



**RI.  
SE**

# **BRAVENT**

## **Storskala branntester (del 1)**

**Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter**

RISE RAPPORT 2024:37

Janne Siren Fjærestad

Aileen Yang

Freddy Dovran

Jørn Olsen

Christoph Meraner

RISE Fire Research

# BRAVENT – Storskala branntester (del 1):

## Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter

Janne Siren Fjærestad<sup>a</sup>, Aileen Yang<sup>b</sup>, Freddy Dovran<sup>c</sup>,  
Jørn Olsen<sup>d</sup>, Christoph Meraner<sup>a</sup>

- a) RISE Fire Research
- b) SINTEF Community
- c) Oslobygg KF
- d) GK Norge

## Abstract

### **BRAVENT – Large-scale fire tests (part 1): Fire performance for non-fire rated ventilation components**

In the overall BRAVENT project, the goal is to generate answers and documentation on current issues related to ventilation and fire by examining these with experimental fire tests. The present study aimed to evaluate the fire performance of key non-fire-rated components, mainly DCV dampers and exhaust filters, in a comfort ventilation system by testing the hypothesis that the ventilation components will not be damaged by fire within 30 or 60 minutes. To test the hypothesis, a total of 14 large-scale fire tests with different fuels were carried out. The tests were carried out in a test building with several rooms that are representative of classrooms, offices, and corridors. The fire tests were designed to investigate relevant fire scenarios for school buildings, but the findings from the tests can also be used for other purpose-built buildings. The building was equipped with a full-fledged damper-optimized ventilation system, sized to serve a total of 450 m<sup>2</sup> and thus provide a realistic basis for the fire tests.

Currently, there is no documentation on how non-fire-rated dampers are affected by high temperatures that occur during a fire. The temperature specifications given for non-fire rated DCV dampers are intended for normal operation. Two different types of DCV dampers were tested. In one type, the airflow was measured with a measuring cross, and for the other, the airflow was measured with sensors integrated into the damper blade itself.

In several of the conducted tests the non-fire-rated dampers were not able to sustain their function for the required duration of 30 minutes or longer, and failed completely when the temperature inside or outside the dampers reached about 200 °C. Misreporting of some temperature measurements in the building management system already occurred at lower temperatures, around 120°C, without significantly affecting the delivered air flow rate.

For the damper type with a measuring cross, the plastic hoses connecting the measuring cross and the measuring transducer for the damper melted when hot smoke was transported through the damper. This failure resulted in the DCV damper measuring too low or no airflow. In several tests, this measurement error meant that the DCV damper opened fully, trying to achieve a large enough airflow. In one of the tests where the supply air damper was placed inside the fire room, such a fault on the supply air damper caused it to close completely. In addition to the damage to the dampers, the power supply to the damper was destroyed, and a fuse for the power supply in the control cabinet was short-circuited. This resulted in the building management system losing contact with all the dampers. This shows that a local error can cause the entire system to fail.

For the other damper type, where the sensors were located in the damper blade, the high temperatures caused the entire damper blade to melt.

It was not observed that soot in the fire smoke led to problems with the dampers' measuring sensors for any of the damper types examined. This indicates that for the performed test series, high temperature and not soot was the greatest challenge for the dampers in the event of a fire.

In addition to examining how dampers are affected by fire, there was also an investigation into how the filter performs during a fire. It was found that the filter could largely capture the soot particles in the smoke. This means that equipment located downstream of the filter is relatively well protected against soot, and the possibility of soot contamination to the supply air side via a rotating heat recovery unit can, therefore, be considered minimal as long as the filter is not damaged. However, when the filter collects so much soot, it shows that the potential for the filter to clog. How quickly this happens depends, among other things, on the materials that burn and the size of the fire in relation to the air handling unit's capacity. This also aligns with results from an earlier BRAVENT project [1]. The air temperature in the unit was in all tests carried out below 60°C and thus lower than the filters' maximum operating temperature of 70°C.

The conclusion from the tests is that the extraction principle with non-fire-rated components cannot be considered a safe strategy for 30 or 60 minutes.

**Key words:** Smoke ventilation, DCV-damper, damper optimized ventilation system, large-scale fire tests

**Nøkkelord:** Røykventilasjon, DCV-spjeld, spjeldoptimalisert ventilasjonssystem, storskala branntester

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE-rapport 2024:37

ISBN: 978-91-89896-94-9

Prosjektnummer: 20573

Kvalitetssikring: Andreas Sæter Bøe

Finansiert av: Norges forskningsråd, program SAMRISK-2-Samfunnssikkerhet og risiko, prosjektnummer 321099 og prosjektpartnerne

Forsidebilde: RISE Fire Research

Trondheim 2024



# Innhold

<b>Abstract</b> .....	<b>1</b>
<b>Innhold</b> .....	<b>3</b>
<b>Forord</b> .....	<b>5</b>
<b>Sammendrag</b> .....	<b>6</b>
<b>1 Innledning</b> .....	<b>8</b>
1.1 Om BRAVENT .....	8
1.2 Bakgrunn .....	8
1.3 Forskningsspørsmål og hypotese .....	10
1.4 Begrensninger .....	10
1.5 Rapportens oppbygning.....	10
<b>2 Testoppsett</b> .....	<b>12</b>
2.1 Bygg .....	12
2.2 Ventilasjon .....	15
2.2.1 Komponenter.....	17
2.2.2 Automasjon .....	20
2.3 Instrumentering og prøvetaking .....	21
<b>3 Branntester</b> .....	<b>24</b>
3.1 Tester med elsparkesykkel - Test 1-6.....	26
3.2 Tester i kontoret - Test 7-11 .....	27
3.3 Tester i klasserommet - Test 12-14 .....	28
<b>4 Resultater</b> .....	<b>29</b>
4.1 Brannforløp .....	29
4.2 Brannytelse for spjeld.....	32
4.3 Brannytelse for filter .....	44
4.4 Inneklima.....	47
4.4.1 Støvkonsentrasjon i avtrekkslufta .....	47
4.4.2 Støv/sotprøver i avtrekkskanal .....	50
4.4.3 Elementanalyse av sot.....	50
<b>5 Diskusjon</b> .....	<b>54</b>
5.1 Sotakkumulering og påvirkning av inneklima .....	54
5.2 Sotakkumulering og påvirkning av avtrekksfilter .....	54
5.3 Brannytelse for ikke-brannklassifiserte spjeld under brann .....	55
<b>6 Konklusjon</b> .....	<b>58</b>
<b>7 Referanser</b> .....	<b>60</b>
<b>Vedlegg A - Lufttethetsmålinger testbygg</b> .....	<b>i</b>
<b>Vedlegg B - Utfyllende testdata</b> .....	<b>xliv</b>
<b>Vedlegg C - Datablad DCV-spjeld</b> .....	<b>lxxi</b>

<b>Vedlegg D -</b>	<b>Funksjonsbeskrivelse ventilasjon.....</b>	<b>lxxxix</b>
<b>Vedlegg E -</b>	<b>Bidireksjonale prober og gassmålinger.....</b>	<b>xcviii</b>
<b>Vedlegg F -</b>	<b>Spjeldposisjoner .....</b>	<b>c</b>
<b>Vedlegg G -</b>	<b>Temperaturmålinger ventilasjon .....</b>	<b>cii</b>
<b>Vedlegg H -</b>	<b>Temperaturmålinger i rom.....</b>	<b>civ</b>
<b>Vedlegg I -</b>	<b>Veggmonterte sensorer .....</b>	<b>cvi</b>
<b>Vedlegg J -</b>	<b>Dimensjoner bygg.....</b>	<b>cviii</b>
<b>Vedlegg K -</b>	<b>Brannstrategi ventilasjon der hovedkravet om Steng inne ikke er muligcix</b>	

## Forord

BRAVENT er et Innovasjonsprosjekt finansiert av Norges forskningsråd, program SAMRISK-2-Samfunnssikkerhet og risiko, prosjektnummer 321099, samt av prosjektpartnerne. Prosjektet pågår i perioden 2021-2024. Prosjekteier er Oslobygg KF, prosjektleder er RISE Fire Research og de andre partnerne i prosjektet er SINTEF Community, GK Norge, TROX Auranor Norge, Bergen Kommune og Trondheim Eiendom (2021-2022).

Oppbygging av forsøksoppsett og gjennomføring av forsøkene i denne studien er gjort i samarbeid med prosjektet «Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel», som er finansiert av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB) og Direktoratet for byggkvalitet (DiBK). Vi ønsker å takke for samarbeidet.

Prosjektet fikk også god støtte fra Interfil og Autronica Fire and Security som ikke var prosjektpartnerne, men som likevel donerte filter og brannvarslingsanlegg til testene.

Til slutt vil vi takke referansegruppens medlemmer Trond S Andersen (DiBK), Stefan Andersson (Norconsult), Arne Pihl Bordi (Norconsult), Tomas Fagergren (Brandskyddslaget Sverige), Arnstein Fedøy (Igneus AS), Finn Volla Karlsen (Rambøll), Kjell Ivar Moe (Multiconsult), Vegard Ervik Olsen (Multiconsult), Lasse Kvalheim Stølen (Sweco), Tommy Ueland (DSB) og Barbro Westlund-Storm (HRP) for nyttige innspill og gode diskusjoner underveis i prosjektet.

Trondheim, mai 2024

Christoph Meraner

Prosjektleder

## Sammendrag

I det overordnede BRAVENT-prosjekt er målet å generere svar og dokumentasjon på aktuelle problemstillinger knyttet til ventilasjon og brann, ved å undersøke disse med eksperimentelle brannforsøk. Målet med denne studien var å evaluere brannytelsen av sentrale ikke-brannklassifiserte komponenter, i hovedsak DCV-sjeld og avtrekksfilter, i et komfortventilasjonsystem ved å teste følgende hypotesen at *ventilasjonskomponentene vil ikke ødelegges ved brann i løpet av 30 eller 60 minutter*. For å teste hypotesen ble totalt 14 storskala branntester med forskjellig brensel gjennomført. Testene ble gjennomført i et testbygg med flere rom som er representative for klasserom, kontor og korridor. Branntestene ble designet for å undersøke relevante brannscenarier for skolebygg, men funnene fra testene kan også brukes for andre formålsbygg. Bygget var utstyrt med et fullverdig sjeld-optimalisert ventilasjonsanlegg som var dimensjonert for å betjene totalt 450 m<sup>2</sup> og dermed gi et realistisk grunnlag for branntestene.

Per nå finnes det ingen dokumentasjon om hvordan ikke-brannklassifiserte brannsjeld påvirkes av høye temperaturer som oppstår under en brann. Temperaturspesifikasjonene som oppgis for ikke-brannklassifiserte DCV-sjeld er tenkt ved vanlig drift. To ulike typer DCV-sjeld ble testet. I den ene typen ble luftstrømmen registreres med et målekryss, og for den andre ble luftstrømmen målt med sensorer i selve sjeldbladet.

I flere av de utførte testene klarte ikke de ikke-brannklassifiserte DCV-sjeldene å opprettholde sin funksjonalitet i de påkrevde 30 eller 60 minutter. De feilet fullstendig når temperaturen inne i eller utenfor sjeldene ble omtrent 200 °C. Feilrapportering av noen av SD-anleggets temperaturmålinger oppsto allerede ved lavere temperaturer, rundt 120 °C, uten at dette påvirket den leverte luftmengden av betydning.

For sjeldtypen med målekryss smeltet plastslangene som forbinder målekryss og styringen for sjeldet når varme røykgasser ble transportert gjennom kanalen. Dette resulterte i at DCV-sjeldet ikke målte for lavt eller ingen luftmengde. I flere av testene medførte denne målefeilen at DCV-sjeldet åpnet seg helt opp for å prøve å få stor nok luftgjennomstrømning. I en av testene der tilluftssjeldet var plassert inne i brannrommet, førte en slik feil på tilluftssjeldet at det lukket seg helt. I tillegg til skadene på sjeldene, ble strømforsyningen til sjeldene ødelagt og en sikring til strømforsyningen i styreskapet kortslettet. Dette resulterte i at systemet mistet kontakten med alle sjeldene. Dette viser at en lokal feil kan føre til at hele SD-systemet feiler.

For den andre sjeldtypen der sensorene var plassert i selve sjeldbladet, førte de høye temperaturene til at hele sjeldbladet smeltet.

Det ble ikke observert at sot i brannrøyken førte til problemer med sjeldenes målesensorer for noen av de undersøkte sjeldtypene. Dette indikerer at i den utførte testserien var det høye temperaturer og ikke sot som var den største utfordringen for sjeldene ved brann.

I tillegg til hvordan sjeldene påvirkes av brann, ble det også undersøkt hvordan filteret fungerer ved brann. Det ble funnet at filteret i stor grad klarte å fange opp sotpartiklene i røyken. Dette innebærer at utstyr som befinner seg nedstrøms av filteret er nokså godt beskyttet mot sot, og muligheten for sotsmitte til tilluftssiden via en roterende varmegjenvinner kan derfor anses som minimal, så lenge filteret er intakt. På den annen side, når filteret samler opp så mye sot, viser dette at filteret har potensiale for å tettes. Hvor raskt det skjer er blant annet

avhengig av hvilke materialer som brenner og brannstørrelsen i forhold til aggregatets kapasitet. Dette er for øvrig i tråd med resultater fra et tidligere BRAVENT-prosjekt [1]. Lufttemperaturen i aggregatet var i alle gjennomførte tester under 60 °C og dermed lavere enn filtrenes maksimale driftstemperatur på 70 °C.

Konklusjonen fra testene er at «trekk-ut»-prinsippet med ikke-brannklassifiserte komponenter ikke kan anses som en sikker strategi i 30 eller 60 minutter.

# 1 Innledning

## 1.1 Om BRAVENT

Denne rapporten er en del av en serie som omhandler brann og røykspredning i ventilasjonsanlegg som går under fellesnavnet BRAVENT (Brann- og røykspredning i ventilasjonskanaler). Følgende rapporter er publisert i denne serien til nå:

- 2019 BRAVENT - Rapport 1 - Teori og kunnskapssammenstilling [2]
- 2019 BRAVENT - Rapport 2 - Brannspredning i ventilasjonskanaler [3]
- 2021 BRAVENT - Tetting av ventilasjonsfilter med brannrøyk [4]
- 2022 BRAVENT - Brannforløp og ventilasjon i skoler [5]
- 2024 [6] (denne rapporten)
- 2024 BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning [7]
- 2024 BRAVENT – Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg [8]
- 2024 BRAVENT – Kontrollplan: Ventilasjonsanleggets funksjon under brann [9]

## 1.2 Bakgrunn

BRAVENT-prosjektet har som mål å utforske muligheten for å utvikle og dokumentere en løsning for trykk- og røykkontroll for mindre branner ved skoler. Mindre branner er her definert som branner som ikke sprer seg utenfor arnestedsrommet og ikke fører til overtenning i rommet. Denne løsningen skal være generell og kostnadseffektiv og tar utgangspunkt i å ta i bruk det eksisterende ventilasjonssystemet (komfortventilasjon) ved skolene. Komfortventilasjon er en generell beskrivelse av et ventilasjonssystem som styres etter komfortparametere f.eks. temperatur og CO<sub>2</sub>, for å gi et godt innklima. Behovsstyrt ventilasjon som VAV (variable air volume = varierende luftmengde etter behov) eller DCV (directional control valve = behovsstyrt luftmengde) er eksempler på komfortventilasjon.

