppdaget at ventilasjonsanlegget skrudde seg av kl. 21 på fredagen, og derfor ble det ca. 21.30 økt luftmengde til 120 Pa. Dette tilsvarer, etter beregning forklart i kapittel 3.7.2, en luftmengde på ca. 10900 m³/h.

5.4 Valg av varmegjenvinner

En regenerativ varmegjenvinner skiller ikke avtrekksluft og tilluft fra hverandre, som i dette tilfelle er en roterende varmegjenvinner. I rekuperative varmegjenvinnere er luftstrømmene fysisk adskilt, som nevnt i kapittel 2.5. Har man en plateveksler vil smitte av luft ikke bli et problem i det hele tatt.

En roterende varmegjenvinner trenger renhold, da det etter hvert kan samles opp støv. Som nevnt i kapittel 5.2 legger det seg støv etter filteret i avtrekket, som vil si at det samles opp støv i varmegjenvinneren. I følge byggforskserien (Schild og Hestad, 2002) er roterende varmegjenvinnere utsatt for tilsmussing i rotor ved stillstand, noe den er hver dag når anlegget går på omluft. Det er ikke gjort noen form for renhold av varmegjenvinneren. Målingene av varmegjenvinneren, for å finne virkningsgraden, gav litt forskjellige resultater. Som nevnt i kapittel 3.1, er virkningsgraden til varmegjenvinneren oppgitt som 82,7 % på vinterstid. Fra tabell 3 ser man at virkningsgraden på varmegjenvinneren varierte stort. Dette må sees i sammenheng med høyere temperatur utendørs. Det er uvisst hvor stor påvirkning støvinnholdet i den roterende varmegjenvinneren har å si for virkningsgraden, men det er uansett ikke positivt for roterende deler. Derfor kan en plateveksler være mer hensiktsmessig.



Figur 28: Q-tipsprøve av varmegjenvinner.

For å sjekke om varmegjenvinneren hadde samlet opp støv, ble det tatt en Q-tipsprøve. Figur 28 viser Q-tips før og etter den er stukket inn i varmegjenvinneren. Som bildet til høyre viser var det en del støv. Dette indikerer at varmegjenvinneren bør rengjøres, enten ved spyling eller trykkluft.

5.5 Temperatur og relativ fuktighet

Målingene av temperatur og relativ fuktighet i hallen var innenfor anbefalte verdier. Relativ fuktighet lå på mellom 25 % og 50 % hver dag, noe som er optimalt for et godt inneklima (folkehelseinstitutt, 2015). Temperaturen holdt seg stort sett mellom 16 og 18 grader celsius, noe som er en behagelig temperatur å klatre i. Dette er noe bruker kan stille inn selv etter ønsket behov, hvis det er for kaldt eller for varmt.

5.6 Filtereffektivitet

For å se på virkningsgraden til avtrekksfiltrene, er det i tabell 4-6 listet opp i prosent hvor mye svevestøv de fanget opp av de forskjellige størrelsene. Effekten varierer selvsagt ut ifra når filtrene sist har blitt skiftet eller støvsugd. F7-filteret ble byttet ut 18/02, altså tre dager før første måling. Ellers blir G4-filteret støvsugd tre ganger i uken. I tabell 4-6 står «F» for formiddag og «E» for ettermiddag. Grunnen til at det ikke er med målinger for F7-filteret på ettermiddag, er fordi anlegget da gikk på friskluft og ikke omluft. Dermed vil ikke målinger

gjort i målepunkt 3 gi riktige verdier. For måledag 3 er ikke verdier for F7-filteet med i det hele tatt, da aggregatet gikk på friskluft hele dagen.

Dag 1

Tabell 4: Filteeffektivitet for avtrekksfiltrene måledag 1.

μm	0,3	0,5	1	3	5	10
G4 F	5,65	25,14	32,50	65,31	74,00	83,64
F7 F	73,17	88,66	96,37	99,07	98,81	99,06
G4 E	20,40	27,33	26,32	69,34	80,15	86,44

Dag 2

Tabell 5: Filteeffektivitet for avtrekksfiltrene måledag 2.

μm	0,3	0,5	1	3	5	10
G4 F	4,07	28,35	53,61	80,77	85,07	87,02
F7 F	93,37	97,09	99,02	98,87	98,50	98,26
G4 E	19,15	32,63	37,62	74,76	83,27	89,22

Dag 3

Tabell 6: Filteeffektivitet for avtrekksfiltrene måledag 3.

μm	0,3	0,5	1	3	5	10
G4 F	31,00	38,92	48,58	71,94	75,95	78,07
G4 E	23,44	34,21	34,60	63,19	70,46	77,32

Som tabellene viser stiger effektiviteten til G4 filteret ved større partikler. Dette er som forventet. G4 filteret er i datablad definert som et coarse 60% filter etter ISO 16890, som vil si at dette filteret yter mer enn minimumskravet for sin filterklasse.

F7 filteret er i datablad oppgitt som et ePM1 60% filter klassifisert etter ISO 16890. Ved å sammenlikne med tallene for virkningsgraden som er målt yter filteret mer enn hva som er satt som minimumskrav etter ISO16890.

F7 filteret er i høyeste grad avhengig av G4 filteret. Som nevnt i kapittel 3.1 ble G4 filteret satt inn som en konsekvens av at F7 filteret i avtrekket måtte byttes ofte. Med dagens løsning byttes F7 filteret to ganger årlig, som er et normalt anbefalt intervall for skifte av filter.

5.7 Dimensjoneringsprinsipp

Klatrehallen er dimensjonert med 8 l/s for klatrere og 0,7 l/m² for emisjoner. Ingebrigtsen (Ingebrigtsen *et al.*, 2016) viser til en annen metode som kan benyttes nevnt i kapittel 2.8. Formelen kan benyttes ved å bruke grenseverdier fra folkehelseinstituttet som tillatt forurensningskonsentrasjon inne. Dette kan da ikke sees på som krav, i og med at det kun er anbefalte grenseverdier, men det vil likevel kunne gi et bilde på om personbelastning, og emisjoner fra bygningsmassen er grunnlag nok til å fastslå luftmengdebehovet i en klatrehall.

For utregning er det tatt utgangspunkt i et romvolum på 8000 m³. Dette romvolumet er ikke for hele bygget, men begrenset til områdene mest utsatt for støv. Dette er da den store og lille klatrehallen, butikk/resepsjon samt garderobene som ikke er direkte skjermet mot støv.

Forurensningsbelastningen G [µg/h] er regnet ut ved å multiplisere økningen av forholdsvis PM₁₀- og PM_{2,5} støv med romvolumet, og dividere med tiden fra formiddagsmåling til ettermiddagsmåling. I og med at det er støvinnholdet i luften som er den interessante faktoren i dette tilfellet er det sett bort fra CO₂.

$$\dot{V}_u = \frac{G}{C_i - C_u} * \frac{1}{\varepsilon_v} \quad (3)$$

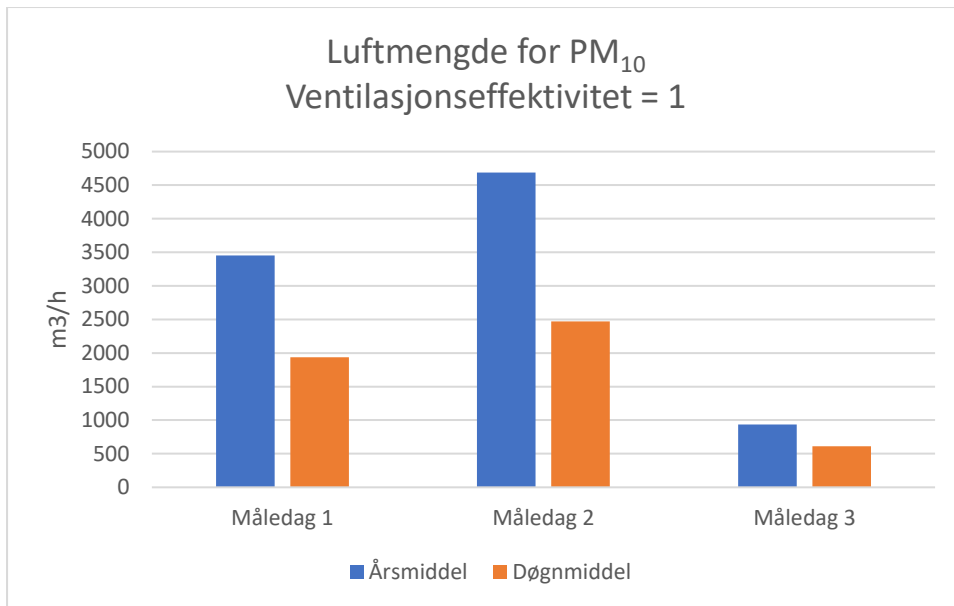
$$G = \frac{V_r * C_\emptyset}{t} \quad (7)$$

Hvor V_r er romvolum [m³]

C_\emptyset er økningen av forurensningskonsentrasjon [µg/m³]

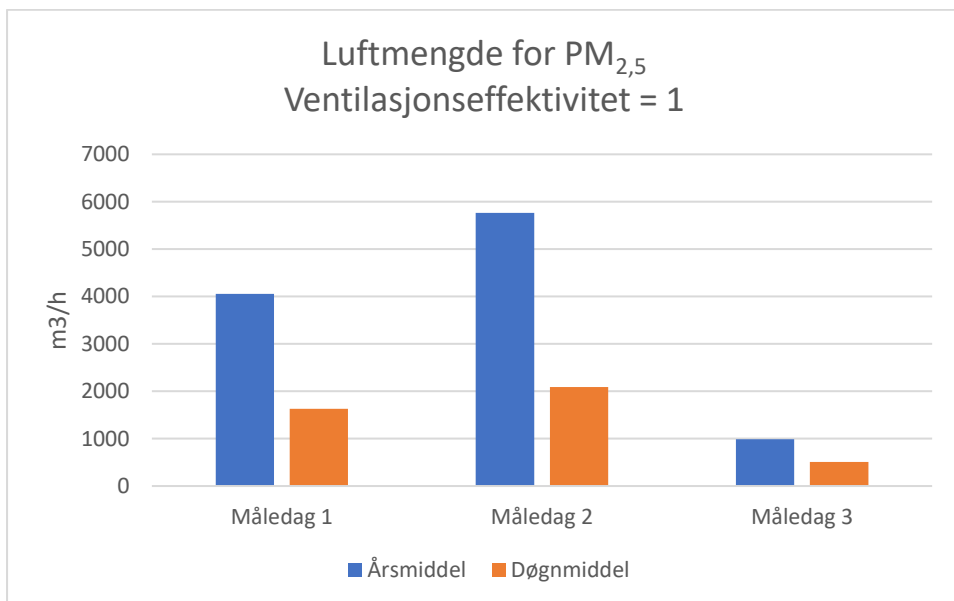
t er antall timer fra måling på formiddag til ettermiddag for den aktuelle dagen

Det er tatt en utregning av luftmengdebehov med en ventilasjonseffektivitet på 1 ved bruk av formel 3. Resultatene av utregningen er vist i følgende diagrammer.