Ved brann er det primært to strategier for styring av ventilasjonsanlegget, såkalt «trekk ut»- og «steng inne»-strategi. «Trekk ut» baserer seg på at ventilasjonsanlegget fortsetter å gå i normal drift eller girer opp til maksimalt prosjektert luftmengde (tilluft og avtrekk) ved deteksjon av brann, avhengig av det eksisterende brannkonseptet i bygget. «Steng inne», derimot, stenger ned ventilasjonsanlegget og har brannspjeld som stenger brannrøyken inne i de rommene som brenner. Mer utfyllende informasjon om disse konseptene kan finnes i en tidligere BRAVENT-rapport [2].

Den vanlige «trekk ut»-strategien blir normalt installert med bypass, et system som leder røyken utenom filteret slik at det ikke skal tettes, og det er vanlig å dekke til deler eller hele kanalen med brannisolasjon. I de fleste skolene er komfort-ventilasjonsanleggene ikke utstyrt med et bypass som brukes ved brann. Kartleggingsarbeid for et utvalg av skoler i Oslo, Bergen og Trondheim viste at 10 av de 15 undersøkte skolene ikke hadde brannspjeld eller kun delvis brannspjeld installert. Kun to av skolene hadde et bypass-system installert, hvorav en av disse hadde bypass-system for kun ett av ni aggregater [5].

Dette BRAVENT-prosjektet vil derfor utforske en alternativ "trekk ut"-strategi som bare er avhengig av eksisterende system for komfortventilasjon. Strategien skal bidra til å kontrollere røykspredning ved at røyken trekkes ut av bygget via ventilasjonskanalene, uten bruk av by-pass. Denne strategien kan være spesielt egnet for de vanligste skolebrannene, som kjennetegnes av små branner med moderat varmeutvikling. Dersom alternativ strategi lar seg gjennomføre vil dette være kostnadsbesparende for eldre anlegg som ikke må bygges om via kanalnett eller styringsfunksjoner. For å kunne bruke det eksisterende ventilasjonsanlegget til "trekk ut"-strategien, må en del forhold dokumenteres. Dette gjelder blant annet ventilasjonskomponentenes ytelse ved brann og evnen til å opprettholde deres funksjonalitet i påkrevd tid.

Kartleggingen av skolebranner i BRAVENT-rapporten: «Brannforløp og ventilasjon i skoler» [5] viste at typiske arnested er i klasserom, garderobertoalett eller i gangen. Kostnadene for sanering av skolen kan være store og innebærer blant annet at lokalene luktsaneres, ventilasjonskanalene renses og det er behov for å bytte filter. I visse tilfeller har det også ført til behov for å bytte detektorer og tillufts-/avtrekksventiler.

Når det gjelder inneklimatekster, kan rester av røyk og sot etter brann resultere i sjenerende lukt, og gi negative helseeffekter for utsatte/følsomme grupper som eldre, barn eller folk med astma. Faktorer som intensiteten på brannen, brensel og oksygentilførsel vil avgjøre hvor farlig brannrøyken er og hvor mye sot som genereres.

## 1.3 Forskningsspørsmål og hypotese

Basert på funnene fra kartleggingen i WP1, ble det utført en rekke storskala branntester i et dedikert testbygg med et komfortventilasjonsystem. Dette for å undersøke følgende forskningsspørsmål:

- 1) Hvordan vil ikke-brannklassifiserte spjeld og andre komponenter fungere ved en brann?
- 2) Hvilken påvirkning har ulike typer brensel på ventilasjonskomponenter og sotakkumulering?

Faktorer som antas å påvirke komponentene er:

- tetting av sensorer på grunn av sot,
- at deler av spjeldet ødelegges av høye temperaturer,
- at elektroniske komponenter blir påvirket av sot og gir signalfeil,
- at filter i avtrekkslufta tettes som følge av soteksponering.

Gjennom branntestene skal følgende hypotese testes:

***Ventilasjonskomponentene vil ikke ødelegges ved brann i løpet av 30 eller 60 minutter.***

Studien undersøker relevante brannscenarier for skolebygg, men funnene fra testene kan også være relevante for andre formålsbygg.

## 1.4 Begrensninger

Testbygget var utstyrt med et spjeldoptimalisert ventilasjonssystem. Spjeldoptimaliserte ventilasjonssystemer er mest energieffektive og derfor den mest vanlige løsningen i nyere bygg. Det antas at slike systemer er mer sårbare for brannpåvirkning på grunn av deres komplekse styringssystem. Trykkoptimaliserte eller andre ventilasjonssystemer (inkludert spesialavtrekk eller kjøkkenavtrekk) ble ikke undersøkt.

Branntestene er begrenset til branner som ikke går til overtenning og som ikke sprer seg utover arnestedsrommet, som er hoveddelen av alle registrerte branner på norske skoler.

I de utførte testene ble helt nye spjeld og filter benyttet. Det er derfor ikke studert hvordan deres funksjon ved brann påvirkes av evt. støvansamling som over tid vil skje ved vanlig drift.

## 1.5 Rapportens oppbygning

Denne rapporten «BRAVENT – Storskala branntester (del 1): Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter» er den første av to deler som beskriver funnene fra de 14 storskala branntestene utført i dette BRAVENT prosjektet. I denne delen fokuseres det på hvordan ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter fungerer ved en brann. I løpet av brannen vil også ventilasjonsanlegget kunne bli forurenset av sotpartikler, noe som kan ha negativ innvirkning på inneklima og helse når bygget tas i bruk igjen etter brannen. Derfor studeres det også i hvilken grad sot avsettes ulike steder i ventilasjonsanlegget. Del 1 gir også en beskrivelse av alle de utførte testene, og i vedlegg B presenteres måledata fra alle testene.



Vurderinger av hvordan feilmekanismer som oppstod i testene vil påvirke driften og funksjonaliteten til ventilasjonsanlegget blir analysert og drøftet i rapporten «BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning» [7].

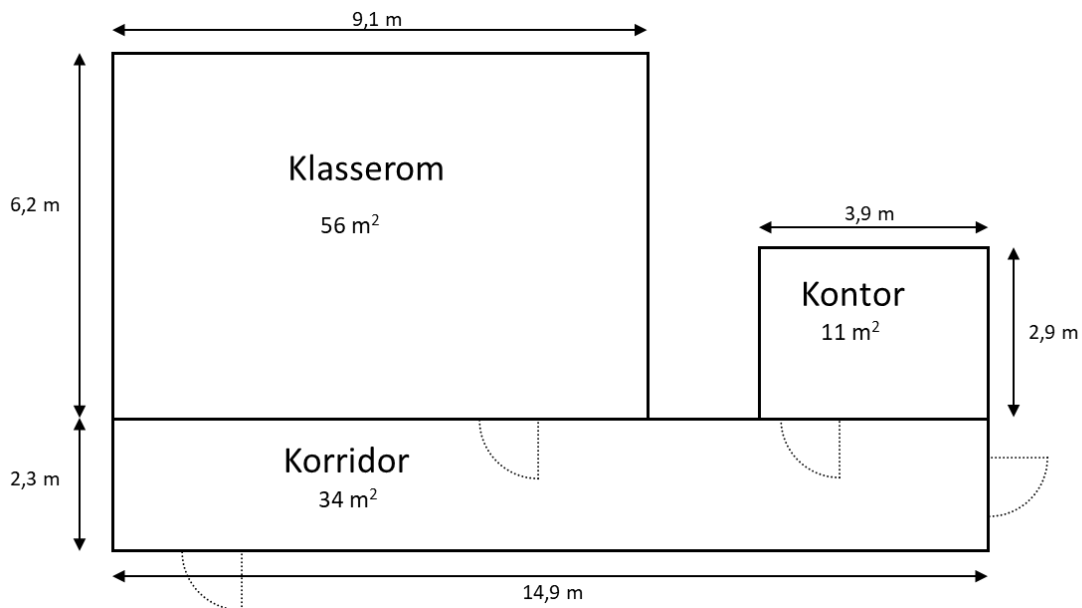
## 2 Testoppsett

### 2.1 Bygg

Et bygg bestående av flere rom og et fullverdig komfort-ventilasjonssystem ble bygget for å gjennomføre branntester. Bygget bestod av et klasserom på 56 m<sup>2</sup>, et kontor på 11 m<sup>2</sup> og en 15 m lang korridor på 34 m<sup>2</sup>, for å simulere rom som typisk finnes på skoler. Figur 2-1 viser bygget fra utsiden, mens Figur 2-2 viser geometrien på bygget. Klasserom og kontoret har ingen felles vegg, slik at potensiell røykspredning kun kan oppstå via korridoren eller ventilasjonssystemet.



Figur 2-1: Bilde av testbygning utvendig. Kontoret vises til venstre og klasserommet vises til høyre. Døra til venstre går inn i korridoren som ligger i bakkant på bildet. Foto: RISE Fire Research.



Figur 2-2: Målsatt skisse av testbygningen.

Bygningen ble bygget direkte på eksisterende betongdekke på testområdet til RISE Fire Research utendørs. Betongdekket hadde en slak helning (2 %) mot en kulvert, mens taket var i vater. Innvendig takhøyde i bygningen varierte som følge av dette mellom 3,01 m nærmest døra og 3,18 m lengst vekk fra døra. For korridoren var variasjonen 5 cm fra laveste takhøyde på 3,01 m til høyeste takhøyde på 3,06 m. For klasserommet laveste takhøyde nærmest dør på 3,06 m og høyeste takhøyde på 3,18 m lengst vekk fra døra.

Innvendig var reisverket på bygningen kledd med ett lag 12 mm tykke OSB plater og ett lag 12,5 mm tykke gipsplater. Gipsplatene var forskjøvet i forhold til OSB platene, slik at fugene ikke overlappet. Hjørner og skjøter av OSB ble tapet og skjøtene mellom gipsplatene ble tettet med en brannfugemasse av type Fire Bond Gap Seal+. Veggene var uisolerte, og reisverket var ikke kledd på utsiden. Yttertaket bestod av korrugerte stålplater. Under disse var taket isolert med Rockwool FLEXI A-PLATE TRD. Tykkelsen på isolasjonen var rundt 120 mm i korridoren og 95 mm i klasserommet og kontoret. Videre bestod taket av 12 mm tykke OSB plater. Disse var beskyttet mot varmen fra brannene med 30 mm tykke SeaRox plater på undersiden. Det ble benyttet branndører (EI30) både som ytterdører og mellom rommene i oppsettet.

I byggt teknisk forskrift er det krav om hvor tett yttervegger skal være. Det er imidlertid ingen spesifiserte krav til hvor tette innervegger skal være. Når temperaturen i et rom øker som følge av brann vil trykket også øke. Tettheten av rommet vil da direkte påvirke hvor mye trykket i rommet øker. Trykket i rommet vil igjen påvirke hvordan ventilasjonsanlegget opererer. For å bedre kunne forstå effekten av en brann på et ventilasjonsanlegg, var det viktig å ha en viss kontroll på hvor tett faktiske skolebygg er, og også ha kontroll på tettheten i testbygget.

Lufttettheten av bygget ble målt før den første branntesten ble gjennomført. Lufttetthetstestene ble gjennomført ved å montere et viftesystem i dørkarm og skape et over- eller undertrykk på 50 Pa i rommet. Under testene ble alle spjeldene stengt, i tillegg ble alle ventilene teipet. Tabell 2-1 viser en oversikt over alle de åtte testene som ble gjennomført. Nøyaktigheten av målingene ligger mellom +/- 0,6 % og +/- 9,7 %. Lufttetthetstestene ble gjennomført for alle tre rom. Siden viftesystemet ble montert i dørkarmen, inneholder den målte lekkasjen ikke lekkasjen via døren. For å estimere hvor stor lekkasjen er via en dør ble testene i korridoren repetert med teipede innerdører (altså teipede dører mot klasserom og kontor). Måleforskjellen mellom test 1 og 2, og mellom test 3 og 4 gir derfor et estimat for lekkasjen som oppstår på grunn av en dør for hhv. overtrykk og undertrykk. Samme dørmodell ble brukt for alle dører, derfor kan det antas at lekkasjen gjennom alle dører er sammenlignbar. Fullstendige testrapporter for de utførte lufttetthetsmålingene finnes i vedlegg A.

**Tabell 2-1: Oversikt over lufttetthetsmålingene for testbygningen.**

Nr.	Lokasjon	Trykk (50 Pa)	Lekkasjeareal, ELA <sub>50</sub> (cm <sup>2</sup> )	Lekkasjeareal per overflateareal, ELA <sub>E50</sub> (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Luftmengde, q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Kommentar
1	Korridor	Overtrykk	96	0,563	316	
2	Korridor	Overtrykk	84	0,491	276	Innerdører ble teipet
3	Korridor	Undertrykk	79	0,464	260	
4	Korridor	Undertrykk	75	0,440	247	Innerdører ble teipet
5	Kontor	Overtrykk	31	0,477	101	
6	Kontor	Undertrykk	24	0,378	80	
7	Klasserom	Overtrykk	56	0,271	185	
8	Klasserom	Undertrykk	52	0,251	172	

Det ble også gjennomførte lufttetthetsmålinger ved to skoler i Oslo for å skaffe referanseverdier for testbygget (se Tabell 2-2). Ett skolebygg var fra 2015, mens det andre skolebygget ble bygd i 1963. Testene i skolene ble gjennomført etter samme prosedyre som for testbygningen og for sammenlignbare rom. Tabell 2-2 viser testresultatene fra tetthetstestene fra skolene. For skolen fra 2015 ble det i snitt målt et lekkasjeareal på 1,3 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup> (per overflateareal) og for skolen fra 1963 ble det målt et lekkasjeareal på 3,7 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. I den eldre skolen var lekkasjen så stor at det ble observert følbare lekkasjer rundt branndørene i korridor. Ved rundt 30 Pa åpnet dørene av seg selv og det var ikke mulig å oppnå et trykk på 50 Pa uten å holde dørene fysisk stengt. Det antas at lignende store forskjeller på lekkasjearealene eksisterer også for andre skoler, avhengig av byggeåret og andre faktorer. Målt lekkasjeareal per overflateareal er betydelig større i begge skolene enn for testbygget, hvor det i gjennomsnitt ble målt 0,4 cm<sup>2</sup>/m<sup>2</sup>. Testbygget ble bygget forholdsmessig tett for å utfordre ventilasjonsstrategien som skal regulere trykkforskjellene og ivareta et akseptabelt dørmiljø, som innebærer at en person fortsatt kan åpne og lukke dørene.

**Tabell 2-2: Lufttetthetsmålingene i to utvalgte skoler i Oslo.**

Nr.	Romtype/ Gulvareal (m <sup>2</sup> )	Trykk (50 Pa)	Lekkasjeareal, ELA <sub>50</sub> (cm <sup>2</sup> )	Lekkasjeareal per overflateareal, ELA <sub>E50</sub> (cm <sup>2</sup> /m <sup>2</sup> )	Luftmengde, q <sub>50</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Byggeår
1	Klasserom/ 73	Overtrykk	289	0,980	947	2015
2	Klasserom/ 73	Undertrykk	279	1,013	917	2015
3	Korridor/ 40	Overtrykk	336	1,583	1 101	2015
4	Korridor/ 40	Undertrykk	455	2,144	1 491	2015
5	Arbeidsrom/ 36	Overtrykk	202	1,237	661	2015
6	Arbeidsrom/ 36	Undertrykk	186	1,138	609	2015
7	Arbeidsrom/ 25	Overtrykk	167	1,318	549	2015
8	Arbeidsrom/ 25	Undertrykk	150	1,183	493	2015
9	Korridor/ 105	Overtrykk	1 767	4,777	5 798	1963
10	Korridor/ 105	Undertrykk	1 437	3,883	4 713	1963
11	Klasserom/ 59	Overtrykk	641	2,927	2 103	1963
12	Klasserom/ 59	Undertrykk	495	2,259	1 623	1963
13	Arbeidsrom/ 28	Overtrykk	609	4,719	1 997	1963
14	Arbeidsrom/ 28	Undertrykk	488	3,783	1 601	1963

## 2.2 Ventilasjon

Ventilasjonsanlegget og automasjonen av anlegget ble utført i henhold til «Brannstrategi ventilasjon der hovedkravet om Steng inne ikke er mulig» (se vedlegg K). Ventilasjonsanlegget er tegnet inn i Figur 2-3. I tillegg til de tre nevnte rommene var ventilasjonsanlegget prosjektert til å dekke ytterligere 300 m<sup>2</sup>. Dette skulle tilsvare de resterende delene av skolen som normalt ville ha blitt driftet av samme aggregat. Ventilasjonskanalene for luft til og fra disse ekstra 300 m<sup>2</sup> gikk ut i friluft på utsiden av bygningen. Dette ble gjort for å oppnå så realistiske betingelser som mulig for ventilasjonssystemet. Ventilasjonssystemet var prosjektert ut ifra romstørrelse, antatt bruk og andre begrensninger, eksempelvis støynivå, som det må tas hensyn til i vanlige skolebygg. Ventilasjonskanalene ble monterte synlig hengende fra taket med standard ventilasjonsklammer, og de var ikke isolerte. For å gjøre kanalene og spjeldene lett tilgjengelig under og mellom testene ble det ikke montert noe himling. Figur 2-4 viser oppheng av tilluftskanaler i klasserommet. De prosjekterte luftmengdene for de ulike rommene er vist i Tabell 2-3.





Figur 2-4: Ventilasjonskanaler montert hengende fra taket.

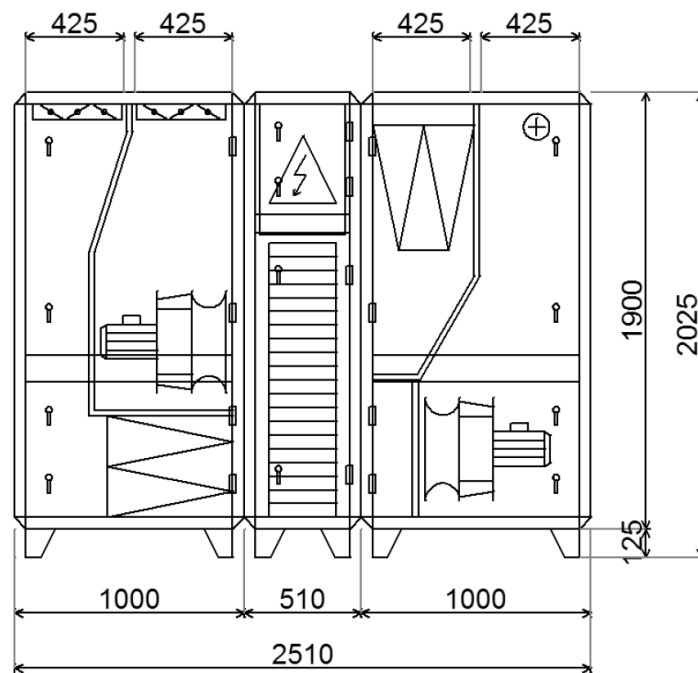
## 2.2.1 Komponenter

### Aggregat

Det ble installert et aggregat av type Exhausto Topp-4-R-NA2-3-1<sup>1</sup>, med roterende varmegjenvinner og varmebatteri. Varmebatteriet var ikke aktivt under test. Ved  $V_{\max}$  (maksimalluftmengde) leverer aggregatet 4 550 m<sup>3</sup>/h (250 Pa eksternt trykk) som tilsvarer ca. 70 % av maksimal nominell kapasitet. Skisse og bilde av aggregatet er vist i Figur 2-5.

---

<sup>1</sup> <https://www.exhausto.no/produkter/Rotary-s-units/TOPP/TOPP-4>



(a)



(b)

**Figur 2-5:** (a) skisse uten bypass og (b) bilde av installert ventilasjonsaggregatet. Lokasjon av bypass seksjonen er markert gult.



## Bypass

Som vist i Figur 2-3 var det installert to ulike bypassløsninger i testoppsettet. Den ene bypassløsningen ledet avtrekkslufta forbi hele ventilasjonsaggregatet, som vist i Figur 2-5, og rett til en dedikert brannvifte (C-FG:1224 i Figur 2-3). Brannvifta er beregnet på avtrekk av røykgass med temperatur opp til 400 °C, og har en kapasitet på ca. 30 000 m<sup>3</sup>/h (500 Pa eksternt trykk). Denne bypassløsningen ble installert som et sikkerhetstiltak for å om nødvendig beskytte aggregatet mot høye temperaturer. Ved aktivering av bypass-funksjonen startet brannvifta opp samtidig med at nødvendige spjeld lukket og åpnet seg. Bypassløsningen ble også brukt til å ventilere røyk ut av testbygget mellom hver test.

Den andre bypassløsningen var planlagt for å lede avtrekkslufta forbi filteret og varmegjenvinneren og så inn i ventilasjonsaggregatet igjen oppstrøms av filteret. For å få til dette ble en egen mellomseksjon montert på ventilasjonsaggregatet. Denne seksjonen er vist med gul stipling i Figur 2-5 (b). Denne bypassløsningen forbi filter og varmegjenvinner ble installert som et sikkerhetstiltak dersom filter og varmegjenvinner skulle tettes av brannrøyken. En feilmontering medførte at denne bypassløsningen ikke fungerte, og den ble derfor ikke brukt i noen av testene.

## Filter

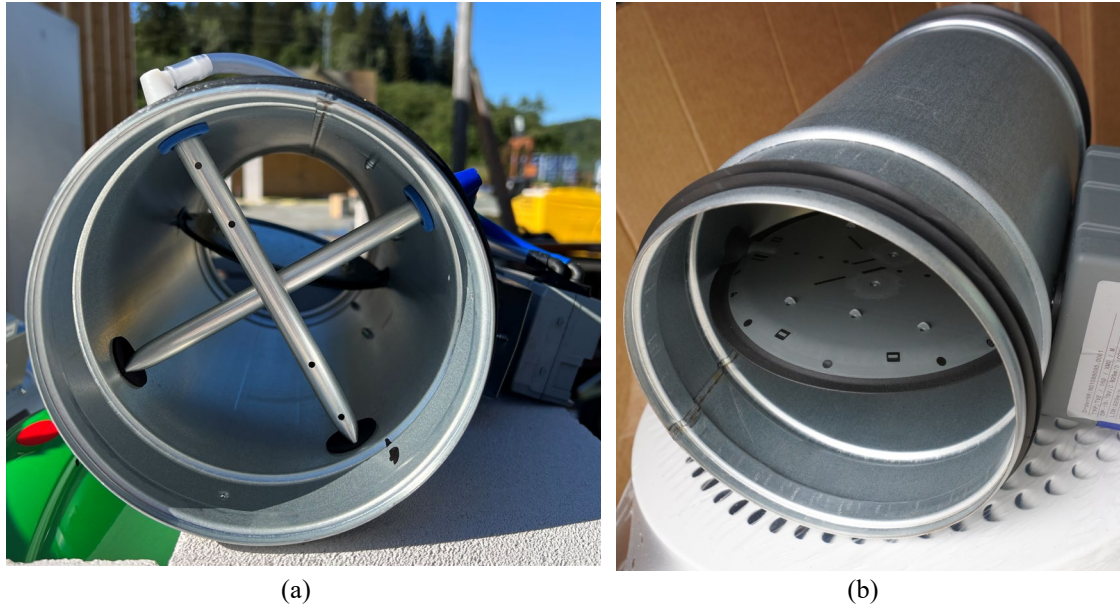
Det ble brukt posefilter av type IF83: 592x442x535/10, disse har filterklasse ePM1 60 %. Maksimal driftstemperatur på filtrene er 70 °C. Filtrene på avtrekksiden ble skiftet mellom hver test, mens de samme filtrene i luftinntaket ble brukt for hele testserien.

## Spjeld

To ulike typer DCV-spjeld ble brukt i testene, LEO og TVE, begge levert av TROX Auranor Norge. Bilder av spjeldene er vist i Figur 2-6. For spjeldene av type LEO måles luftmengdene med et målekryss. For spjeldene av type TVE måles luftmengdene via trykkmåling i selve spjeldbladet.

LEO-spjeld benyttet i avtrekks- og tilluftskanalene for klasserommet og korridoren i alle testene. For fire av testene ble det brukt TVE-spjeld på avtrekks- og tilluftskanalene for kontoret. I en av disse testene var brannen plassert i kontoret.

Datablad for spjeldene finnes i vedlegg C.



**Figur 2-6:** (a) LEO spjeld med målekryss for luftmengdemåling. (b) TVE spjeld med luftmengdemåling integrert i spjeldbladet.

## Branneteksjon

Multikriterie røykdetektorer av typen AutoGuard® V-430 ble installert i alle rom. Disse var koblet til en brannsentral slik at ventilasjonssystemet fikk nødvendig informasjon for å kunne justeres ved deteksjon av brann. Røykdetektorene ble skiftet ved behov når de ble ødelagte av varmebelastningen fra testene.

## 2.2.2 Automasjon

### Styring ved normaldrift

Styringen av luftmengder i ventilasjonsaggregatet (% pådrag) var basert på spjeldoptimalisering via VAV modulen i PLS-US enheten (standard løsning). Input fra trykkuavhengige VAV spjeld i avtrekk og tilluft på romnivå i kanalnettet, passive temperatursensorer og aktive CO<sub>2</sub>-sensorer som var tilkoblet US-undersentralen bestemte da luftmengdene etter kontinuerlige beregninger. Pådraget og behovet til hvert rom ga videre signal for å bestemme spjeldvinkel i de respektive VAV spjeldene. Det var kontinuerlige trykkmålinger via elektroniske analoge sensorer for filter og kanaltrykk.

Avlesninger og endringer av regulerte og styrte punkter ble gjort i sanntid via SD-anlegget med aktive systembilder og loggefunksjoner.

### Styring ved utløst brannfunksjon

Ved utløst brannfunksjon responderte VAV systemet med 100 % prosjekterte luftmengder til alle spjeld. «Optimizer»-funksjonen for styring av viftene responderte tilsvarende for å imøtekomme beregnede luftmengder fra VAV spjeldene.

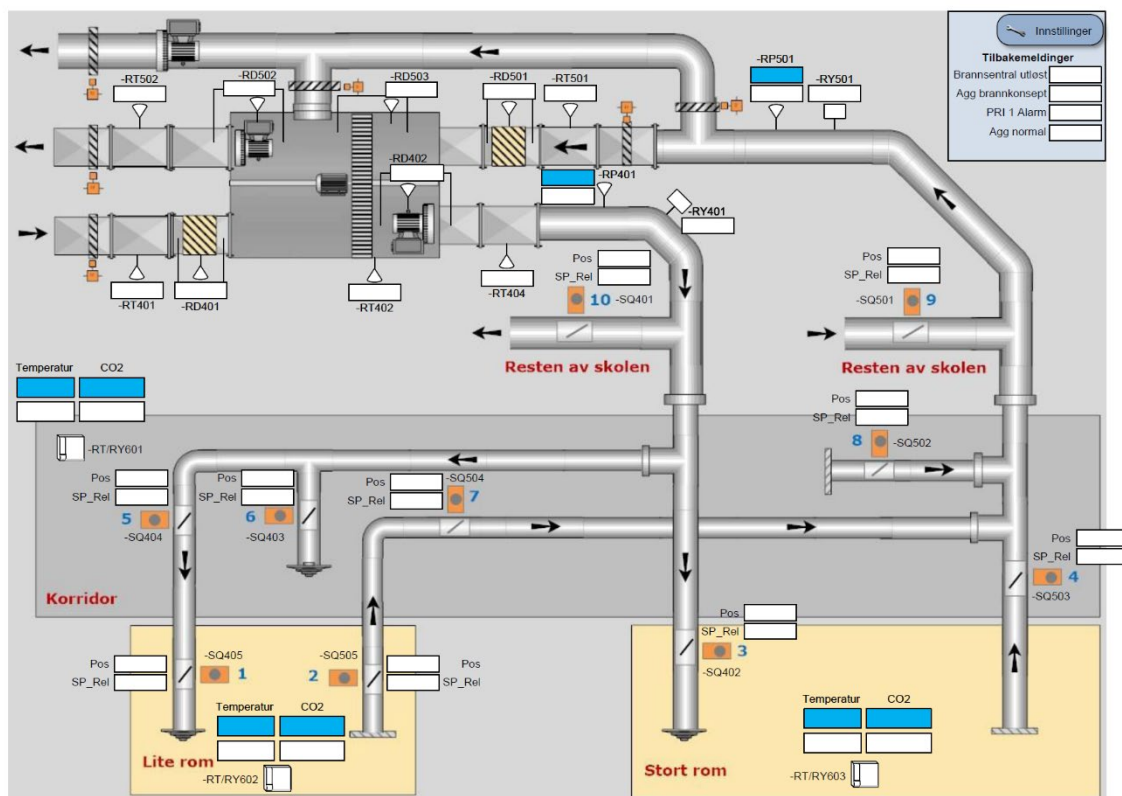
Bypass-løsningen med brannvifta kunne startes manuelt ved behov (uønsket utvikling i brannforløpet) og ved testslutt. Denne funksjonen aktiverte bypass-spjeld og den separate brannvifta samtidig og standard avtrekksvifte stoppet. I denne modusen vil ikke VAV-

systemene fungere som forutsatt fordi «optimizer»-modulen mistet måling/styring av avtrekkets luftmengde. Dette ble installert som en nødløsning og var ment for beskyttelse av anlegget for videre testing. Løsningen ble også benyttet til å ventilere ut røykgasser fra bygningen mellom testene.