Figur 29: Luftmengdebehov for PM₁₀ støv, med ventilasjonseffektivitet = 1.

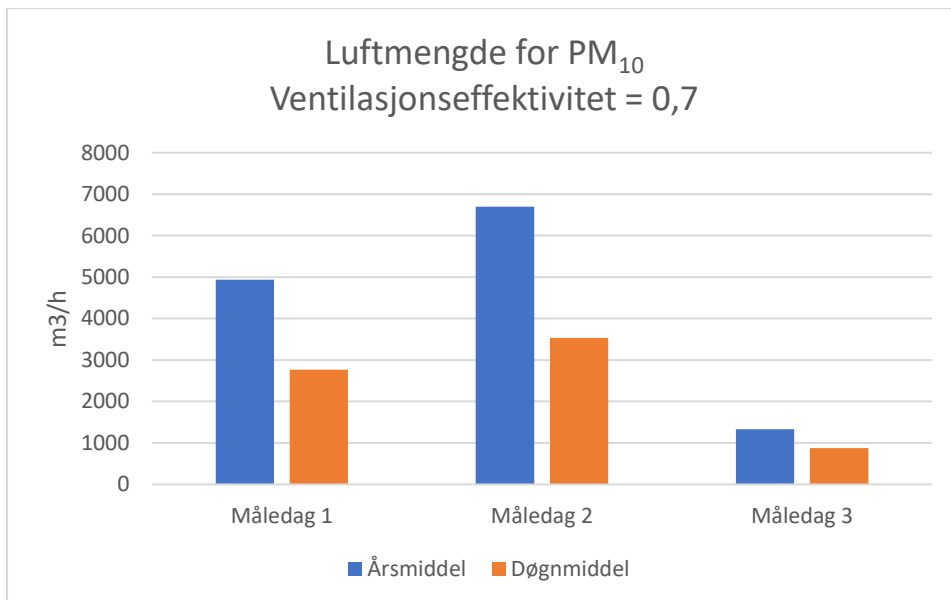
Figur 29 viser luftmengdebehov beregnet med tanke på PM₁₀ støv, med en ventilasjonseffektivitet på 1. Denne viser at den luftmengden som benyttes i dag i utgangspunktet skal være god nok om ventilasjonseffektiviteten er høy.



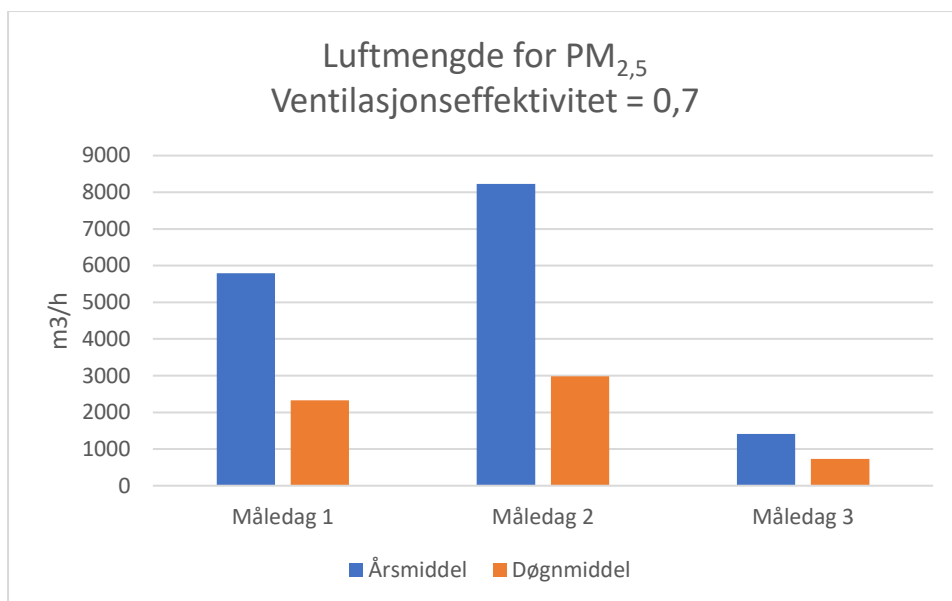
Figur 30: Luftmengdebehov for PM_{2,5} støv, med ventilasjonseffektivitet = 1.

Diagrammet for PM_{2,5} viser omtrent det samme bildet som for PM₁₀. Utenom en litt høyere topp for måledag 2. Denne måledagen ble luftmengden i tilluften målt til ca. 8900 m³/h, som i utgangspunktet skal være tilfredsstillende.

Disse utregningene kan vise til en treghet i luftskifte i hallen, som nevnt i kapittel 5.1. Dette vil si at ventilasjonseffektiviteten i hallen kan antas å være lavere enn $\epsilon_v=1$. For å beregne ventilasjonseffektiviteten i et ventilasjonsanlegg er bruk av sporgass nødvendig. Det er ikke benyttet i denne oppgaven. CO₂-målingene blir ikke korrekt å benytte da det ikke er noen klar sammenheng mellom endring av CO₂ og svevestøv i hallen. Kortslutningen som ble oppdaget utendørs påvirker i veldig stor grad CO₂-nivået, men ikke nivået av svevestøv siden dette filtreres. Derfor er erfaringstall hentet fra Ventilasjonsteknikk Del 1 (Ingebrigtsen *et al.*, 2016). Disse tallene viser til at veiledende verdier for ventilasjonseffektivitet ved omrøringsventilasjon ligger mellom 0,7 og 1. Ved en ventilasjonseffektivitet på 0,7 får man følgende resultater:



Figur 31: Luftmengdebehov for PM₁₀ støv, med ventilasjonseffektivitet = 0,7.



Figur 32: Luftmengdebehov for PM_{2,5} støv, med ventilasjonseffektivitet = 0,7.

Utrengningene tilsier at det i teorien som regel skal være nok med en luftmengde på 8900 m³/h, som har vært benyttet i hallen de dagene det er gjennomført målinger. Det er kun måledag 2 som er i nærheten av den luftmengden som er benyttet. Derfor kan det igjen argumenteres for at avtrekket ikke er optimalt plassert i forhold til luftutskiftninger.

5.8 Mikroskopi og filteranalyse

Figur 15 i kapittel 4.2 viser hvilke stoffer som har blitt fanget opp av filterduken i klatrehallen. Her ser man at magnesium er et klart dominerende stoff, noe som bekrefter at det er klatrekalk det er mest av i hallen. Det er også en del gull (Au) der, men dette er en tilsetning i forbindelse med analysen.

Mikroskopbildene i kapittel 4.2 antyder at partiklene kan knyttes sammen og legge seg i klaser. Dette betyr at størrelsen på kalkstøvet er veldig variert. Bildene er tatt både før og etter varmegjenvinneren i avtrekket. Bildet av støvdekkeprøven etter varmegjenvinneren (Figur 13) viser partikler med en diameter som er større enn det F7-filteret skal slippe igjennom. F7-filteret har en effektivitet på 98% og 99% for partikler på 10 µm. Så at partikler med størrelse helt opp mot 85 µm slipper igjennom virker lite logisk. Derfor virker det som at partiklene over tid samler seg i klaser, men partikler av denne størrelsen kan også stamme fra at lukene i aggregatet har blitt åpnet og lukket for inspeksjon eller liknende.

5.9 Omluftprinsippet

Både CO₂, støv og temperatur kan man se på når man skal vurdere om det er optimalt med et omluftprinsipp. Ut ifra målingene som ble gjort på svevestøv i bygget, kan man se at det var et høyere innhold på ettermiddagene, men dette er i hovedsak på grunn av en økt personbelastning. Personbelastningen økte med 80 personer på dag 1, 60 personer på dag 2 og 40 personer på dag 3. Hvis man ser på økningen av støv stemmer dette ganske bra opp mot hverandre, ved at det var størst økning første dag og at det deretter avtok. Den siste dagen gikk anlegget på friskluft hele dagen, og man kan da sammenlikne med målingene gjort under omluft. Hvis man bare ser på støvproblematikken ser det ikke ut til at partikkelinnholdet i tilluften er høyere ved omluft, da filtrene vil klare å fange opp like mye støv uavhengig om det går på omluft eller friskluft.

CO₂ derimot vil utgjøre en forskjell. Det er tidligere sett på at det er en form for lekkasje eller kortslutning når det gjelder karbondioksidgass. Det vil derfor ikke bli riktig å se på forskjeller av CO₂-innhold på omluft kontra friskluft. Det man uansett vet, hvis det ikke hadde vært lekkasje/kortslutning, er at omluft ville ha sendt luft med samme CO₂-innhold inn i bygget igjen, og friskluft ville ha sendt inn luft med omtrent samme CO₂-innhold som uteluft. Målingene viser at CO₂, når anlegget går på omluft, er godt under 1000 ppm. Dette bestemmes ut ifra personbelastningen, men som viser at folkemengden tidlig på dagen ikke er stor nok i den grad at man trenger friskluft utenfra. Dette henger også sammen med et stort romvolum, som vil si at i en mindre hall ville dette kunne ha utgjort en større forskjell.

Man vil selvfølgelig spare en god del utgifter når anlegget går på omluft. Lufta trenger ikke å varmes opp noe særlig. Det krever spesielt mye mer energi for å få varmet opp utelufta på vinteren kontra den brukte lufta som allerede er i bygget. Det vil da spares energi på grunn av mindre bruk av varmebatteri, gjenvinner og avtrekksvifte.

5.10 Filterløsninger

I aggregatet er det tre filtre, to i avtrekk og ett i tilluft. Grunnen til at filtrene er satt i serie i avtrekk, er fordi det først skal skille ut grovpartikler, og deretter fange opp finere partikler. For å få et enda bedre inneklime kan det benyttes seriekobling av filtre i tilluft også. REHVA guidebook (Gustavsson *et al.*, 2011e) viser at av hygieniske hensyn, burde inntaksluft filtreres i to steg. REHVA guidebook (Gustavsson *et al.*, 2011e) viser at av hygieniske hensyn, burde inntaksluft filtreres i to steg. Tanken er da å plassere et filter av bedre

filterklasse (F8 eller F9) etter varmegjenvinner i tilluftskanal. Det vil gi en bedre filtrering både ved omluft og friskluft, men øke det totale trykktapet.