Funksjonsbeskrivelse for ventilasjonssystemet finnes i vedlegg D.

## 2.3 Instrumentering og prøvetaking

Ventilasjonssystemet ble installert med sensorer nødvendige for å drifte anlegget. Et skjermbilde av SD-anlegget som viser hvilke data som ble målt og logget av ventilasjonsanlegget når det var i drift er vist i Figur 2-7. For alle spjeld ble spjeldets posisjon og beregnet luftstrøm gjennom det logget. I alle tre rommene var det montert romsensorer som målte temperatur og CO<sub>2</sub>. Temperaturen ble målt i luftstrømmene til og fra lite rom (kontor) og stort rom (klasserom). Hovedforskjellen mellom SD-anlegget i testbygget og et typisk SD-anlegg i en skole var at i testbygget ble data logget hvert 15. sekund mens i vanlige bygg er loggeintervallet gjerne mellom 1 og 10 minutter, og for noen datatyper også opp til 1 time. I tillegg ble lufttemperaturen målt flere steder i aggregatet.



Figur 2-7: Skjermbilde av SD anlegget som viser hvilke parametere som ble målt når ventilasjonsanlegget var i drift. Bypassløsningen som går forbi filteret og varmegjenvinneren og inn igjen i aggregatet hadde en feilmontering som gjorde at den ikke kunne brukes.

SD-anlegget gjenspeiler informasjonen som er tilgjengelig i et typisk ventilasjonssystem. I tillegg ble det installert flere dedikerte sensorer som ble logget med et eget loggesystem. Hensikten med å etablere et dedikert loggesystem, i tillegg til SD-systemet, var:

- Å etablere en robust logging som tåler brannbelastningen, og som kan brukes som referanse for målingene i SD-systemet.
- Å benytte sensorer som ikke er del av et vanlig SD-system, men som er nødvendige for å evaluere for eksempel hvordan sot påvirker filteret ved å måle massekonsentrasjon av partikler oppstrøms av filteret.
- At datasettet for hver test skulle inneholde tilstrekkelig informasjon for å kunne simulere testene i et CFD-program (f.eks. veggtemperatur).

Med en loggefrequens på omtrent 0,5 Hz var det også bedre tidsoppløsning på dataene fra dette systemet enn på dataene fra SD-anlegget. Skisser som viser plasseringen av spjeldene og målesensorer er vist i vedlegg E - J.

Temperatur ble målt i ulike høyder en eller flere steder i alle tre rommene, på innsiden og utsiden av alle spjeld, ved tillufts- og avtrekksventil i klasserom og kontor. Det ble også målt temperatur på en vegg i klasserommet og i kontoret. Alle temperaturer ble målt med type K termoelement med 1.5 mm tykkelse. Lufttrykk ble målt i alle rom med en differensialtrykkmåler av type Setra267 (0-500 Pa).

For testene der brannen var lokalisert i klasserommet eller kontoret ble luftmengdene i brannrommets tillufts- og avtrekkskanaler beregnet fra egne målinger av trykk og temperatur. Trykkmålingene ble gjort med bidireksjonale prober [10] plassert i senter av ventilasjonskanalene og differensialtrykkmalere av type Setra267 (0-500 Pa). Beregningene tar hensyn til at tettheten av lufta endres med temperaturen og strømningsprofilen i kanalen [11]. Målingene fra de bidireksjonale probene ble kalibrert mot spjeldenes luftmengdemålinger i perioden rundt branneteksjon. Det ble også målt konsentrasjon av gassene CO, CO<sub>2</sub> og O<sub>2</sub> samme steder som det ble målt luftmengder. Konsentrasjon av CO og O<sub>2</sub> ble målt med en gassmåler av type Dräger Polytron, mens konsentrasjon av CO<sub>2</sub> ble målt med en gassmåler av type Dräger PIR7200.

Det ble gjort videooptak fra to ulike vinkler både i klasserommet og korridoren og fra en vinkel i kontoret for hvert av testene.

I noen av testene ble det brukt propangass som brensel. For testene i kontoret ble brukt en propanflaske med 60 kg propan og mengden gass ble justert undervegs i testene med et flowmeter. Gassflaska var plassert på en vekt slik at gassforbruket ble logget undervegs i testen. For testene i klasserommet ble det brukt propan fra en gasstank. I disse testene ble mengden kontrollert og logget ved bruk av en koriolis.

Varmeavgivelsen fra gassen i klasserommet er beregnet basert på målt massestrømmen og i kontoret basert på målt vekt tap og en nedre brennverdi av 46,4 MJ/kg. Varmeavgivelsen fra madrassbrannen ble estimert basert på massetap og en nedre brennverdi av 26,6 MJ/kg. Da madrassene var våte fra slukkingen etter testene ble mengde madrass som ble brent beregnet fra visuell observasjon av hvor mye madrass som var igjen etter testen. Varigheten av madrassbrannen ble estimert basert på en videoanalyse. Det ble antatt en konstant varmeavgivelse, som er en forenkling. Denne metoden kan likevel forsvares fordi mesteparten av brannens varmeavgivelse er fra gassbrannen, med unntak av test 8, hvor det ble brent kun en madrass. Siden videoanalysen er basert på en synlig flammebrann er sannsynligvis brannens

varighet underestimert og den maksimale varmeavgivelsen (PHRR) overestimert og må derfor kun tolkes kvalitativt.

Omfanget av inneklimatemålinger ble redusert til måling av partikler og sotprøver. En sensor av typen DustTrak DRX Aerosol Monitor Model 8533 ble benyttet for å måle massekonsentrasjonen ( $\text{mg}/\text{m}^3$ ) av partikler med størrelse mellom (0,1 til 15  $\mu\text{m}$ ) i brannrøyken. Massekonsentrasjonen oppgis for ulike partikkelstørrelser: PM1, PM2.5, PM4, PM10 og PMTotal, som tilsvarer partikler med størrelse henholdsvis lik eller mindre enn 1  $\mu\text{m}$ , 2,5  $\mu\text{m}$ , 4  $\mu\text{m}$ , 10  $\mu\text{m}$  og 15  $\mu\text{m}$ . Denne målingen ble gjort ved å trekke luft ut fra avtrekkslufta rett før den gikk inn i filteret. For at konsentrasjonen ikke skulle bli for høy for instrumentet ble friskluft blandet inn med en luftfortynner slik at lufta som gikk inn i måleinstrumentet hadde 1/10 av reell støvkonsentrasjon. Loggeintervall for målingene var hvert sekund.

Støvdekkeanalyse ble benyttet for å få en indikasjon på deponering av sot i ventilasjonskanalene. Prøvetaking av sot i ventilasjonskanalene ble gjort ved hjelp av Mycotape. Det ble tatt prøver på tre ulike steder; før filter, etter filter i avtrekkskanalen og etter varmegjenvinner. Tre prøver ble tatt på hvert sted for hver branntest, i tillegg til en nullprøve.

Skanningelektronmikroskopi (SEM-analyse) av type Hitachi flexSEM 1000 med Oxford EDS system ble brukt for å analysere morfologien (formen) til sotpartiklene. SEM-bildene ble produsert ut ifra intensiteten av tilbakespredte elektroner og stråleposisjonen, og kan dermed vise fordelingen av ulike elementer i prøven. Elementer som er tyngre (for eksempel tungmetaller) og reflekterer flere elektroner vil gi høyere kontrast (lysere i bildet), mens karbon er lettere og vil dermed gi mindre kontrast (mørkere). Videre ble visse prøveområder også analysert ved hjelp av Energy Dispersion Spectroscopy (EDS) for å identifisere spesifikke elementer. EDS gir data om den kjemiske sammensetningen av prøven og gir tilleggsdata om egenskapene som er observert i SEM-bildene. SEM-EDS ble kun utført for testscenariene 2 og 14, før filter og etter varmegjenvinner.

### 3 Branntester

Det ble utført i alt 14 branntester i ulike rom i testbygningen med ulike typer brensel. Seks av testene ble utført med elsparkesykkel som brensel. De resterende åtte testene ble utført med enten propan, skumgummimadrass eller en kombinasjon av disse som brensel.

Propangassbrenneren ble brukt for å ha mest mulig kontroll over brannstørrelsen. De aller fleste branner på skoler involverer brensel som generer mer sot enn en ren gassflamme, derfor ble det i tillegg til propan også brukt skumgummimadrass for å tilføre mer sot i røyken. En oversikt over de ulike testene finnes i Tabell 3-1. Oversikten viser også i hvilket rom brannen var plassert, hva slags type spjeld som ble brukt i tillufts- og avtrekkskanalene til brannrommet og hvor disse spjeldene var plassert. I tillegg er det oppgitt hvilken luftmengde anlegget hadde ved brannstart. Ved deteksjon av brann i bygningen giret ventilasjonsanlegget automatisk luftmengden opp til  $V_{max}$  (maksimal luftmengde) i alle testene.

**Tabell 3-1: Oversikt over utførte test. Type spjeld og posisjon spjeld beskriver type og posisjonen til spjeldene som var montert på tillufts- og avtrekkskanalene for brannrommet.**

#	Type brensel	Brannrom	Type spjeld brannrom	Posisjon spjeld brannrom	Ventilasjon ved start
Test 1	Elsparkesykkel	Klasserom	LEO	Utenfor brannrom	$V_{max}$
Test 2	Elsparkesykkel	Klasserom	LEO	Utenfor brannrom	$V_{max}$
Test 3	Elsparkesykkel	Klasserom	LEO	Utenfor brannrom	$V_{max}$
Test 4	Elsparkesykkel	Korridor	LEO	I brannrom	$V_{min}$
Test 5	Elsparkesykkel	Korridor	LEO	I brannrom	$V_{min}$
Test 6	Elsparkesykkel	Korridor	LEO	I brannrom	$V_{min}$
Test 7	Gass	Kontor	LEO	Utenfor brannrom	$V_{max}$
Test 8	Madrass	Kontor	LEO	Utenfor brannrom	$V_{max}$
Test 9	Gass + madrass	Kontor	LEO	Utenfor brannrom	$V_{min}$
Test 10	Gass + madrass	Kontor	LEO	I brannrom	$V_{min}$
Test 11	Gass + madrass	Kontor	TVE	I brannrom	$V_{min}$
Test 12	Gass + madrass	Klasserom	LEO	Utenfor brannrom	$V_{min}$

#	Type brensel	Brannrom	Type spjeld brannrom	Posisjon spjeld brannrom	Ventilasjon ved start
Test 13	Gass + madrass	Klasserom	LEO	Utenfor brannrom	Nattmodus (av)
Test 14	Gass + madrass	Klasserom	LEO	Utenfor brannrom	$V_{\min}$

En beskrivelse av utførelsen av de ulike testene gis i de neste avsnittene. Meteorologiske data for de ulike testene er vist i Tabell 3-2. Dataene er hentet fra Meteorologisk institutt sin målestasjon E6 Heimdal ved hjelp av Frost API [5,12]. Målestasjonen er plassert 3 km fra testbygget.

**Tabell 3-2: Meteorologiske data for de utførte testene.**

#	Dato	Tidspunkt for teststart	Temperatur (°C)	Relativ luftfuktighet (%)	Vindstyrke (m/s)
Test 1	16.08.2022	13:48	13,2	100	12,7
Test 2	17.08.2022	10:14	11,2	65	7,1
Test 3	17.08.2022	12:47	11,3	66	7,0
Test 4	17.08.2022	15:22	11,7	57	4,0
Test 5	18.08.2022	09:34	12,0	66	4,0
Test 6	18.08.2022	13:31	13,7	78	6,2
Test 7	19.08.2022	14:37	14,5	88	6,8
Test 8	23.08.2022	09:45	16,3	90	10
Test 9	23.08.2022	13:55	15,7	92	7,8
Test 10	24.08.2022	12:15	15,5	100	8,4
Test 11	25.08.2022	11:15	14,4	100	4,8
Test 12	26.08.2022	14:30	13,7	83	3,8
Test 13	30.08.2022	11:00	14,9	76	3,3
Test 14	31.08.2022	10:34	14,0	74	2,4

### 3.1 Tester med elsparkesykkel - Test 1-6

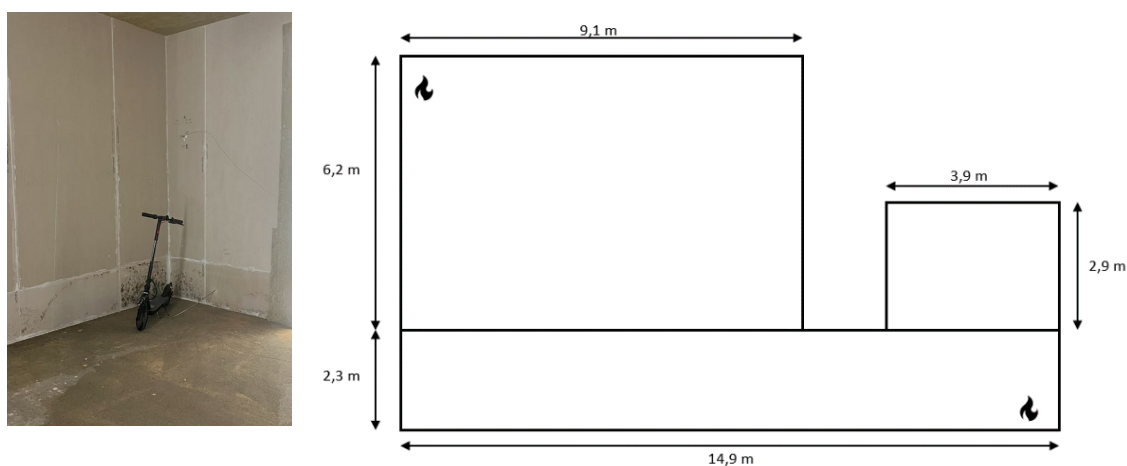
Disse testene ble utført med brann i en elektrisk sparkesykkel. Elsparkesykkelen var plassert i klasserommet for Test 1-3 og i korridoren for Test 4-6. Disse testene ble utført som en del av samarbeidet med prosjektet «Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel», der målet var å evaluere konsekvensene av en såkalt *thermal runaway* i en elsparkesykkel i et lukket rom med tanke på spredning av gass og røyk fra batteriet og potensiale for å hindre rømning via flukt- og rømningsveier. En thermal runaway er en eksoterm prosess hvor det skjer en ukontrollerbar nedbryting av anoden, katoden og elektrolytten i en battericelle, og fører til en kraftig temperatur- og gassutvikling.

Det ble brukt 6 nye like elektriske sparkesykler til disse testene. Syklene hadde et litium-ion batteri med en batterikapazität på 370 Wh. Den fysiske størrelsen på batteriet i syklene var 31 cm x 9,2 cm x 4,5 cm. Batteriet bestod av såkalte 18650 celler, som er sylindriske celler med en diameter på 18 mm og en høyde på 65 mm. Den nominelle spenningen i batteriet var oppgitt å være 37 V. Batteriene var fulladet ved teststart og montert i elsparkesykkelen. Thermal runaway ble igangsatt ved at batteriet ble eksponert for en liten flamme beregnet til å ha en effekt på mellom 450 og 700 W. Syklene var plassert i et hjørne i brannrommet som vist i Figur 3-1 (a), og plasseringen i klasserom og korridor er vist med en flamme i Figur 3-1 (b).

Mer informasjon om disse testene og funnene fra det tilhørende prosjektet «Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel» finnes i en egen rapport [13].

For Test 1-3 med brann i klasserommet leverte ventilasjonsanlegget luftmengder tilsvarende  $V_{\max}$  (4 550 m<sup>3</sup>/h) ved igangsetting av brannen. Av dette var luftmengden som gikk inn og ut av klasserommet 900 m<sup>3</sup>/h. For test 4-6 med brann i korridoren leverte ventilasjonsanlegget luftmengder tilsvarende  $V_{\min}$  (1 700 m<sup>3</sup>/h) ved igangsetting av brannen. Ventilasjonssystemet økte da luftmengdene til  $V_{\max}$  (4 550 m<sup>3</sup>/h) ved deteksjon av brann i bygningen. For selve korridoren var luftmengdene like ved  $V_{\max}$  og  $V_{\min}$  (200 m<sup>3</sup>/h), mens luftmengdene til resten av skolen økte ved deteksjon av brann, se Tabell 2-3.

Avtrekkfilter i aggregatet ble skiftet mellom hver av disse testene. Det ble ikke skiftet noen spjeld mellom disse testene.



Figur 3-1: (a) Syklene var plassert i et hjørne i brannrommet. (b) Syklenes plassering ved brann i klasserommet (test 1-3) og i korridoren (test 4-6) er vist med en flamme.



## 3.2 Tester i kontoret - Test 7-11

Disse testene ble utført med brannen plassert i kontoret. Som brensel ble det brukt propan, en skumgummimadrass eller både propan og skumgummimadrass. Propan ble brent i en 10 cm x 10 cm x 9 cm (LxBxH) stor gassbrenner helt fylt med lecakuler for jevn fordeling av gass over brennerens overflateareal. Madrassen hadde en størrelse på 200 cm x 90 cm x 10 cm og veide 5,0 kg. Madrassen som ble brukt er av samme type som er brukt til standardisert branntesting av vanntåke etter blant andre teststandarden IMO 265 [14]. For å antenne madrassen, ble det benyttet en tennkilde bestående av 6 stk biter av steinull (Rockfon) med størrelse 6 cm x 6 cm x 1,5 cm (B x L x H). Bitene ble satt sammen til et prisme og lagt i en plastpose sammen med 120 ml heptan. Heptan trakk da inn i bitene av Rockfon. Tennkilden ble deretter plassert på gulvet inntil den ene siden av madrassen.

Grunnen til at to ulike typer brensel ble brukt i kombinasjon var for å kunne justere mengde røyk/sot og varme som ble avgitt fra brannen til en viss grad uavhengig av hverandre. For å øke mengden røyk og redusere varmeenergien som ble avgitt fra madrassbrannen ble oksygentilførselen til denne brannen redusert ved å bygge madrassen inn i ubrennbare lettbetongblokker (Siporex) som vist i Figur 3-2 for test 8. Madrassen ligger på høykant mellom Siporex-blokkene, og øvre del av madrassen vises delvis inni den røde ringen i Figur 3-2 (a). På langsiden var blokkene plassert i en avstand på 1 cm fra madrassoverflata og på kortsiden stod blokkene helt inntil madrassen. Over madrassen var det 15 cm opp til undersida av blokkene som ble lagt over, som vist i Figur 3-2 (b). På langsiden var det i nedre kant en avstand på 16 cm mellom gulvet og blokkene.



**Figur 3-2: Madrassoppsett for test 8. I (a) er en blokk løftet bort for å vise madrassens posisjon, i (b) er lokket av blokker også på plass.**

Dette madrassoppsettet ble brukt for alle testene i kontoret. Den første testen hvor det i tillegg til madrass også ble brukt propan (test 9), viste at forbrenning av madrassen hadde stor påvirkning på gassflammen ved at den fikk dårligere tilgang på oksygen. Derfor ble det satt opp en 60 cm høy vegg av Siporex-blokker mellom gassbrenneren og madrassoppsettet for test 10 og 11, for å redusere effekten de to brannkildene hadde på hverandre.

For test 7-9 var det brukt spjeld av type LEO (se Figur 2-6) på både tillufts- og avtrekkskanalene til kontoret. Begge disse spjeldene var plassert i korridoren. Avtrekksspjeldene ble skiftet etter hver av disse testene. I test 9 ble gasstilførselen stengt etter 14 minutter da gassflammen fikk for lite oksygen og var i ferd med å slokne. I tillegg var det problemer med loggingen av data for denne testen, og den er derfor ikke inkludert i de videre analysene.

For test 10 og 11 ble plasseringen av spjeldene på både tillufts- og avtrekkskanalene til kontoret endret slik at de nå var plassert inne i kontoret (brannrommet). Det ble i test 10 benyttet spjeld av type LEO, mens det i test 11 ble skiftet til spjeld av type TVE. Både tillufts- og avtrekksspjeldene til brannrommet ble skiftet etter hver av disse to testene.

Testene varte i 30 minutter fra brannstart.

### 3.3 Tester i klasserommet - Test 12-14

Disse testene ble utført med brannen plassert i klasserommet. Som brensel for alle tre testene ble det brukt både skumgummimadrass og propan. I Test 12 og 13 ble det brukt én skumgummimadrass, i test 14 ble det brukt to skumgummimadrasser. Test 12 varte i 30 minutter, test 13 varte i 40 minutter og test 14 varte i 60 minutter. I test 14 ble madrassen tent etter 10 minutter og før dette var brenselet kun gass. Madrassene ble antent som beskrevet for Test 8-11, men for test 14 ble det brukt én tennkilde for hver av de to madrassene. Propan ble brent i en 70 cm x 30 cm x 29 cm (LxBxH) stor brenner fylt omtrent 2/3 full med lecakuler for jevn fordeling av gass over brennerens overflate.

Madrassoppsettet som ble brukt for testene i klasserommet er vist i Figur 3-3. I disse testene ble det ikke lukket igjen med blokker over madrassen. I tillegg ble to blokker på hver av langsiden satt på høykant helt inntil madrassen for å støtte den bedre opp. De resterende blokkene ble plassert i en avstand på 1 cm fra madrassen.

Både tillufts- og avtrekksspjeld for klasserommet var plassert i korridoren. Avtrekksspjeldet ble skiftet mellom hver av disse testene.



(a)



(b)

**Figur 3-3:** Madrassoppsett i klasserommet slik det var brukt i Test 12 og 13. For Test 14 ble oppsettet forlenget ved å sette to madrasser ved siden av hverandre. For disse testene ble det ikke lagt et lokk av blokker over madrassen.

## 4 Resultater

### 4.1 Brannforløp

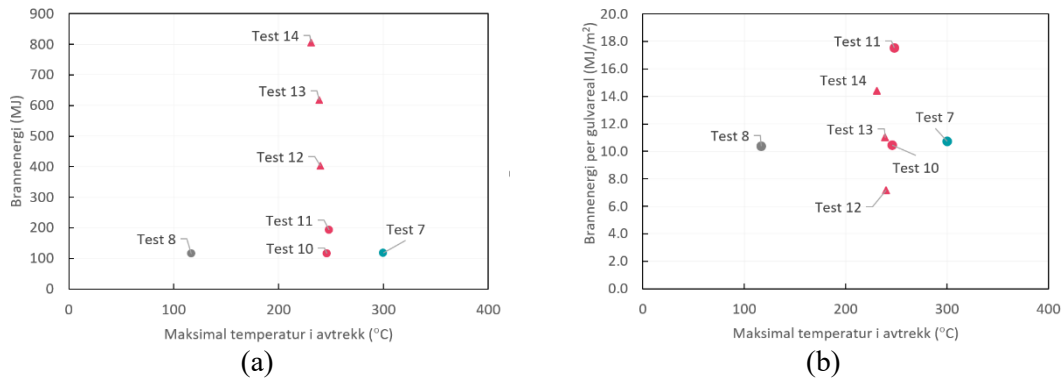
I testen med elsparkesykkel som brensel brant hele batteriet opp i alle testene. Den elektriske energimengden i batteriene var 370 Wh. Det er ikke gjort noen beregninger på hvordan varmeavgivelsesraten utviklet seg gjennom disse testene. For testene med propan og/eller madrass er informasjon om mengde brensel og brannenergi gitt i Tabell 4-1. Tabellen viser den beregnede maksimale varmeavgivelsen (*peak heat release rate*, PHRR), brannenergien (*total heat release*, THR) og brannenergi per grunnareal (THRUA) for hver av testene.

**Tabell 4-1: Informasjon om brensel og brannenergi i de ulike testene. For test 9 er data ikke tilgjengelig.**

Test	Areal brannrom (m <sup>2</sup> )	PHRR fra gass (kW)	THR fra gass (MJ)	Masse madrass brent opp (kg)	THR fra madrass (MJ)	THR (MJ)	THRUA (MJ/m <sup>2</sup> )	T <sub>maks</sub> (°C)
7	11	171	118	0	0	118	10,7	300
8	11	0	0	4,3	114,0	114	10,4	117
9	11	-	-	0,7	-	-	-	-
10	11	77	96	0,7	19,0	115	10,5	246
11	11	80	81	4,2	112,0	193	17,5	248
12	56	272	365	1,4	37,0	402	7,2	240
13	56	293	488	4,8	129,0	617	11,0	239
14	56	229	539	10,0	267,0	806	14,4	231

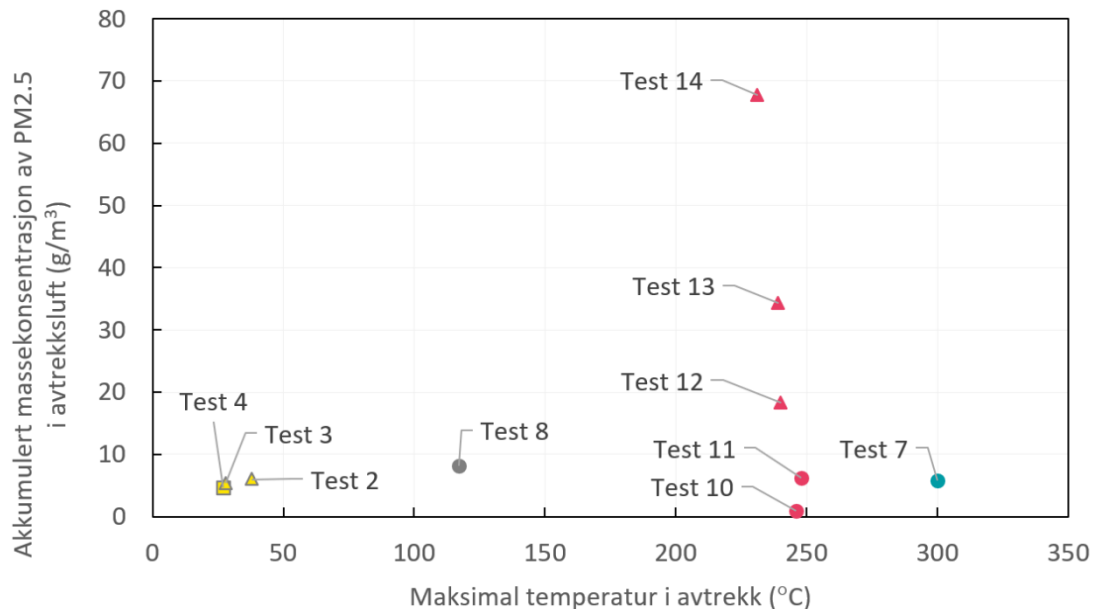
Figur 4-1 (a) viser brannenergien og den maksimale temperaturen i avtrekket fra brannrommet for utvalgte tester i klasserommet og kontoret. Test 7, test 8 og test 10 har en sammenlignbar brannenergi, men oppnår forskjellige temperaturer i avtrekket, på grunn av forskjellig brensel. Test 8 (kun madrass) ga lavest temperatur, mens test 7 (kun gass) ga den høyeste temperatur. Testene som brukte både madrass og gass som brensel resulterte i lignende maksimumstemperaturer på rundt 250 °C. Maksimumstemperaturen for testene i klasserommet ligger litt lavere enn for testene i kontoret, som er et betydelig mindre rom. Tar man hensyn til brannenergien per grunnarealet (se Figur 4-1 (b)), ser man at alle branner ligger under 20 MJ/m<sup>2</sup>. Dette er lavt sammenlignet med brannenergien som kan forventes i lignende rom. Eurokode 1 [15] oppgir 285 MJ/m<sup>2</sup> som brannenergi per gulvareal for et klasserom og 420 MJ/m<sup>2</sup> for et kontor. På grunn av digitalisering kan det forventes at et kontor i dag

inneholder mindre papir enn kontorene som er grunnlaget for denne verdien. Likevel vil den tilgjengelige brannenergi i et klasserom eller kontor være større enn brannene som ble undersøkt i testene.