Det kan tenkes at et annet type filter vil være mer hensiktsmessig i dette lokalet. Et elektrofilter plassert tidlig i en filterserie vil kunne ta opp en del støv, men med de støvmengder som finnes i et klatresenter, vil fort filterets ladning nøytraliseres. Derfor vil det kreve mye og nøye rengjøring. Derfor vil denne filtertypen være lite hensiktsmessig. Et gass-/molekylærfilter vil heller ikke være hensiktsmessig da det i liten grad vil påvirke oppsamlingen av svevestøv som er fokusområdet i klatrehallen.

Bedre filtrering krever mer investering. Skal man kvitte seg med støvproblematikken må man regne med å få høyere kostnader/utgifter. Man ser at hvis personbelastningen er høy nok ved klatresenteret, så kommer man godt over de grenseverdiene folkehelseinstituttet har satt. Dette er topper som kommer på ettermiddag/kveld, og som ikke varer hele døgnet. Da må man spørre seg om det er verdt å bruke mer utgifter på å korte ned varigheten på disse toppene, eller om man skal akseptere det. Det varierer i hvilke typer folk som er innom klatresenteret. Du har de som er der «24/7» som klatrer omtrent hele tiden, i tillegg til de som jobber der. Du har også de som er innom en gang iblant, som kanskje er da personbelastningen er høyest. Disse får bare opplevelse av lufta når den er som verst, noe som ikke kan være særlig attraktivt med tanke på å komme tilbake.

Camfil (Camfil) har sett på et lignende problem i en klatrehall tidligere. Der var kalkstøv et stort problem, og eier hadde et ønske om å få gjort noe med det. Det ble da installert en luftrenser, som fungerer som et lite omluftaggregat. Da måtte man også tenke på om brukerne ble fornøyd med tanke på driftskostnader, fordi det ikke ville bli noe mindre av det. Etter at den var installert opplevde brukerne en umiddelbar reduksjon av kalkstøv i klatrehallen, som særlig ble lagt merke til om morgene. Før denne ble installert, da det la seg veldig mye støv om ettermiddagene/kveldene, var det fortsatt det samme om morgene. Det tok da flere timer for å få støvinnholdet ned på et akseptabelt nivå. Etter installasjonen kom tiden ned på mindre enn en halvtime. Det viste seg at brukere ble veldig fornøyd med denne løsningen. Både klatrere og ansatte opplevde en bedre luftkvalitet, pluss at tid og ressurser på rengjøring ble kraftig redusert. Dette kan være en alternativ løsning for å få redusert kalkstøv i klatrehaller.

6 Konklusjon

Målingene ved Trondheim klatresenter har under denne perioden vist at filtreringen av svevestøv er god nok om man sammenlikner med anbefalte grenseverdier fra folkehelseinstituttet. Derfor kan man si at filtrering av avtrekksluft i to steg, med et G4-filter etterfulgt av et F7-filter, er en generelt god løsning for et klatresenter. For enda bedre filtrering og hygiene kan et ekstra filter av typen F8 eller F9 settes inn etter varmegjenvinner og omluftspjeld i tilluft. Basert på de resultater som er fremlagt vil det ikke være behov for å ta hensyn til ultrafint støv i denne type bygg.

Temperatur og relativ fuktighet er innenfor anbefalte verdier, mens CO₂-nivået i tilluftskanalen er unormalt høyt. I roterende varmegjenvinnere vil det være en luftlekkasje, men av ubetydelig grad i forhold til målte CO₂-verdier i tilluftskanalen. Røykforsøk har vist at en stor del av lekkasjen kommer av en kortslutning mellom avkast og inntak ute. Derfor vil det her anbefales å sette opp en form for skjerming, eller å lede avkastluften bort fra inntaket. Dette vil kunne føre til et lavere CO₂-innhold og bedre luftkvalitet.

Den prosjerterte luftmengden i hallen skal i teorien være høy nok. Allikevel viser resultatene at en god omrøring av luft i hallen ikke er ensbetydende med en effektiv reduksjon av svevestøvet. Tiden det tar fra økt forurensningspåvirkning i hallen til forurensningen har nådd opp til avtrekket indikerer at en løsning kunne vært å plassere avtrekk nærmere oppholdssonen. Dette for å effektivt kvitte seg med økningen av svevestøv grunnet økt personbelastning.

Selv om filtreringen av avtrekksluften er god, og det sendes inn en tilluft som tilfredsstillende anbefalte grenseverdier fra folkehelseinstituttet, vil det samles opp en god del støv i varmegjenvinneren. Derfor er det viktig med gode renholdsrutiner av varmegjenvinneren i denne typen bygg. En rekuperativ varmegjenvinner kan være å foretrekke i klatrehaller, da det ikke er noen roterende deler som kan ta skade av støvet.

Det anbefales å se på luftrensere som en filtreringsmetode i tillegg, hvis støvproblematikken oppleves som stor. Dette kan redusere tiden støvet trenger for å bli rensset ut av bygget, i tillegg til at det vil kreve mindre tid og ressurser på renhold.

7 Videre arbeid

I forbindelse med denne oppgaven er det noen vesentlige områder som kan følges opp videre. Alle konklusjoner som er trukket er basert på målinger fra én spesifikk klatrehall. For å eliminere og se trender videre vil det være anbefalt å gjennomføre nøyere logging og partikkeltelling gjennom flere dager, med faste intervaller gjennom hele døgnet. Dette bør gjennomføres i flere klatrehaller, gjerne med forskjellig utforming av ventilasjonsanlegget, for å se forskjeller. Videre målinger bør gjennomføres med forskjellige luftmengder, for å kartlegge hva forskjellige luftmengder har å si for konsentrasjonen av svevestøv.

Det bør gjennomføres flere målinger av den roterende varmegjenvinneren i det aktuelle anlegget. Målinger bør innebære trykkmålinger over varmegjenvinner, for å se hvor stor økning i trykkfall svevestøvet medfører, men også om varmeoverføring blir redusert. Det anbefales videre å sammenlikne en roterende varmegjenvinner opp mot en rekuperativ varmegjenvinner, spesielt i klatrehaller. Her kan det være interessant å se på virkningsgradforskjell, og veie det opp mot støvet som samles opp.

For å avdekke hvor stor og hvor lekkasjen/kortslutningen i anlegget er, bør CO₂ måles foran avkast- og inntaksrist, samt flere plasser i aggregatet.

I denne oppgaven er det ikke sett på den økonomiske delen. Det bør derfor sees nærmere på hva de forskjellige forslagene som kommer frem i konklusjonen vil utgjøre økonomisk. For eksempel bør det sees på hva en luftrenser vil utgjøre av kostnader over tid, og om dette koster mer enn det smaker.

8 Referanseliste

- Aas, K. (2010) *Luftkvalitet og karbondioksid (CO₂)*. Tilgjengelig fra: <http://www.inneklima.com/index.asp?context=&document=299> (Hentet: 20.03.19).
- Camfil Reducing the chalk dust at indoor climbing centres.
- Castro, A. *et al.* (2015) Indoor aerosol size distributions in a gymnasium, 524, s. 178-186.
- folkehelseinstitutt, N. (2015) *Anbefalte faglige normer for inneklima*
- Revisjon av kunnskapsgrunnlag og normer - 2015*. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/globalassets/dokumenterfiler/rapporter/2015/anbefalte-faglige-normer-for-inneklima-pdf.pdf> (Hentet: 26.03.19).
- Folkehelseinstituttet (2015) *Karbondioksid (CO₂) og inneklima*. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/ml/miljo/inneklima/artikler-inneklima-og-helseplager/karbondioksid-co2-og-inneklima/> (Hentet: 21.03.19).
- Folkehelseinstituttet (2017) *Svevestøv Håndbok for uteluft - luftkvalitetskriterier*. Folkehelseinstituttet. Tilgjengelig fra: <https://www.fhi.no/nettpub/luftkvalitet/svevestov/svevestov/> (Hentet: 09.05.19).
- Gustavsson, J. *et al.* (2011a) 11 Application and selection of air filters *REHVA Guidebook No. 11 - Air Filtration in HVAC Systems*. REHVA.
- Gustavsson, J. *et al.* (2011b) 8 Gas phase air filters *REHVA Guidebook No. 11 - Air Filtration in HVAC Systems*. REHVA.
- Gustavsson, J. *et al.* (2011c) 7 Particulate air filters *REHVA Guidebook No. 11 - Air Filtration in HVAC Systems*. REHVA.
- Gustavsson, J. *et al.* (2011d) 4 General engineering criteria *REHVA Guidebook No. 11 - Air Filtration in HVAC Systems*. REHVA, s. 26.
- Gustavsson, J. *et al.* (2011e) 13. Air Filtration - Check List *REHVA Guidebook No. 11 - Air Filtration in HVAC Systems*. REHVA.
- Gustavsson, J. (2013a) Filterteknikk, i Hansen, H. E., *et al.* (red.) *Varme- og klimateknik : grundbog*. 4. udg. utg. Lyngby: DANVAK, s. 301-323.
- Gustavsson, J. (2013b) Filterteknikk, i Hansen, H. E., *et al.* (red.) *Varme- og klimateknik : grundbog*. 4. udg. utg. Lyngby: DANVAK, s. 304-305.
- Haraldsen, H. og Pedersen, B. (2018) *karbondioksid*. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/karbondioksid> (Hentet: 12.03.19).
- Hestad, T. (2005) Byggforskeren-Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg.
- Ingebrigtsen, S. *et al.* (2016) *Ventilasjonsteknikk : Del 1*. 3. oppl. utg. Oslo: Skarland press.
- Interfil *ISO 16890: test og klassifisering av ventilasjonsfilter*. Tilgjengelig fra: <https://www.interfil.no/index.php/standarder-og-anbefalinger/iso-16890-test-klassifisering-ventilasjonsfilter/?fbclid=IwAR1J8vP9Wwpbb6y9JeGsQ495m8DwWx83bxdto0395jcKca-KkU3AWDYQhjI8> (Hentet: 01.05 2019).
- Schild, P. G. og Hestad, T. J. S. B. (2002) Byggforskeren-Varmegjenvinnere i ventilasjonsanlegg.
- Stensaas, L. I. og Hovland, E. I. (2001) *Ventilasjonsteknikk*. [Bokmål/nynorskutg.]. utg. Oslo: Gyldendal yrkesopplæring.
- TEK17 *Byggteknisk forskrift*. Tilgjengelig fra: https://dibk.no/byggereglene/byggteknisk-forskrift-tek17/13/i/13-1/?fbclid=IwAR2aEWYNXRM_WY5XRkuOxZITNhpXnjIFvFDIO38kfBMWVc9JBPiOa1IfjQ.
- Weinbruch, S. *et al.* (2012) Reducing dust exposure in indoor climbing gyms, 14(8), s. 2114-2120.
- Ziehl-abegg (2018) Centrifugal fans - main catalogue with IEC standard motor 01/2018 edition (s. 231). Tilgjengelig fra: https://www.ziehl-abegg.com/fileadmin/Downloadcenter_NEW/00_englisch%28EN%29_MASTER/X02_Catalogues/Centrifugal-fans-main-catalogue-with-IEC-standard-motor.pdf?fbclid=IwAR0tLYYhYDQbbUex-u0QIQHEaiyfmEHakSO6W-E3aqxMLa3ep80iL4IqlcA.