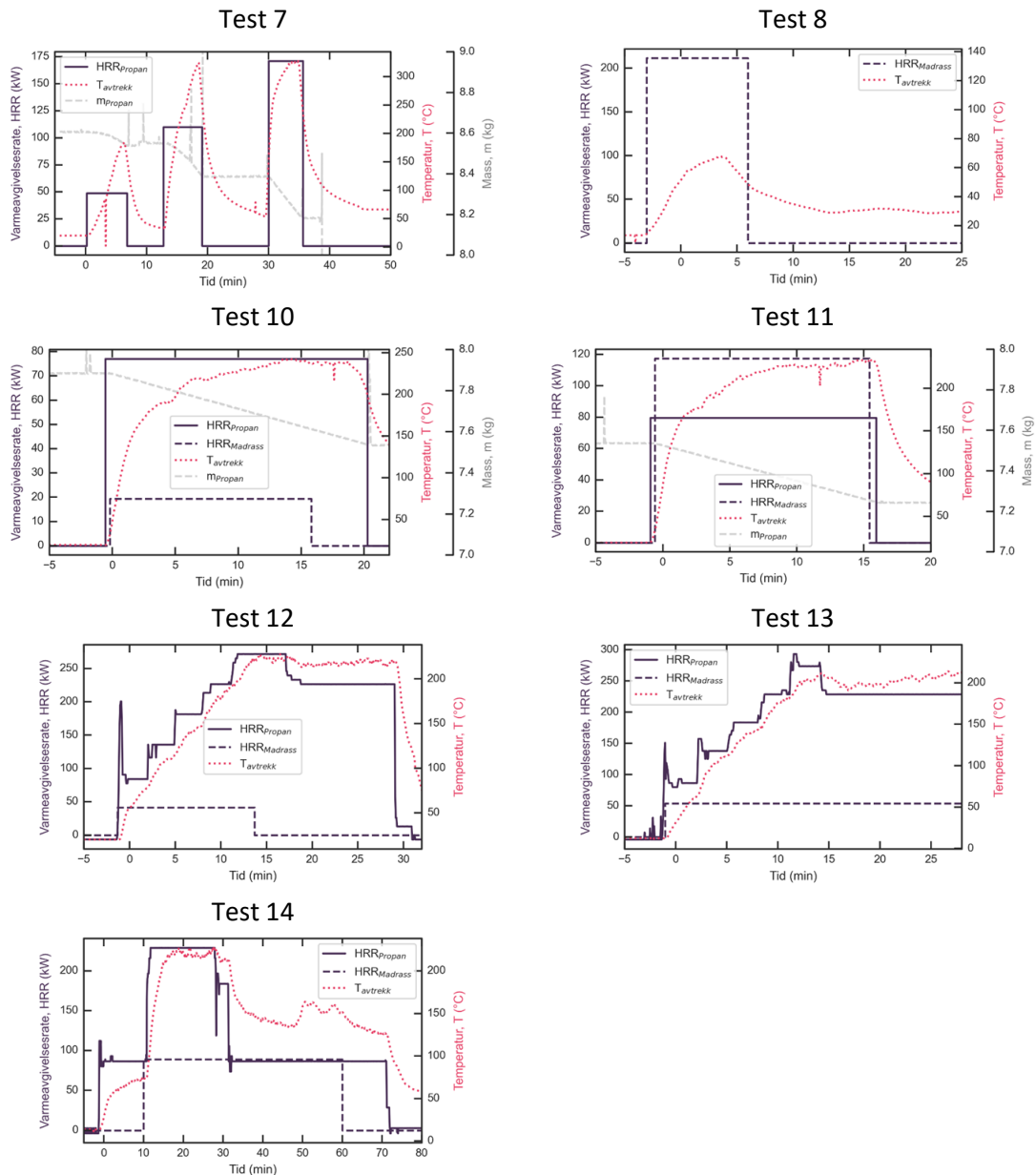
**Figur 4-1: Brannenergi (a) og brannenergi per gulvareal (b) sammenlignet med maksimal temperatur i brannrommets avtrekksspjeld for tester i klasserommet (trekant), kontoret (sirkel) og korridoren (firkant), med kun gass (turkis), kun madrass (grå) og både gass og madrass (rød) som brensel.**

I tillegg til temperatureksposering er også eksponering for sot et viktig aspekt i denne studien. Figur 4-2 viser den akkumulerte massekonsentrasjonen av PM<sub>2,5</sub> partikler i avtrekkskanalen, oppstrøms av avtrekksfilteret sammenlignet med maksimal temperatur i avtrekksspjeld fra brannrommet for tester i klasserommet, kontoret og korridoren. En elsparkesykkelbrann kan være en alvorlig hendelse med tanke på personsikkerhet (se rapporten «Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel» [13]), men for ventilasjonsanlegget ga testene med elsparkesykkel lavest belastning, både med tanke på sot og temperatur. Flere detaljer om partikkelmålingene og sotavsettelsen i ventilasjonsanlegget finnes i kapittel 4.4.



**Figur 4-2: Akkumulert massekonsentrasjon av PM<sub>2,5</sub> partikler i avtrekket målt oppstrøms av aggregatet og maksimal temperatur i brannrommets avtrekksspjeld, for tester i klasserommet (trekant), kontoret (sirkel) og korridoren (firkant), med kun gass (turkis), kun madrass (grå), både gass og madrass (rød) og en elsparkesykkel (gul) som brensel.**

Branntestene ble gjennomført med ulike profiler for gasstilførselen. I tillegg varierte madrassbrannen noe fra test til test. Figur 4-3 viser hvordan varmeavgivelsen og temperaturen i avtrekket utviklet seg gjennom testforløpet for test 7-14 (utenom test 9). For testene i kontoret viser figuren i tillegg den resterende masse i gassflaska som ble brukt som gassforsyning.



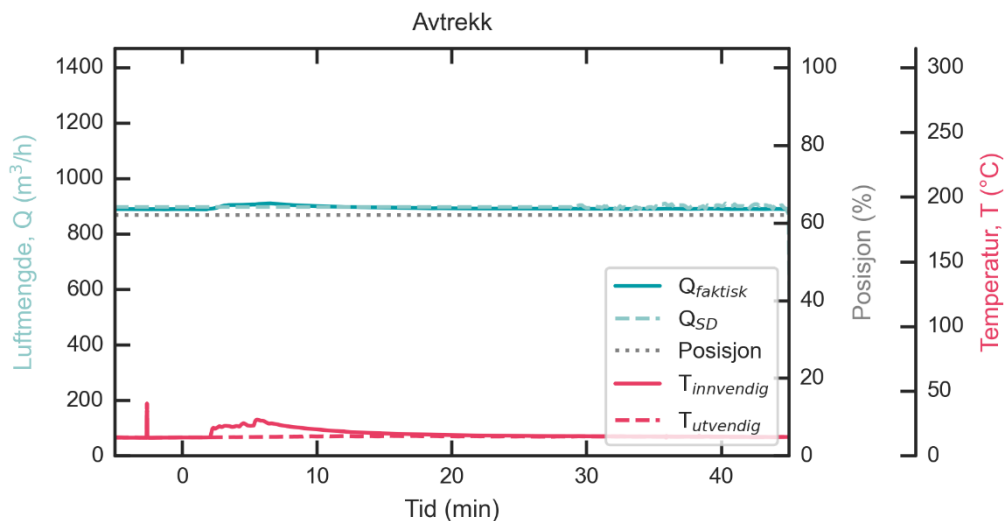
**Figur 4-3:** Temperatur, T, målt i avtrekk og varmeavgivelsesrate, HRR, for de ulike testene. Varmeavgivelsesrate fra gass er vist med heltrukken linje mens varmeavgivelse fra madrass er vist med stiptet linje. For test 7, 10 og 11 vises også massen av gass i gassbeholderen i grått.

## 4.2 Brannytelse for spjeld

Det ble i flere av testene registrert en feilfunksjon på ett eller flere spjeld i løpet av de første 30 minuttene etter brannstart. I de videre avsnittene vil det bli presentert hvilke feilfunksjoner som oppsto i hvilke tester.

### Test 1-6

Disse testene ble utført med elsparkesykkel som brensel, test 1-3 i klasserommet og test 4-6 i korridoren. Figur 4-4 viser hvordan avtrekksspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom test 2 i klasserommet. I denne testen leverte allerede ventilasjonssystemet luftmengder tilsvarende  $V_{max}$ , og som figuren viser opprettholdes en stabil luftmengdene gjennom avtrekksspjeldet på omtrent  $900 \text{ m}^3/\text{h}$  gjennom hele testen. Brannene i elsparkesyklene avga lite varme, og den høyeste temperaturen som ble registrert på lufta gjennom avtrekksspjeldet var omtrent  $30 \text{ }^\circ\text{C}$ . Det ble ikke registrert noen feilfunksjon på spjeldene etter noen av disse 6 testene, og spjeldene ble derfor ikke byttet ut mellom testene.

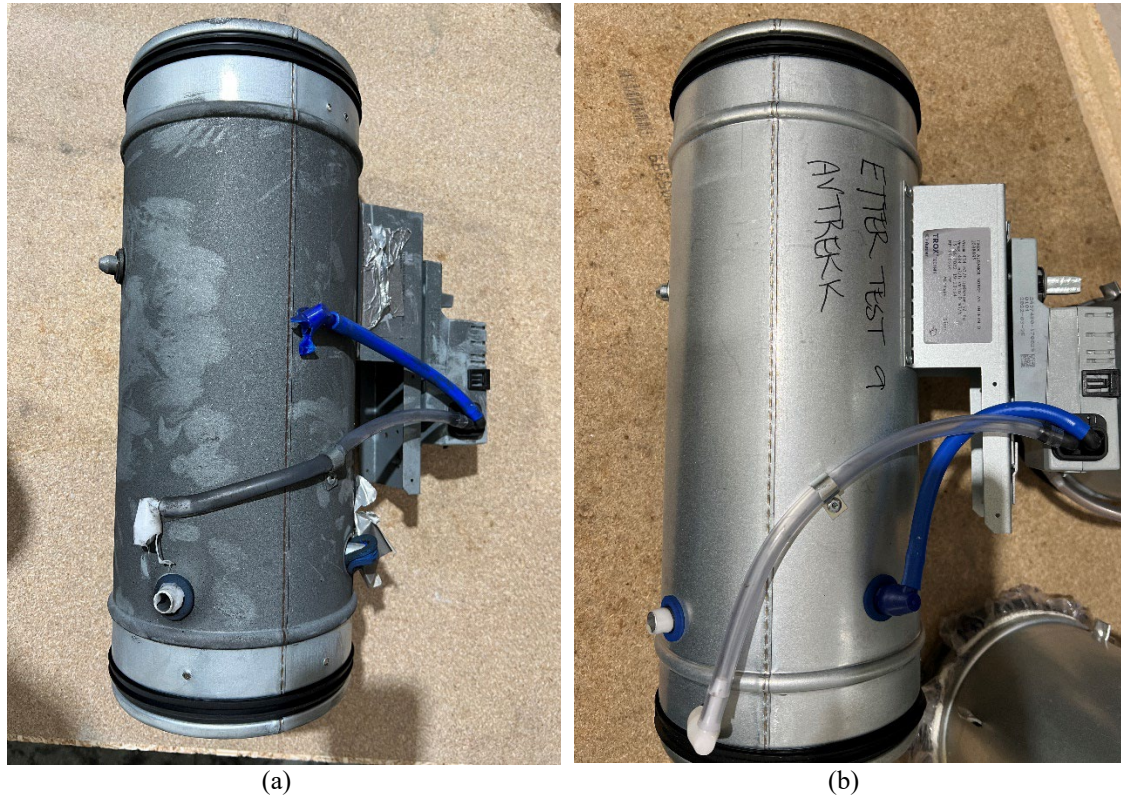


**Figur 4-4:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor avtrekksspjeldet for Test 2 med spjeldet plassert utenfor brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.

### Test 7-9

Disse tre testene ble alle utført med brann i kontoret og LEO spjeld montert utenfor brannrommet. Type brensel ble variert mellom testene. For test 7 og test 9 ble det observert at plastslangene som går fra måleinstrumentet på utsiden av spjeldet til målekrysset inne i spjeldet hadde smeltet som vist i Figur 4-5 (a) for Test 7 og Figur 4-5 (b) for Test 9.



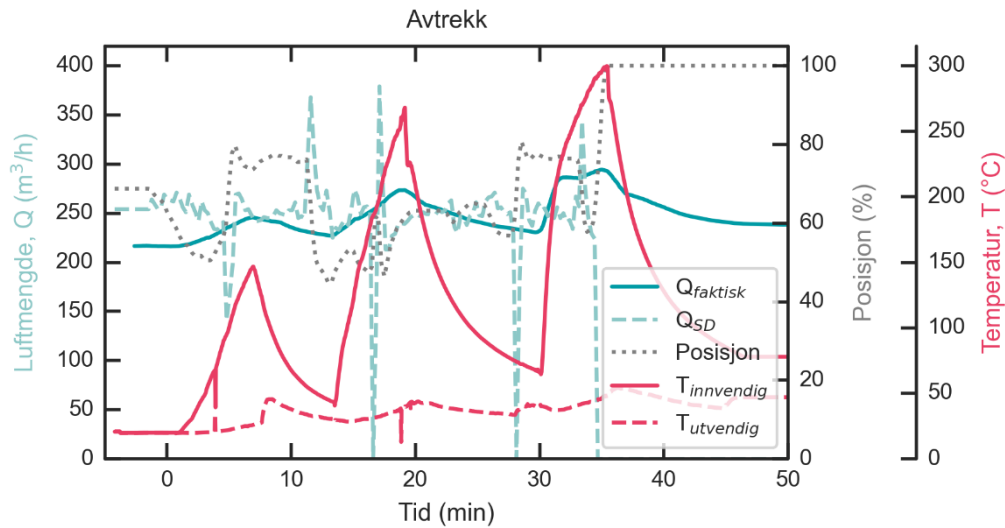


**Figur 4-5: Avtrekksspjeld etter (a) Test 7 og (b) Test 9. Bildene viser at plastslangene for luftmengdemålingene hadde smeltet i tilkoblingspunktet på kanalen slik at forbindelsen mellom spjeldet og regulatoren ble brutt.**

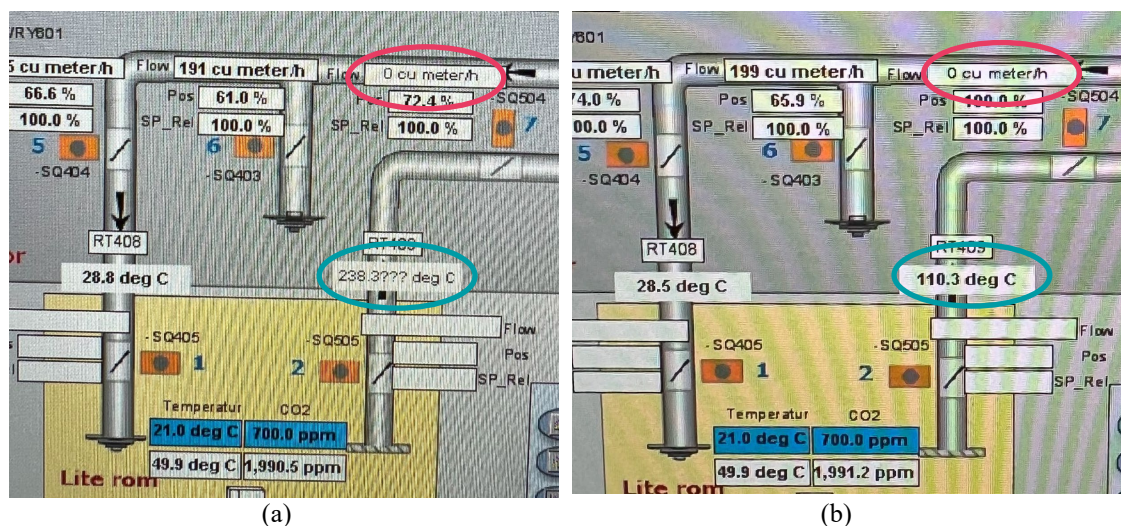
Test 7 ble utført med kun propan som brensel og ventilasjonssystemet var stilt inn på  $V_{\max}$  ved teststart. Dermed representerte denne testen en brann med høy temperatur, men liten sotproduksjon sammenlignet med de fleste andre testene. Figur 4-6 viser hvordan luftstrømmen, spjeldposisjonen og temperaturen inne i og utenfor spjeldet varierte gjennom testen.