9 Vedlegg

Vedlegg 1: Vitenskapelig artikkel



Viktig med god filtrering i klatrehaller

Jørgen Tønning Buch

Simen Jensås

Klatrehaller rundt om i verden oppleves for mange som veldig støvete. Grunnen til dette er den store bruken av klatrekalk som klatrere bruker for å få et bedre feste i klatreveggen. I sånne typer bygg vil ventilasjon spille en vesentlig rolle, for å få skiftet ut og filtrert bort den støvete lufta. En bachelorgruppe ved NTNU, har gjort målinger av inn klimaet ved et innendørs klatresenter, og sett på om ventilasjonsanlegget der gjør jobben med tanke på støvet.

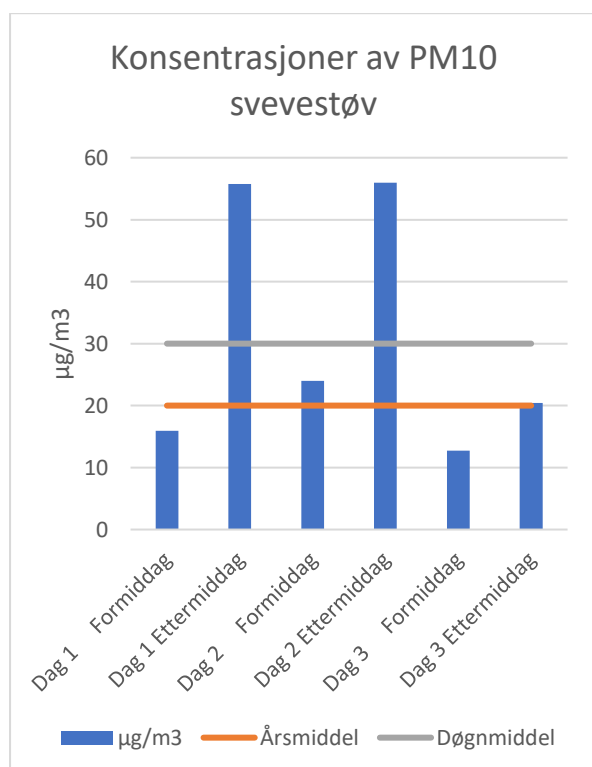
Bakgrunnen for arbeidet. SIAT (senter for idrettsanlegg og teknologi) er en gruppe som skal utvikle og formidle forskningsbasert kunnskap innenfor planlegging, bygging og forvaltning av idrettsanlegg [2]. De kom med et forslag til en bacheloroppgave, som gikk ut på å finne ut hvilket kjent filterprinsipp som klarer å filtrere ut det høye partikkelinnholdet i klatrehaller. Dette er det ikke sett på i stor grad tidligere, og man vet derfor ikke veldig mye rundt det.

Resultater som ble funnet:

- To-trinns filtrering fungerer.
- Samler seg støv i gjenvinner.
- Støvet bruker tid på å trekke ut.
- Lav konsentrasjon av det mest skadelige ultrafine støvet

Målinger ved omluft og friskluft.

Ventilasjonsanlegget ved klatresenteret går både på omluft og friskluft om dagene. Det ble derfor foretatt målinger ved begge innstillingene. Bruk av partikkelteller og annet utstyr ble brukt både i hallen og i ventilasjonsaggregatet. Det var viktig å se om støvinnholdet i hallen var innenfor anbefalinger fra folkehelseinstituttet. Det ble funnet ut at støvinnholdet er greit til tider, men ved stor personbelastning stiger det over anbefalte verdier. Diagrammet under viser mengden støv i forhold til anbefalte verdier fra folkehelseinstituttet.



Filtreffektivitet ble også målt, og fastslått til å være like god eller bedre enn minimumsverdier fra filterprodusent.

Flere-trinns filtrering. Målingene viste at en to-trinns filtrering fungerer godt, med et grovfilter etterfulgt av et finere filter. Dette foregår ved at de største partiklene blir tatt opp av grovfilteret, mens finfilteret fanger opp de mindre partiklene.

Valg av varmegjenvinner. Selv om filtrering viste seg å være god, er det fortsatt partikler som slipper igjennom til den roterende varmegjenvinneren. Rotor samlet opp en god del støv over tid, som vil si et høyere trykkfall og en høyere risiko for skade på roterende deler. Derfor vil det i bygg med et høyt støvinnhold være å anbefale en rekuperativ varmegjenvinner, der det ikke er roterende deler.

Dårlig omrøring av svevestøv. Det kommer fram av måleresultatene at mye av støvet ikke stiger, men holder seg lavt i rommet. Avtrekket sitter veldig høyt, så mye av svevestøvet vil ikke bli trukket ut. Derfor bør avtrekk plasseres i nærheten av klatreområdet.

Kilder:

[1] Foto: Pixabay

[2] <https://www.ntnu.no/web/siat>

Vedlegg 2: Utklipp fra datablad aggregat



Systemair A/S - Produktutvalgsprogram

06.12.2013

SystemairCAD - Versjon C2013-09.04.C8

Side 1

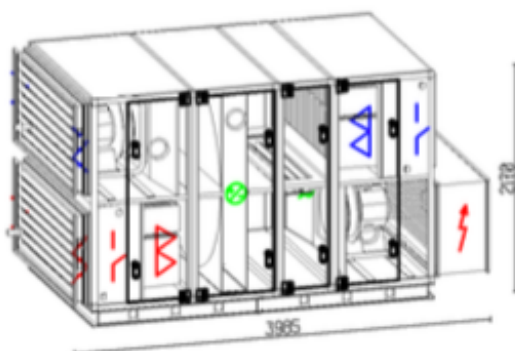
Prosjekt: Trondheim kåtresenter

Aggregat: DVCompactE 50

Anlegg: 360.001/

Oversikt for aggregat nr: 1

Aggregatstørrelse	50
Aggregatbredde	2020 mm
Vekt	1367 kg



DVCompactE luftbehandlingsaggregat med fullintegrert automatikk - basert på Systemair E56 regulator

	Tilluft		Fraluft	
Luftmengde (1,205 kg/m ³)	12000.00	m ³ /h	12000.00	m ³ /h
Luftfartighet i aggregat	1.85	m/s	1.85	m/s
Ekstern trykktap	250	Pa	250	Pa
Filter	F7		F7	
Viftehastighet	1237	o/min	1231	o/min
Motor	5.20	kW	5.20	kW
Spenning	3x230	V	3x230	V
Strøm, Amp., merket	19.4	A	19.4	A
Varmeveksler		82.7	%	
SFP, ved rent filter inklusiv frekvensomformer		1.67	kW/(m ³ /s)	
Varmebatteri, elektrisk	60.00 kW - Luft 10.6/25.4°C - 3x230 V			

Lydeffektnivå	63	125	250	500	1k	2k	4k	8k	Hz	Total
Tilluft, innblåsning	66	75	74	78	76	71	67	61	dB	80 dB(A)
Uteluft, inntak	56	69	65	61	58	51	44	39	dB	63 dB(A)
Fraluft, avkast	66	74	74	78	76	71	67	61	dB	80 dB(A)
Fraluft, avtrekk	56	68	65	61	58	51	44	39	dB	63 dB(A)
Lyd, omgivelser	57	69	54	49	48	44	39	37	dB	56 dB(A)

Teknisk spesifikasjon

Automatikk

Sprog i controler menu	Norsk
Ekstern kommunikasjon	Modbus RTU / EXOline
Viftestyring	VAV
Spjeldmotor, tilluft	Motor fjærretur
Spjeldmotor, avkast	Motor av/på
Batteri konfigurasjon	Varmebatteri

Hovedtilførsel til automatikken			
Tavle data	Spenning	3x230V + PE 50	Hz
	Maks. ik	16	kA
	Min. ik	650	A
	Maks. sikring	60	A
	Min. sikring	50	A

Elektrisk batteri, skal ha separat tilførselskurs.

Tilluftsaggregat består av

Spjeld			
	Trykkfall	3	Pa
	Spjeldblad	Standard	
Tomdel			
	Trykkfall	2	Pa
	Lengde	300	mm
Inspeksjonsdel			
	Trykkfall	2	Pa
	Lengde	150	mm
Filter			
	Dimensjonerende trykkfall	130	Pa
	Start trykkfall/Slutt trykkfall	71/189	Pa
	Lufthastighet, frontareal	2.42	m/s
	Lufthastighet, filterareal	0.11	m/s
	Filterklasse	F7	
	Filterstørrelse	3x[592x490] + 3x[592x287]	
	Filterlengde	640	mm
Roterende varmeveksler			
		<u>Tilluft</u>	<u>Avtrekk</u>
	Luftmengde	12000	12000
	Trykkfall	190	190
VINTER	Lufttemperatur, før/etter	-20.0/10.6	17.0/-12.7
	Relativ luftfuktighet, før/etter	90/33	30/97
	Effekt	142.89	
	Temperaturvirkningsgrad	82.7	
			m ³ /h
			Pa
			°C
			%
			kW
			%

Varmegjenvinner type	Temperaturvarmeveksler	
Temperaturvirkningsgrad	Høyeffekt	
Drivsystem for rotor	Hastighetsregulator EMS25	
Elektriske data	1x230V, 100W, 1.3Amp	
Inspeksjonsvindu	1	Stk

Omluftsdel

	Tilluft	Avtrekk	
Trykkfall	3	3	Pa
Spjeldblad		Standard	

Vifte, Kammer

Luftmengde	12000	m ³ /h
Ekstern trykktap	250	Pa
Trykkfall	26	Pa
Statisk trykk	616	Pa
Totaltrykk	663	Pa
Aksel effekt	2.73	kW
Viftehastighet	1237	o./min
Max viftehastighet	1595	o./min
Virkningsgrad ved statisk trykk	75.2	%
Virkningsgrad ved total trykk	81.0	%
K-faktor	381	
Vifetype	ER63Cpro	
Direkte drift		

Motor

Motor type	PM-Motor	
Motor type-Normstr.	HPS 112M	
Termosikring	Termistor	
Motoreffekt	5.20	kW
Omdreiningar, merket	1550	o./min
Omdreiningar, maksimum	1705	o./min
Strøm, Amp., merket	19.4	A
Virkningsgrad	92.5	%
Virkningsgrad i arbeidspunktet	91.7	%

Frekvensomformer

Spenning	3x230	V
Frekvensomformer kablet fra fabrikk. (23.0 Amp)	1	Stk
Effektforbruk fra hovedtilførsel, inkl frekvensomformer	3.08	kW

Frekvensomformer er montert ved siden av viften inne i viftedelen til aggregatet. Det er benyttet skjermet kabel mellom frekvensomformer og viftemotor. Alle nødvendige parametre er lagt inn på omformer, tilpasset til motor og viftehjulets karakteristikk. Forsyningen til aggregatet skal ha jordfeilbryter ikke mindre enn 100 mA, og beregnet for frekvensomformere.