Størrelsen på brannen ble justert ved å justere gasstilførselen med et flowmeter. Dette ble justert trinnvis i tre runder med økende varmeavgivelseshastighet i hvert runde, som også vises i Figur 4-6 med de tre temperaturtoppene som måles på lufta gjennom avtrekksspjeldet. Brannen ble slukket mellom hver av disse tre rundene. Brannen som resulterte i første temperaturtopp varte i 6 minutter og hadde en gjennomsnittlig varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) på omtrent 50 kW. Brannen som resulterte i den andre temperaturtoppen, varte i 5 minutter og hadde en gjennomsnittlig HRR på omtrent 110 kW. Den tredje brannen varte også i 5 minutter og her var gjennomsnittlig HRR på omtrent 170 kW. Som vist i figuren faller målingen av luftmengden til null i korte perioder ved omtrent 17 og 28 minutter. Underveis i selve testen var det også perioder der det viste 0 m<sup>3</sup>/h på SD-skjermbildet. Målingene viser at temperaturen på lufta som gikk gjennom avtrekksspjeldet var omtrent 200 °C da den første uregelmessigheten i luftmengdemålingen ble observert. Etter omtrent 35 minutter faller luftmengden på nytt og forblir etter dette 0 m<sup>3</sup>/h. På dette tidspunktet har da antakelig slangene til luftmengdemålingene smeltet helt, som vist i Figur 4-5 (a). Skjermbilder av SD-anlegget er vist i Figur 4-7. Figur 4-7 (a) viser et skjermbilde tatt 36 minutter etter teststart. I tillegg til at luftmengden er 0 m<sup>3</sup>/h (rød markering) vises også noen uregelmessigheter med SD-anleggets temperaturmåling i spjeldet (spørsmålsteget i den turkise markering). Uregelmessighetene med temperaturmålingen oppstod ved ca. 120 °C. Når temperaturen falt, forsvant denne

uregelmessigheten og temperaturen vist igjen (Figur 4-7 (b)). Målingen fra denne temperatursensoren påvirker ikke styringen av anlegget og det oppstod derfor ikke noen følgefeil pga. dette.



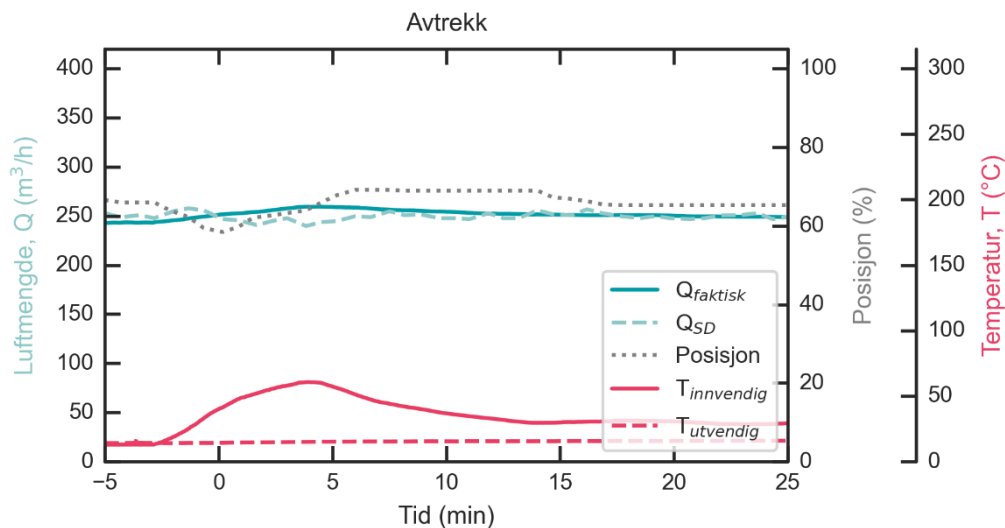
**Figur 4-6:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor avtrekksspjeldet for Test 7 med spjeldet plassert utenfor brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.



**Figur 4-7:** (a) Skjerm bilde tatt 36 minutter etter teststart som viser at SD anlegget måler at luftmengden er 0 m<sup>3</sup>/h (rød markering) i tillegg til uregelmessigheter på temperaturmålingen (turkis markering). (b) Skjerm bilde som viser at uregelmessighetene i temperaturmålingen forsvant når temperaturen falt etter testslutt mens luftmengden fortsatt måles til 0 m<sup>3</sup>/h.



Test 8 ble utført med kun skumgummimadrass som brensel og ventilasjonsanlegget var stilt inn på  $V_{\max}$  ved teststart. Denne testen representerer altså en brann med lav temperatur, men høy sotproduksjon. Figur 4-8 viser hvordan luftstrømmen, spjeldposisjonen og temperaturen inne i og utenfor avtrekksspjeldet varierte gjennom testen. Begge luftmengdemålingene ligger stabilt rundt prosjektert  $V_{\max}$  gjennom hele testen. Ettersom madrassoppsettet reduserte oksygentilførselen til madrassbrannen brant denne med lavere intensitet enn om den hadde hatt fri tilgang på oksygen. Med kun madrass som brensel ble det da ikke utviklet like mye varme som i testene med gass, og høyeste målte temperatur på luftstrømmen inne i spjeldet var omtrent  $60^{\circ}\text{C}$  for test 8. Det ble ikke observert noen skader på plastlangene som måler luftmengder etter denne testen.



**Figur 4-8:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor avtrekksspjeldet for Test 8 med spjeldet plassert utenfor brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.

Figur 4-9 viser avtrekksspjeld etter test 8. Som for de andre testene har det lagt seg noe støv/sot på målekrysset. I tillegg har det i denne testen også lagt seg et lag med svart og klebrig sot inne i avtrekksspjeldet nedstrøms for selve spjeldbladet. Bildene fra ulike vinkler viser at strømningsforholdene og resirkulasjonssoner nedstrøms av spjeldbladet sannsynligvis har en stor effekt på hvor soten fester seg.

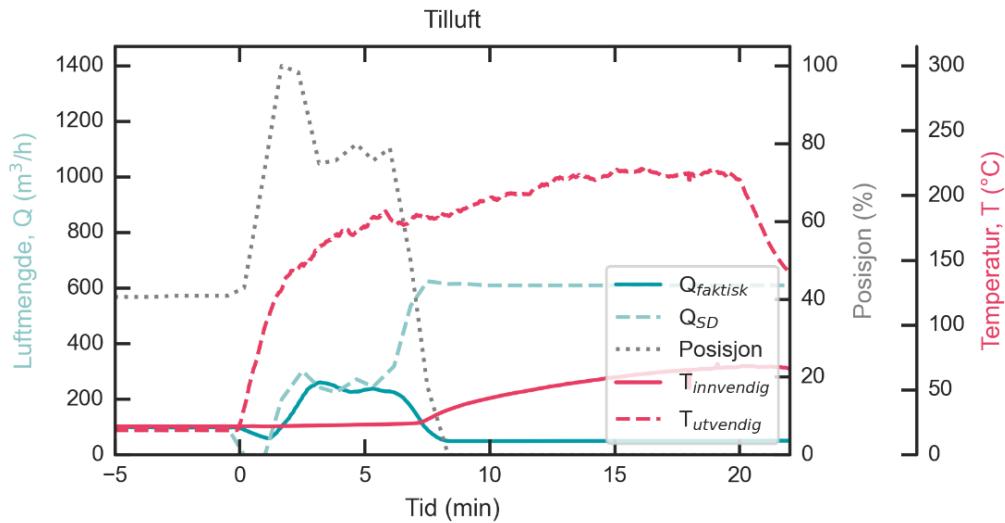


**Figur 4-9:** (a) Sot/støv på målekrysset. (b) og (c) viser det fra to ulike vinkler at svart klebrig sot/støv ble avsatt på innsiden av kanalen nedstrøms for selve spjeldbladet.

Test 9 ble gjennomført med både madrass og propan som brensel. Testen ble avbrutt fordi flammen fra gassbrenneren sloknet samtidig som det begynte å brenne langs gulvet litt unna brenneren. Dette skyldtes trolig at uforbrente gasser fra madrassbrannen fortrengte oksygenet slik at flammen i gassbrenneren ikke lenger hadde nok oksygen. Det var også tekniske problemer med logging av noen av måldata. Derfor viser det ingen data for denne testen i denne rapporten. Som beskrevet over ble det for denne testen, som for test 7, smeltet hull i plastslangene for luftmengdemålingen for avtrekksspjeldet.

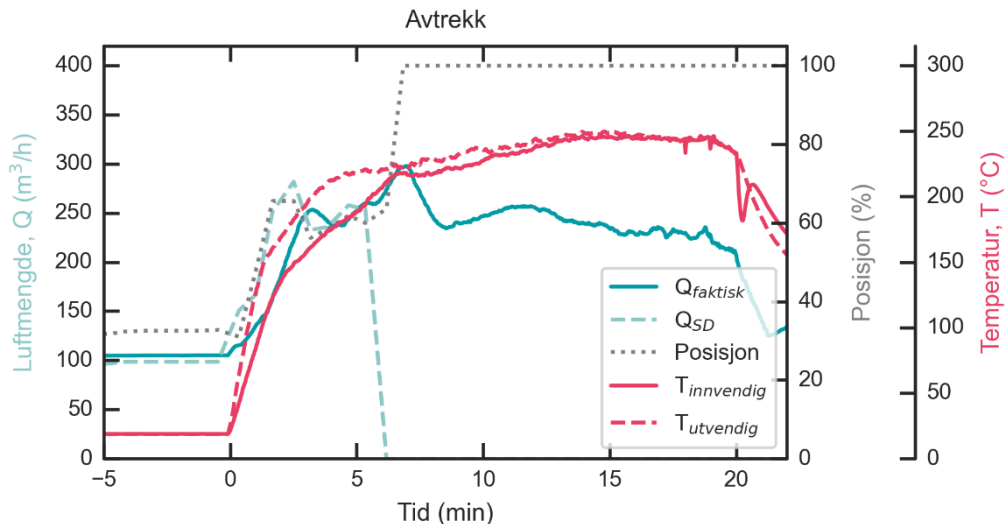
### Test 10

Denne testen ble utført med madrass og gass som brensel og ventilasjonssystemet var stilt inn på  $V_{\min}$  ved teststart. I denne testen var LEO-spjeldene på tillufts- og avtrekkskanalene til brannrommet montert inne i brannrommet. Figur 4-10 viser hvordan tilluftsspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom det og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom testen. Det vises at ved deteksjon av brann åpnes spjeldet først helt opp før det lukker seg noe og justerer inn på maksimal prosjektert luftmengde til kontoret ( $250 \text{ m}^3/\text{h}$ ). Denne innjusteringen fra  $V_{\min}$  til  $V_{\max}$  tok 2-3 minutter. Etter omtrent 6 minutter ser man at den målte luftmengden begynner å øke og at spjeldet begynner å lukke seg helt (0% åpning). Dette skjer når målt lufttemperatur like utenfor spjeldet er omtrent  $200^\circ\text{C}$ .



**Figur 4-10:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor tilluftsspjeldet for Test 10 med spjeldet plassert inne i brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.

Figur 4-11 viser hvordan avtrekksspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom det og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom testen.



**Figur 4-11:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor avtrekksspjeldet for Test 10 med spjeldet plassert inne i brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.

Ved deteksjon av brann åpnes spjeldet til omtrent 60 % åpning og maksimal prosjektert luftmengde (250 m<sup>3</sup>/h) trekkes ut fra kontoret etter 2-3 minutter. Etter omtrent 5 minutter faller

luftmengden målt av spjeldet til 0 m<sup>3</sup>/h og spjeldet åpner til 100 % åpning. Dette skjer når lufttemperaturen utenfor og inne i spjeldet er omtrent 220 °C.

Figur 4-12 (a) viser bilde av tilluftsspjeldet som hadde lukket seg helt underveis i Test 10. Avtrekksspjeldet er vist i Figur 4-12 (b). Skadene på utsiden av spjeldene er vist i Figur 4-13. Både motor, elektronikk, ledninger og slanger hadde fått store skader og smeltet som følge av varmpåkjenningen de ble utsatt da de var plassert inne i brannrommet.



(a)



(b)

**Figur 4-12:** (a) Tilluftsspjeldet som hadde lukket seg helt og (b) avtrekksspjeldet etter Test 10.



(a)



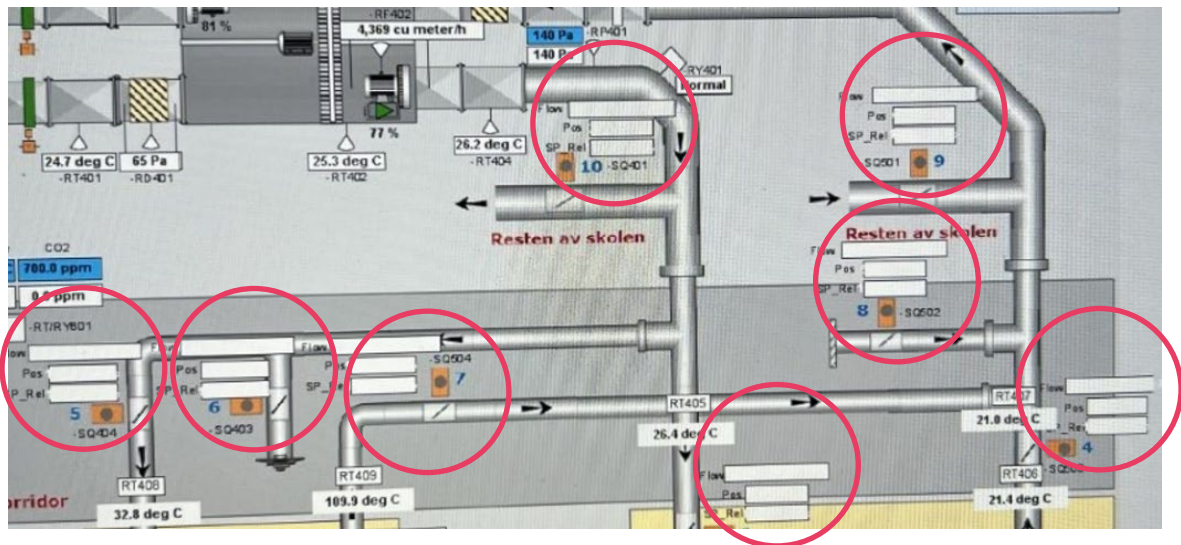
(b)

**Figur 4-13:** Skader på motor, elektronikk ledninger og plastslanger etter Test 10 for spjeldene som var plassert inne i brannrommet. (a) Tilluftsspjeld og (b) avtrekksspjeld.