Inspeksjonsvindu	1	Stk
------------------	---	-----

Varmebatteri

Luftmengde	12000	m ³ /h
Trykkfall	9	Pa
Lufttemperatur, inn/ut	10.6/25.4	°C
Effekt	60.00	kW
Spenning	3x230	3x230 V
Strøm, amp	75.3	75.3 A
MTXL Integrert styring		

Fraluftsaggregat består av**Tomdel**

Trykkfall	2	Pa
Lengde	300	mm

Inspeksjonsdel

Trykkfall	2	Pa
Lengde	150	mm

Filter

Dimensjonerende trykkfall	130	Pa
Start trykkfall/Slutt trykkfall	71/189	Pa
Lufthastighet, frontareal	2.42	m/s
Lufthastighet, filterareal	0.11	m/s
Filterklasse	F7	
Filterstørrelse	3x[592x490] + 3x[592x287]	
Filterlengde	640	mm

Omluftsdel

	Tilluft	Avtrekk	
Trykkfall	3	3	Pa
Spjeldblad		Standard	

Roterende varmeveksler

Data vises på tilluft

Vifte, Kammer

Luftmengde	12000	m ³ /h
Ekstern trykktap	250	Pa
Trykkfall	26	Pa
Statisk trykk	606	Pa
Totaltrykk	653	Pa
Aksel effekt	2.69	kW
Viftehastighet	1231	o/min
Max viftehastighet	1595	o/min
Virkningsgrad ved statisk trykk	75.2	%
Virkningsgrad ved total trykk	81.0	%

Prosjekt: Trondheim klåresorter

Aggregat: DVCcompactE 50

Anlegg: 360.001/

K-faktor	381
Viftetype	ER63Cpro
Direkte drift	

Motor

Motor type	PM-Motor	
Motor type-Normstr.	HPS 112M	
Termosikring	Termistor	
Motoreffekt	5.20	kW
Omdreiningar, merket	1550	o/min
Omdreiningar, maksimum	1705	o/min
Strøm, Amp., merket	19.4	A
Virkningsgrad	92.5	%
Virkningsgrad i arbeidspunktet	91.7	%

Frekvensomformer

Spenning	3x230	V
Frekvensomformer kablet fra fabrikk. (23.0 Amp)	1	S&k
Effektforbruk fra hovedtilførsel, inkl frekvensomformer	3.04	kW

Frekvensomformer er montert ved siden av viften inne i viftedelen til aggregatet. Det er benyttet skjermet kabel mellom frekvensomformer og viftemotor. Alle nødvendige parametre er lagt inn på omformer, tilpasset til motor og viftehjulets karakteristikk. Forsyningen til aggregatet skal ha jordfeilbryter ikke mindre enn 100 mA, og beregnet for frekvensomformere.

Inspeksjonsvindu	1	S&k
------------------	---	-----

Spjeld

Trykkfall	3	Pa
Spjeldblad	Standard	

Andre komponenter
Seksjoner

Produkt	Dimensjoner (Bredde x høyde x lengde)	Vekt
CS-50-0-970-1-2	2020 x 2020 x 970 mm	
CS-50-0-820-1-2	2020 x 2020 x 820 mm	
CS-50-0-970-1-2	2020 x 2020 x 970 mm	
CS-50-0-520-1-5	2020 x 2020 x 520 mm	

Bunramme

Produkt	Dimensjoner (Bredde x høyde x lengde)	Vekt
DVZ-50-6-150-3390	2020 x 150 x 3280 mm	

Bunramme leveres med løst for sammenmontering på byggeplass før aggregat plasseres oppå.

Fast forbindelse, 20mm LS profil

Produkt	Dimensjoner (bredde x høyde)
Friskluft	1900x850 mm

Hi-Flo II XLT



Fördelar

- Filtermaterial av det senaste glasfibermediet
- Flack tryckfallsutveckling
- Koniska påsar
- Bidrar till lägre energiåtgång
- Låga begynnelsetryckfall
- Nyutvecklad sömnadsteknik för bästa luftfördelning
- Helgjuten aerodynamiskt utformad frontram i plast
- Hi-Flo II XLT och 9 är rekommenderade av Astma och Allergiförbundet

Tillämpning: Luftbehandling i klimatreglerade utrymmen och som förfiltrering i renrum

Typ: Påsfilter

Ram: Helgjuten plast

Media: Glasfiber

Dimensioner: Frontdimension enligt EN 15805

Sluttryckfall enl. EN 13053: M5-F7: 200 Pa, F8-F9: 300 Pa

Maximalt luftflöde: 1,25 x nominellt flöde

Maxtemperatur: 70°C

Luftfuktighet (Max RH): 100%

Installationsalternativ: Monteraramar av typ SPX och i filterskåp CamCube HF För P-märkta produkter se, sp.se



Art. Nr.	Typ	EN779	ISO16890	MED (m³/m² (m³))	Luftflöde / typiskt (m³/m²/h)	Påsar	Area (m²)	Vikt (kg)	Initial energiförbrukning (kWh)	M5 (Pa)	Energi-åtgång	Energi- klass
016802	5/640	M5	ePM10 60%	592x592x640	3400/40	10	7,5	2,3	9	B	501	A
016805	5/640	M5	ePM10 60%	490x592x640	2700/40	8	6	1,6				A
016808	5/640	M5	ePM10 60%	287x592x640	1700/40	5	3,7	1,4				A
016811	5/640	M5	ePM10 60%	287x287x640	800/40	5	1,9	0,8				A
016814	5/640	M5	ePM10 60%	592x287x640	1700/40	10	3,7	1,4				A
016817	5/640	M5	ePM10 60%	592x490x640	2700/40	10	6,2	1,6				A
016820	5/640	M5	ePM10 60%	490x490x640	2300/40	8	5	1,3				A
016803	5/520	M5	ePM10 60%	592x592x520	3400/45	10	6,1	2,2	9	B	612	B
016806	5/520	M5	ePM10 60%	490x592x520	2700/45	8	4,9	1,4				B
016809	5/520	M5	ePM10 60%	287x592x520	1700/45	5	3	1,3				B
016812	5/520	M5	ePM10 60%	287x287x520	800/45	5	1,5	0,7				B
016815	5/520	M5	ePM10 60%	592x287x520	1700/45	10	3	1,3				B
016818	5/520	M5	ePM10 60%	592x490x520	2700/45	10	5	1,4				B
013347	5/520	M5	ePM10 60%	490x490x520	2300/45	8	4	1,2				B
016804	5/370	M5	ePM10 60%	592x592x370	3400/50	10	4,3	2	9	B	1061	D
016807	5/370	M5	ePM10 60%	490x592x370	2700/50	8	3,5	1,3				D
016810	5/370	M5	ePM10 60%	287x592x370	1700/50	5	2,2	1,2				D
016813	5/370	M5	ePM10 60%	287x287x370	800/50	5	1,1	0,7				D
016816	5/370	M5	ePM10 60%	592x287x370	1700/50	10	2,1	1,2				D
016819	5/370	M5	ePM10 60%	592x490x370	2700/50	10	3,6	1,2				D

Sen ytterligare tekniska information eller kontakt oss på www.camfil.se

om ett ied i standaga torpattingar, torpenaler sig Camiri ratten att anora uran torgeande information, 2018-02-20

610150	6/370	M6	ePM2.5 50%	592x592x370	3400/70	10	4,3	2	26	23	1252	D
612786	6/370	M6	ePM2.5 50%	490x592x370	2700/70	8	3,5	1,3				D
610151	6/370	M6	ePM2.5 50%	287x592x370	1700/70	5	2,2	1,2				D
610152	6/370	M6	ePM2.5 50%	287x287x370	800/70	5	1,1	0,7				D
610950	6/370	M6	ePM2.5 50%	592x287x370	1700/70	10	2,1	1,2				D
612794	6/370	M6	ePM2.5 50%	592x490x370	2700/70	10	3,6	1,2				D
612802	6/370	M6	ePM2.5 50%	490x490x370	2330/70	8	2,9	1				D
619070	7/670 50+	F7	ePM1 60%	592x592x670	3400/65	10	7,9	2,3	54	54	780	A+
619233	7/670 50+	F7	ePM1 60%	490x592x670	2700/65	8	6,3	1,6				A+
619233	7/670 50+	F7	ePM1 60%	287x592x670	1700/65	5	3,8	1,4				A+
619234	7/670 50+	F7	ePM1 60%	287x287x670	800/65	5	1,9	0,8				A+
619230	7/670 50+	F7	ePM1 60%	592x287x670	1700/65	10	3,8	1,4				A+
619229	7/670 50+	F7	ePM1 60%	592x490x670	2700/65	10	6,5	1,6				A+
619232	7/670 50+	F7	ePM1 60%	490x490x670	2330/65	8	5,2	1,3				A+
610165	7/640 50+	F7	ePM1 60%	592x592x640	3400/70	10	7,5	2,3	54	54	867	A
612787	7/640 50+	F7	ePM1 60%	490x592x640	2700/70	8	6	1,6				A
610166	7/640 50+	F7	ePM1 60%	287x592x640	1700/70	5	3,7	1,4				A
610167	7/640 50+	F7	ePM1 60%	287x287x640	800/70	5	1,9	0,8				A
610958	7/640 50+	F7	ePM1 60%	592x287x640	1700/70	10	3,7	1,4				A
612795	7/640 50+	F7	ePM1 60%	592x490x640	2700/70	10	6,2	1,6				A

Vedlegg 4: Datablad G4 filter

Media rullar - Glasfiber, syntet, torrt eller anoljat



Fördelar

- Kan beställas i kundanpassade mått

Tillämpning:Förfiltrering för avskiljning av de grövsta partiklarna i luftbehandlingsystem. PE950-500/20 som takfilter i sprutboxar. Grön/Vit Torr som frånluftfilter i sprutboxar

Typ:Mediarulle

Sluttryckfall:150 Pa

Luffuktighet (Max RH):100%

Art. Nr.	Typ	Media	EN779	ISO16890	Mått BxL (m)	Mediatjocklek (mm)	Vikt (g/m ²)	LuftHöde/tryckfall (m ² /N/Pa)	Tryckfall (Pa)	Vikt (kg)	Hastighet (m/s)
003040	CM-360 torr	Syntet	G3	Coarse 50%	1,0x20	8-10	190		30	4,5	
003042	CM-360 torr	Syntet	G3	Coarse 50%	2,0x20	8-10	190	45	30	8,0	1,0
003012	CM-375 torr	Syntet	G4	Coarse 60%	1,0x20	20-22	400		45	8,5	
003013	CM-375 torr	Syntet	G4	Coarse 60%	2,0x20	20-22	400		45	16,5	
002072	Gul/Vit Anoljat	Glasfiber	G4	Coarse 60%	1,5x20	10					
002075	Grön/Vit Torr	Glasfiber	G4	Coarse 60%	1,0x20	50					
003086	PE940-200/20	Syntet	G4	Coarse 60%	2x20	20			25		1
003084	PE950-500/20	Syntet, impregnerat	M5	Coarse 85%	2,0x20	20			25		0,25

Skilnader kan förekomma.

Vedlegg 5: Serienummer måleutstyr

Måleapparat	Serienummer
Rotronic	1180136
AEROTRAK Particle counter	93061626013
P-TRAK 8525	08160005
BM Dustdetector	1211281116340
SwemaAir 300	385409

Vedlegg 6: Utregning av ny k-verdi for luftmengde

Formelen for
luftmengde er:

$$ql = k * \sqrt{\Delta pw}$$

K – verdi for viftene= 381 (fra datablad)

Måling nr.	Visning på display(Δpw)	Målt luftmengde (ql) [m ³ /h]	Ny k verdi
1	100 pa	9930,85084	993,085084
2	80 pa	8933,33234	998,776919
Ny gjennomsnittlig k-verdi			995,931001

Finner ny k-verdi ved å løse formelen med hensyn på k.

Vedlegg 7: Filteranalyse fra Camfil



CAMFIL TECHCENTER

WR4089 - NTNU

SEM MEDIA-ANALYS

Labbingenjör Filip Sandberg

16 april 2019

Innehåll

1 SEM Analys, Material Analys	3
2 Syfte	3
3 Beställarens iakttagelser och kommentarer vid provtagningsplats	3
4 Beskrivning av SEM	4
5 Beskrivning av Metod	4
6 Resultat	5
7 Bilder filtermedia	5
8 Partikelidentifiering - Kartläggning	7
9 Sammanfattning och kommentarer	10

1 SEM Analys, Material Analys

Utförd av: Filip Sandberg

Beställd av: Lars Navelsaker

16 april 2019

Key Words: Media-analys, Norway, Climbing Hall

Prover

1: Camfil XLT 592x287x640-10

2 Syfte

Syftet med den här analysen var att undersöka vilka typer av partiklar som fanns i filtren och ifall något onormalt hittas.

3 Beställarens iakttagelser och kommentarer vid provtagningsplats

Inga kommentarer.

4 Beskrivning av SEM

Svepelektronmikroskop(SEM) är ett mikroskop som använder sig av koncentrerade elektroner för att generera en bild. Med SEM kan mycket hög förstoring uppnås, betydligt större än vad som är möjligt att erhållas med ljusmikroskopi. Upplösningen i SEM teknologin gör det möjligt att förstora objekt till 300,000x förstoring. Ett exempel på hur smått detta är; för att få en yta på 1x1 cm vid 42,000 gångers förstoring så skulle det krävas ca 15 miljoner bilder. I SEM så utsätts proven som ska studeras för olika elektroner med hög energi vilket leder till olika fysikaliska fenomen. Vissa elektroner reflekteras och kan då detekteras och skapa en bild av ytan. När detta sker så påverkas atomerna i provet genom att elektroner i de inre skalerna exiteras, det vill säga hoppar till ett yttre elektronskal. När dessa senare faller tillbaka sänds en röntgen strålning ut från provet som kan detekteras med en EDS(Energy-dispersive spectroscopy)-detektor. Strålningen som kommer ifrån denna reaktion är specifik för varje grundämne som provet innehåller, och det gör det därför möjligt att få ut kemisk information från provets olika partiklar vilket leder till att man kan avgöra vilka typer av grundämnen som finns i proven. Dessa egenskaper utnyttjas vid luftprovsanalyser där ett automatiserat program skannar partiklarna på ytan och klassificerar partiklarna utifrån definierade parametrar som t.ex. dess grundämnesuppbyggnad, form och storlek.

5 Beskrivning av Metod

Metoden som används för SEM är baserat på ett projekt tillsammans Stockholms Universitet under 1992. En följd av detta projekt ledde till utvecklingen av ett provtagningsystem för luftanalyser. De metoder som används är beroende på vilken typ av analys som blir utförd. De olika analyserna delas in i tre olika metoder där samtliga icke-ledande prover beläggs med guld (sputter coating) för att öka provens ledningskapacitet och möjliggöra prövning av icke-ledande prover.

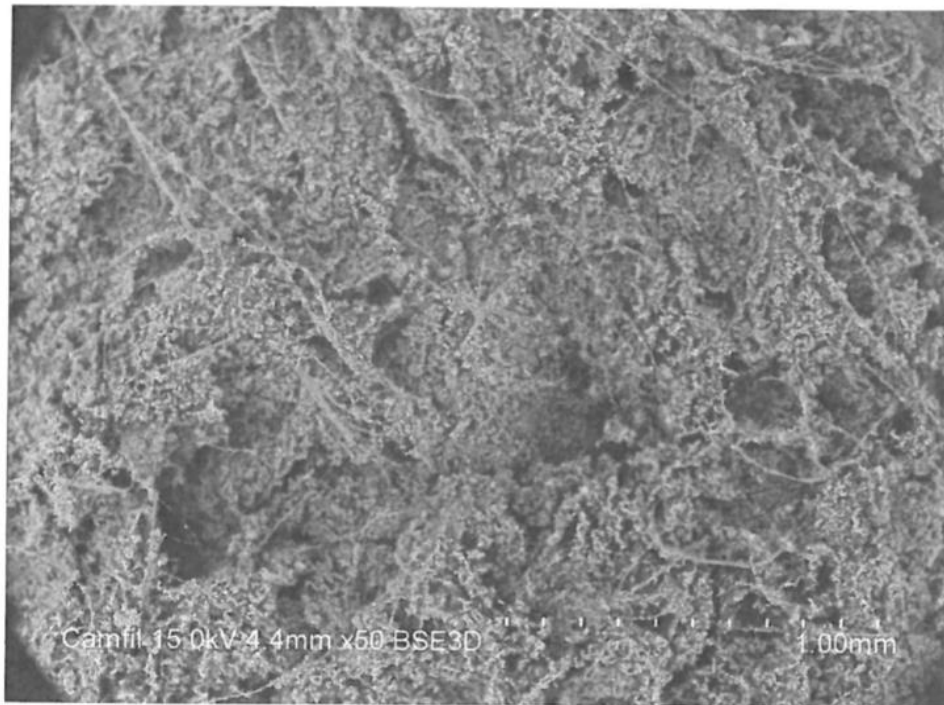
1. Luftanalyser; vid luftanalyser så används en vakuumpump som suger luften genom ett membranfilter som fästs på en provhållare för att på så sätt fånga partiklarna. Luftkvaliteten bedöms sedan efter mot en referens som tagits fram genom vår mångåriga erfarenhet inom luftanalys. Bedömning görs med avseende på partiklarnas mängd samt dess identifierade partikelklass.

2. Filtermedia-analyser; vid analysen så tas en del av filtermediat som fästs på en lämplig provhållare. Därefter analyseras ytan med hjälp av EDS-detektorn som använder sig av form, storlek samt ämnesuppbyggnad för att generera en bild som visar de olika ämnena som finns i provet samt vart i provet de förekommer.

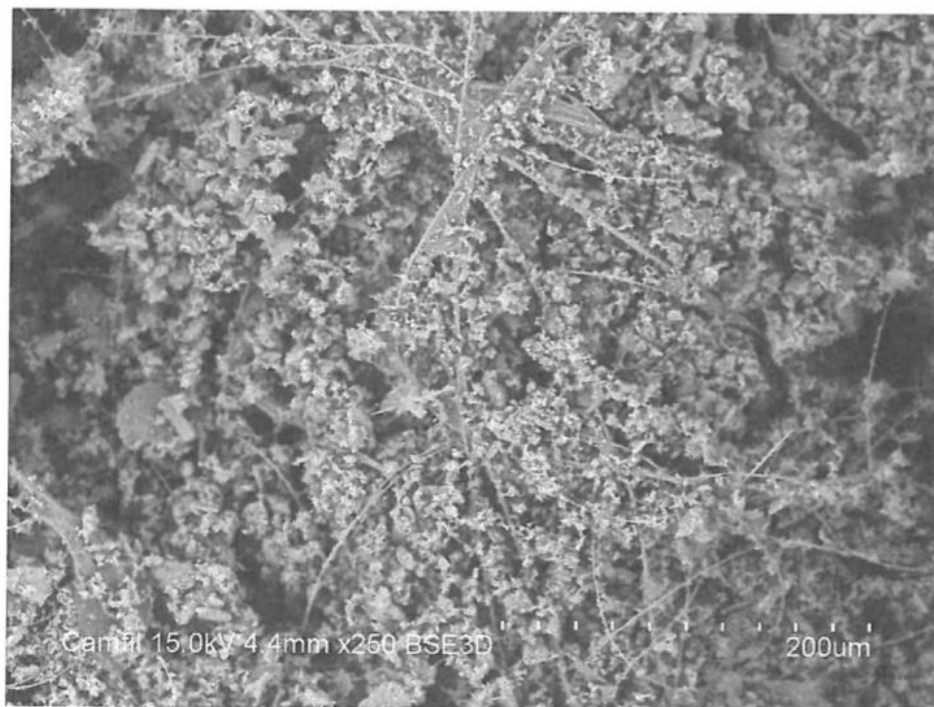
3. Stoff/material-analyser; vid analysen fästs provet på en lämplig provhållare. Därefter analyseras ytan med hjälp av EDS-detektorn som utvärderar partiklarnas form, storlek och ämnesuppbyggnad. Detta gör det möjligt att generera en bild som visar de olika ämnena som finns i provet samt vart i provet de förekommer. Det är oftast även möjligt att göra en partikelanalys för att bedöma antalet partiklar samt avgöra dessa klass för att på så vis ta reda på vad det är för typ av stoff/material.

6 Resultat

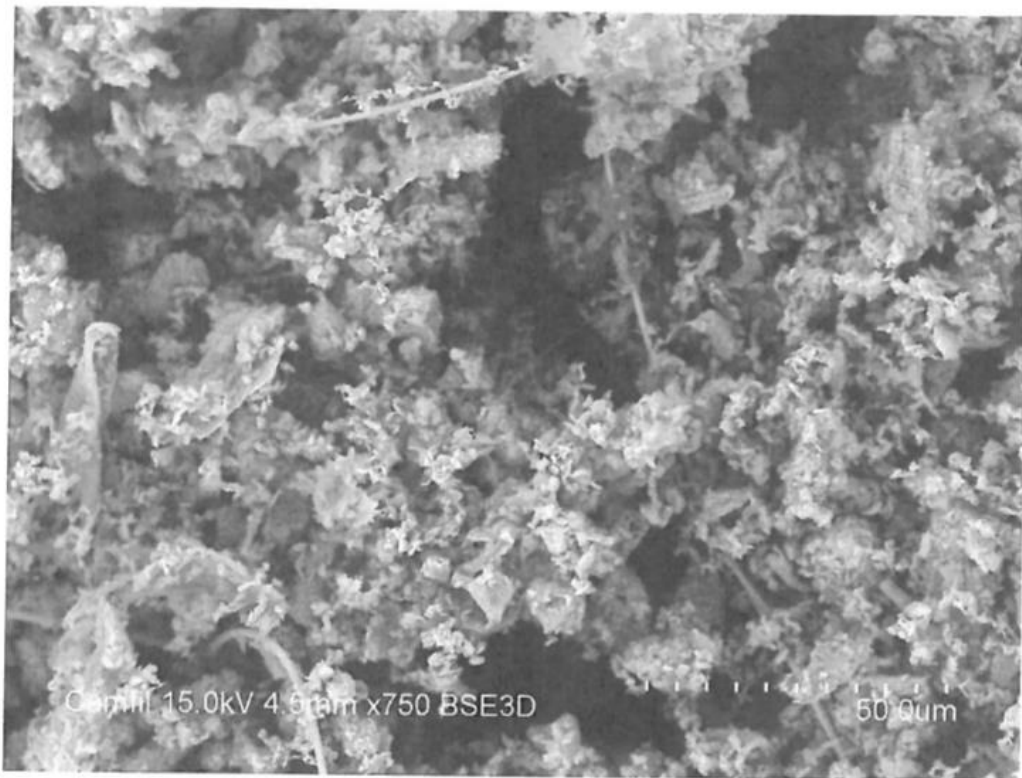
7 Bilder filtermedia



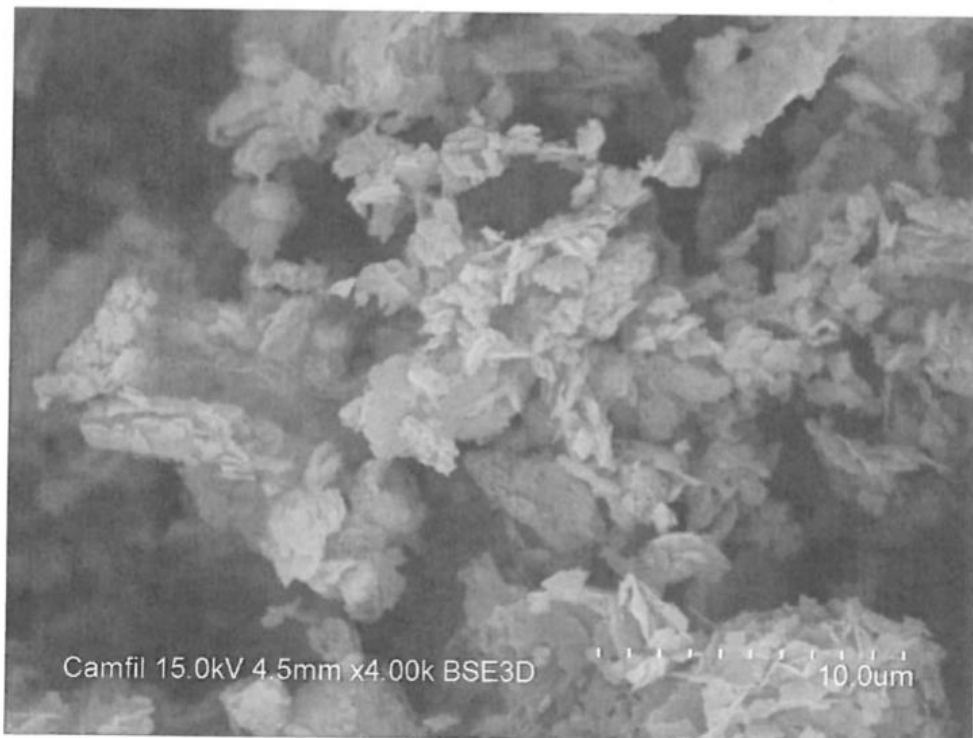
Figur 1: Media, 50x



Figur 2: Media, 250x



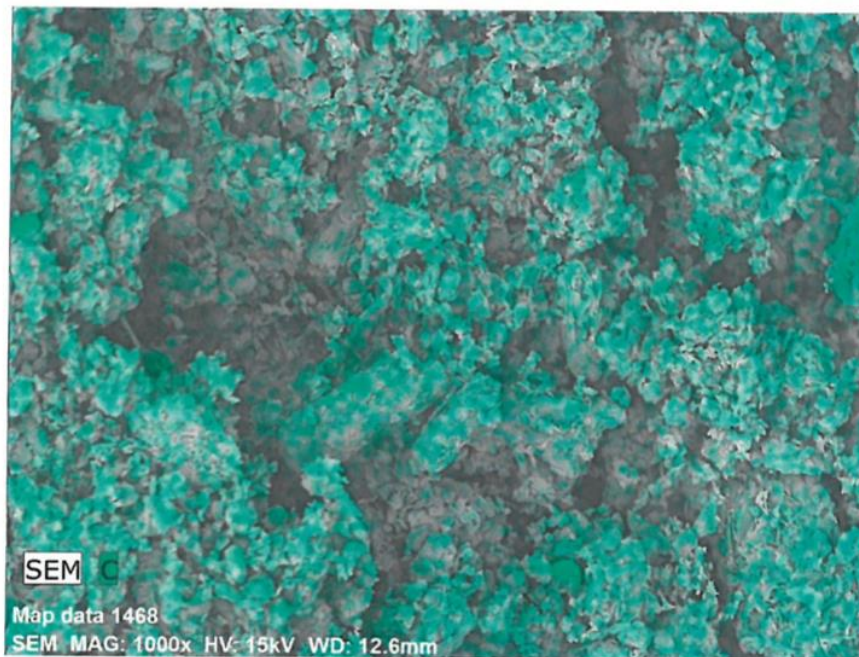
Figur 3: Media, 750x



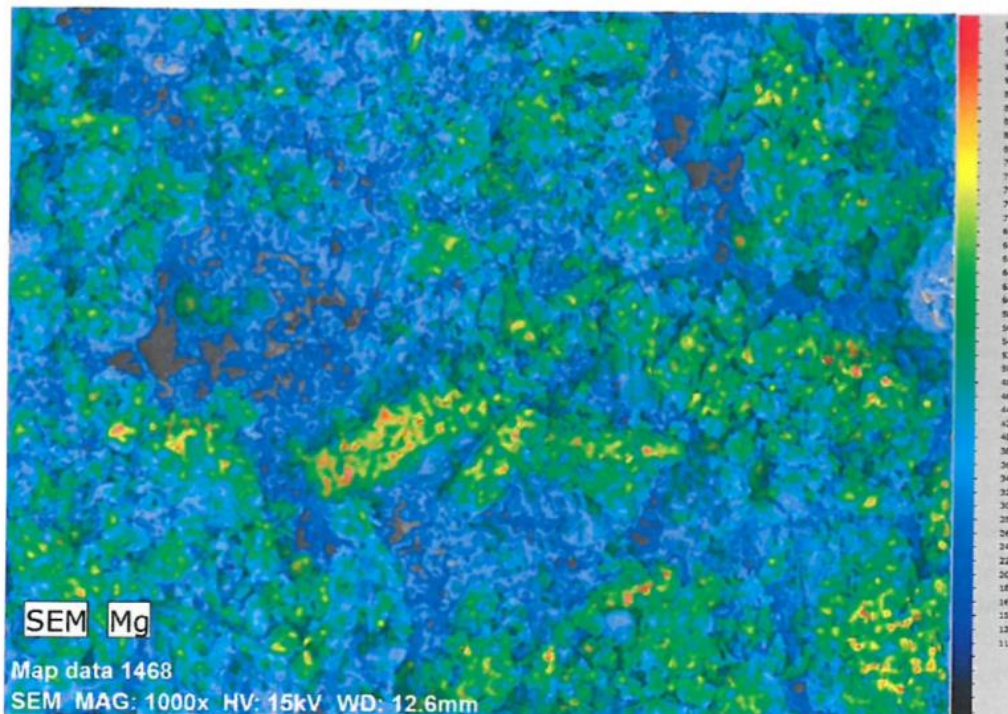
Figur 4: Media, 4000x

8 Partikelidentifiering - Kartläggning

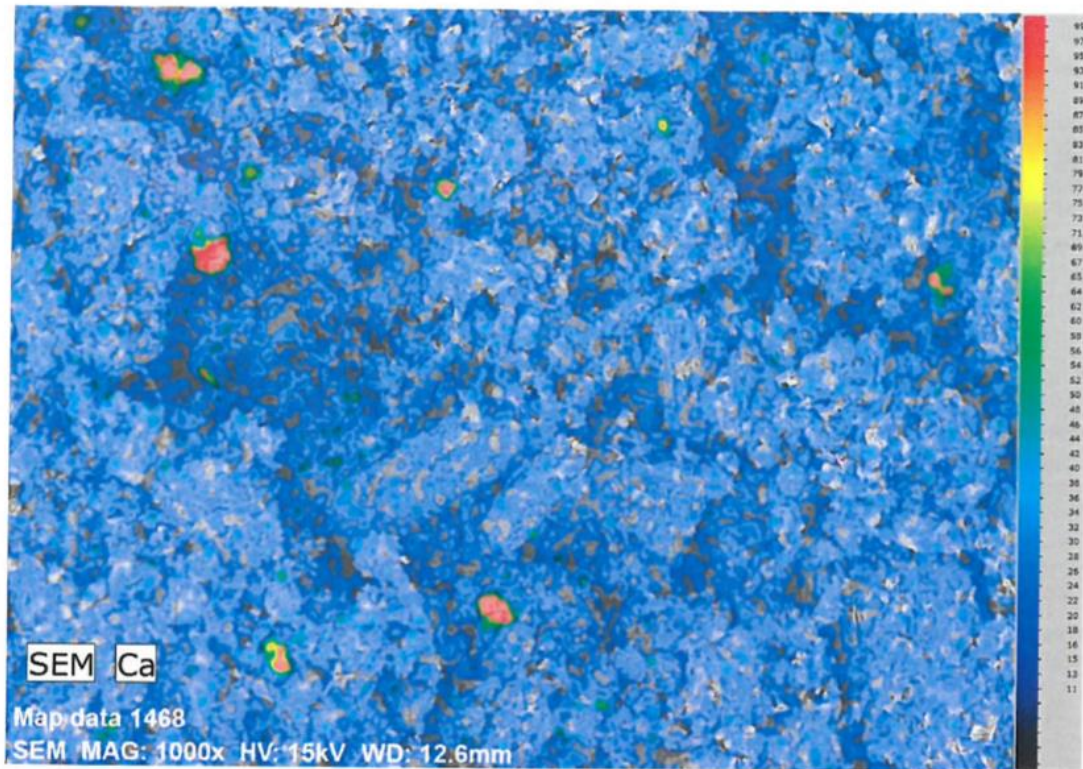
Ytan skannas av EDS-detektorn och grundämnesfördelningen erhålles vilket ger grundläggande information om vilka partiklar som finns i filtret.



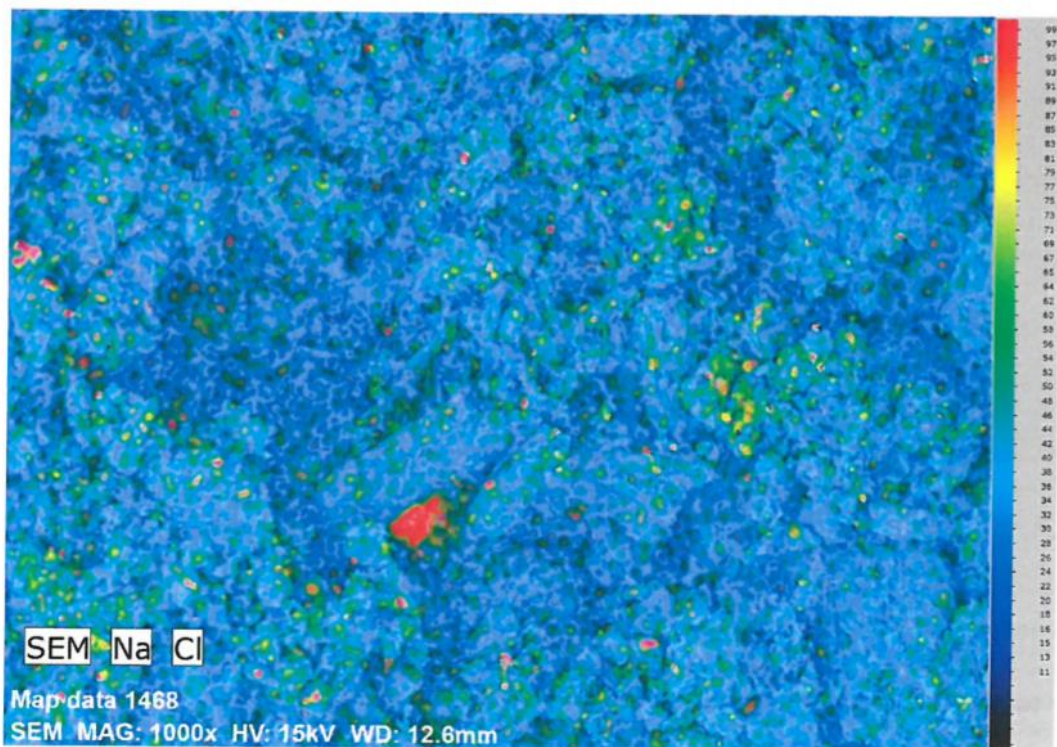
Figur 5: Mapping av ytan, organisk materia



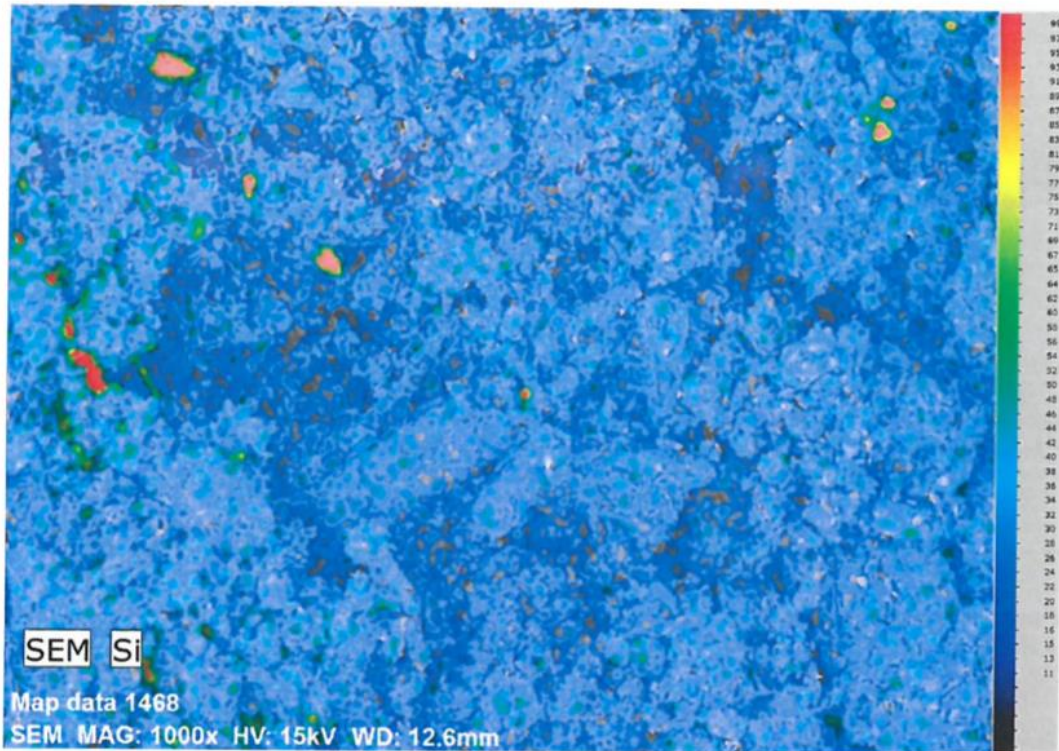
Figur 6: Mapping av ytan, Kalciumpartiklar



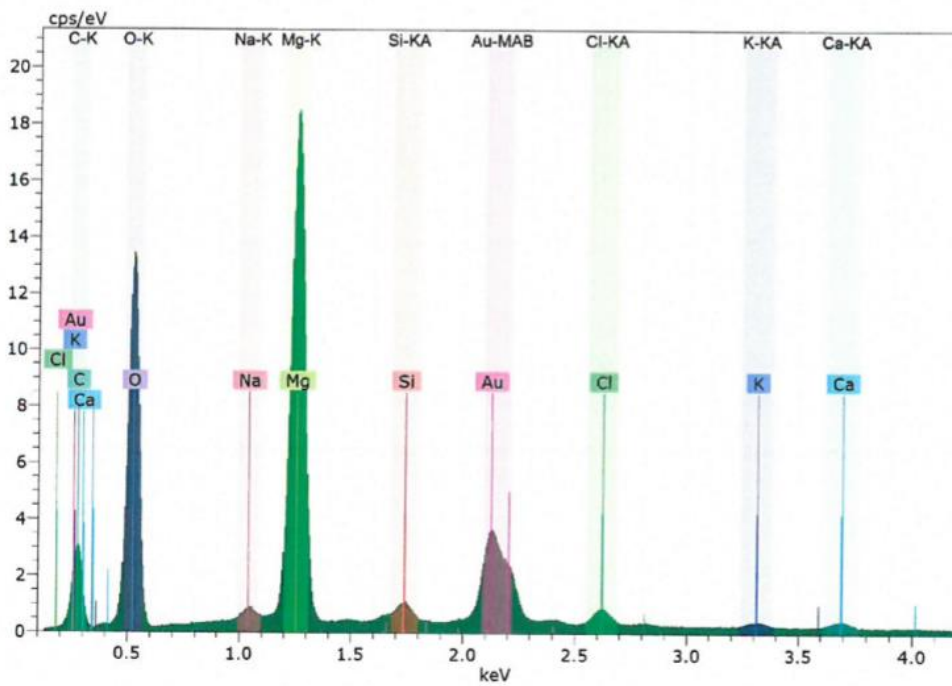
Figur 7: Mapping av ytan, Kalciumpartiklar



Figur 8: Mapping av ytan, salt



Figur 9: Mapping av ytan, kisel-mineralpartiklar



Figur 10: Graf av Mapping

9 Sammanfattning och kommentarer

Filtret innehåller en hög mängd stoft av huvudsakligen magnesium och kolpartiklar, mineraler/sand samt salt. Distributionen av dessa partiklar på den analyserade ytan kan ses i samtliga bilder från figur 6-8. En full lista på de olika grundämnena som förekommer i filtret kan ses i spektrumet i figur 9. Troligtvis är dessa magnesium och kolpartiklar magnesiumkarbonat ($MgCO_3$) vilket i detta fall sannolikt kommer från det pulver som används på händerna för att öka friktionen. Detta korrelerar starkt med vad lokalen används till vilket är klättring.