I tillegg til skadene på spjeldene hadde 24 V strømforsyningen til spjeldene brent opp og sikringen hadde gått på 24 V strømforsyningen i styreskapet. Dette resulterte i at systemet



mistet kontakten med alle spjeldene. Som vist i Figur 4-14 forsvant da all informasjon om alle spjeldene fra SD anlegget.

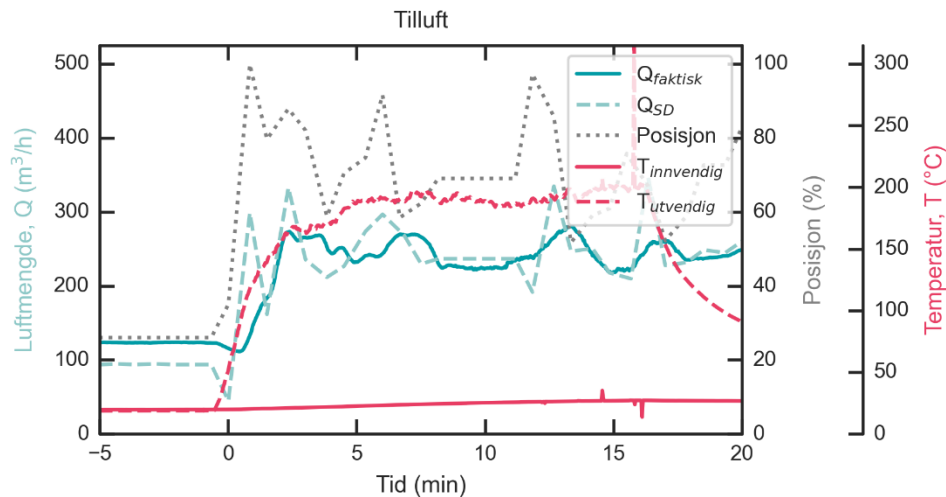


**Figur 4-14:** Utsnitt av skjermbilde fra SD anlegget i Test 10 etter systemet hadde mistet kontakten med alle spjeldene. At informasjonen er borte kan gjenkjennes ved at feltene inne i de røde sirkelene er tomme.

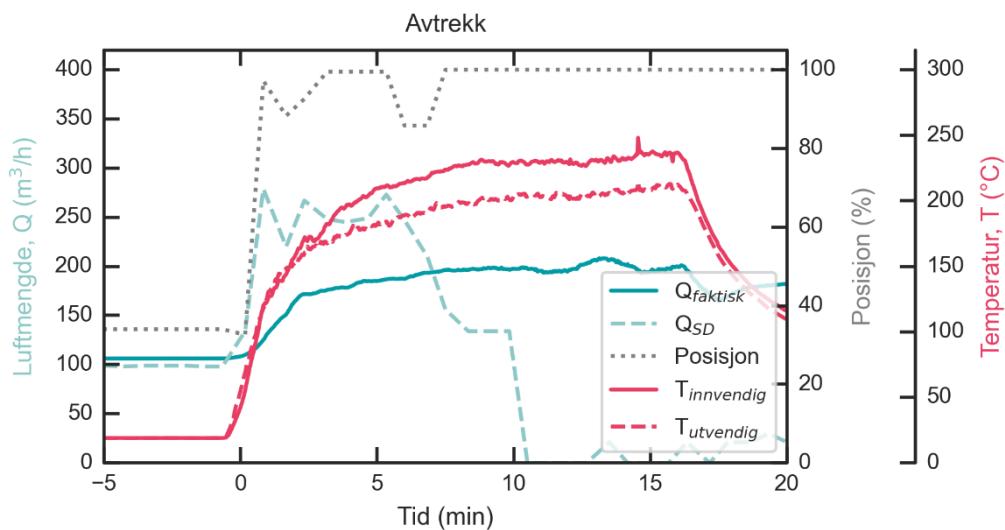
## Test 11

Denne testen ble utført med madrass og gass som brensel og ventilasjonssystemet var stilt inn på  $V_{\min}$  ved teststart. I denne testen var det montert TVE spjeld på tillufts- og avtrekkskanalene til brannrommet. Begge disse spjeldene var montert inne i brannrommet. I denne testen ble gasstilførselen stoppet etter omtrent 16 minutter fordi det ikke var en kontinuerlig forbrenning av gassen fra brenneren. Istedenfor spredte brannen seg utover gulvet med ujevn flamme. Madrassen fikk brenne videre. Figur 4-15 viser hvordan tilluftsspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom det og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom testen. Når brannen ble detektert åpnet spjeldet seg helt opp, før det justerte seg inn slik at prosjektert maksimal luftmengde ble oppnådd. Målt luftmengde ble målt til omtrent  $V_{\max}$  for resten av testen. Temperaturen utenfor spjeldet økte raskt etter brannstart og stabiliserte seg etter ca. 5 minutter på rundt 200 °C. Inne i spjeldet ble det kun registrert en liten temperaturendring.

Figur 4-16 viser hvordan avtrekksspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom det og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom testen. Ved deteksjon av brann åpnet avtrekksspjeldet helt opp og spjeldet justerte seg inn til  $V_{\max}$ . Etter omtrent 5 minutter ser man at luftmengden spjeldet måler avtar (turkis stiplede linje) og etter omtrent 10 minutter faller spjeldets målte luftmengde helt til 0. Den bidireksjonale proben måler likevel fortsatt en luftmengde tilsvarende  $V_{\max}$ .

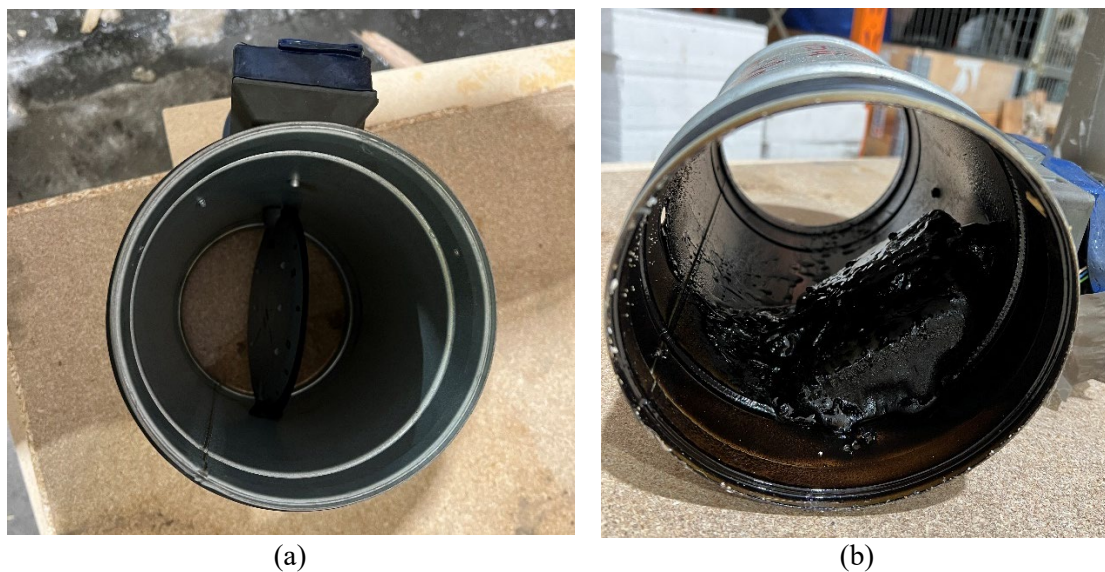


**Figur 4-15:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor tilluftsspjeldet for Test 11 med spjeldet plassert inne i brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets sensor koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.



**Figur 4-16:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor avtrekksspjeldet for Test 11 med spjeldet plassert inne i brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets sensor koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.

Figur 4-17 viser spjeldene etter test 11. Tilluftsspjeldet som vist i (a) hadde ingen synlige skader, mens for avtrekksspjeldet i (b) hadde hele spjeldbladet smeltet. Figur 4-18 viser bilde av motoren på avtrekksspjeldet etter testen. Tilsvarende skader ble observert på motoren på tilluftsspjeldet etter testen.



Figur 4-17: Spjeldblad etter test 11. (a) Tilluftsspjeld og (b) avtrekksspjeld.



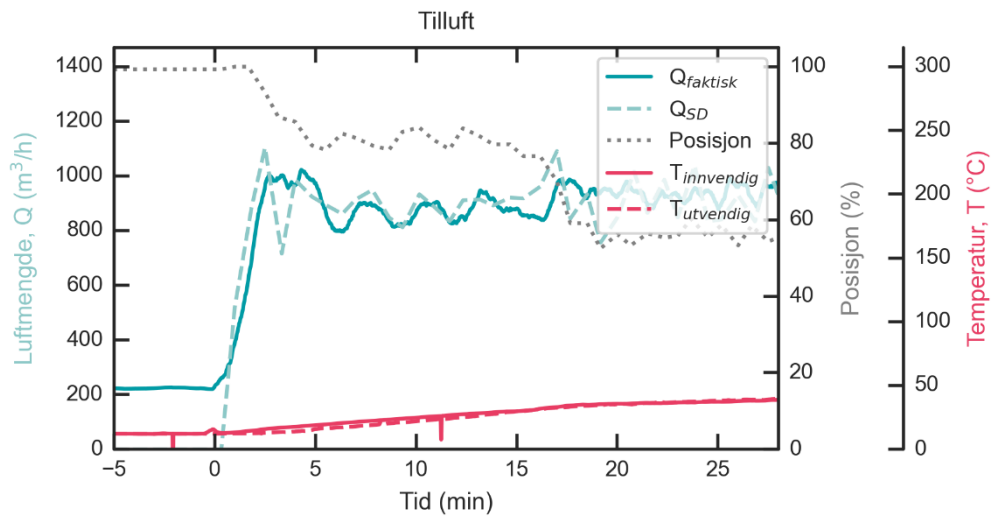
Figur 4-18: Skader på motor og elektronikk på avtrekksspjeld etter test 11.

### Test 12-14

I disse testene var brannen plassert i klasserommet, og brenselet var en kombinasjon av skumgummimadrass og propan. Spjeldene på avtrekks- og tilluftskanalene fra klasserommet var i alle disse testen av type LEO og plassert i korridoren.

Figur 4-19 viser hvordan tilluftsspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom det og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom test 13. For denne testen startet ventilasjonen i nattmodus, som innebærer at ventilasjonsanlegget var slått av. Figuren viser at ved deteksjon av brann begynte det å strømme luft inn i rommet og spjeldet justerte seg inn til omtrent 80 % åpningsgrad slik at en luftmengde inn til rommet tilsvarte  $V_{max}$ . Denne innjusteringen fra nattmodus til  $V_{max}$  tok omtrent 2-3 minutter. Etter omtrent 15 minutter skjer

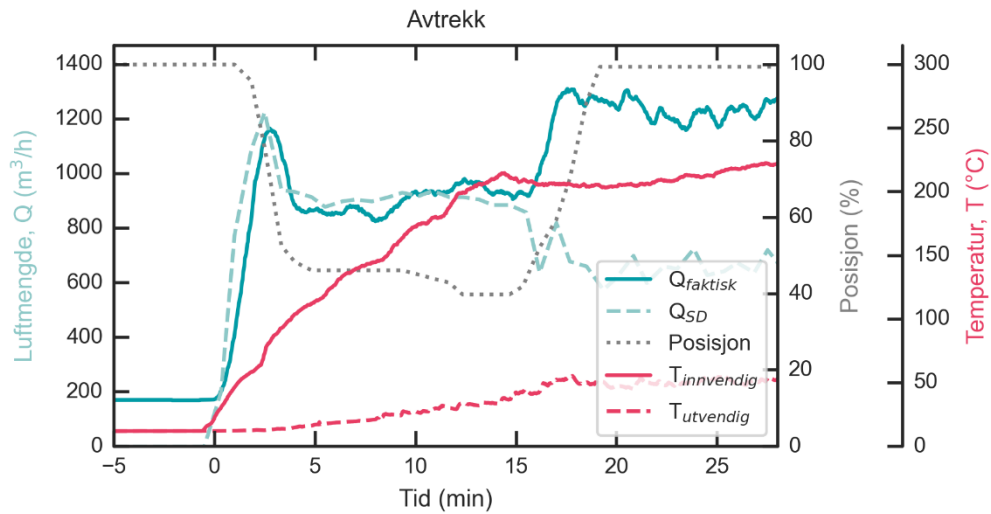
det en ny signifikant justering av spjeldposisjonen, men både spjeldet og den bidireksjonale proben måler fortsatt en luftmengde tilsvarende  $V_{max}$ .



**Figur 4-19:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor tilluftsspjeldet for Test 13 med spjeldet plassert utenfor i brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.

Figur 4-20 viser hvordan avtrekksspjeldets posisjon, luftstrømmen gjennom det og lufttemperaturen inni og utenfor spjeldet varierte gjennom testen. Etter branndeteksjon startet ventilasjonen opp og spjeldet lukket seg til ca. 50 % åpning. 900 m³/h ble da trukket ut av klasserommet. Etter omtrent 15 minutter gikk luftmengden målt med spjeldet ned, og som følge av dette åpnet spjeldet seg helt opp til 100 %. Dette medførte at en større mengde luft enn prosjektert for  $V_{max}$  ble trukket ut av klasserommet, som vist fra målinger av den bidireksjonale proben. Dette skjedde da temperaturen målt i luftstrømmen inne i spjeldet passerte 200 °C. Figur 4-21 viser at plastslangene for spjeldets luftmengdemåling hadde smeltet også i denne testen. Samme feil ble observert også for test 12 og test 14.





**Figur 4-20:** Luftmengde, spjeldposisjon og temperatur inne i og utenfor avtrekksspjeldet for test 13 med spjeldet plassert inne i brannrommet. T representerer temperatur, mens Q representerer mengden luft som blir levert av systemet beregnet fra trykkmålingene med bidireksjonal probe (faktisk) og av spjeldets målekryss koblet til SD-anlegget (SD). Grå stiplet linje angir spjeldposisjonen, der 0 % betyr stengt spjeld, og 100 % betyr full åpning på spjeld.



(a)



(b)

**Figur 4-21:** Skade på plastslanger på avtrekksspjeld etter test 13. Spjeldet var plassert utenfor brannrommet.

Figur 4-22 viser hvordan innsiden av avtrekksspjeldet så ut etter test 12. Ettersom det ikke ble skiftet spjeld etter test 1-3 har dette spjeldet blitt eksponert for røyk fra både tre tester med elsparkesykkel som brensel og en test med gass og skumgummimadrass som brensel. Det vises likevel ikke noen antydning til tetting av hull i målekryssene.

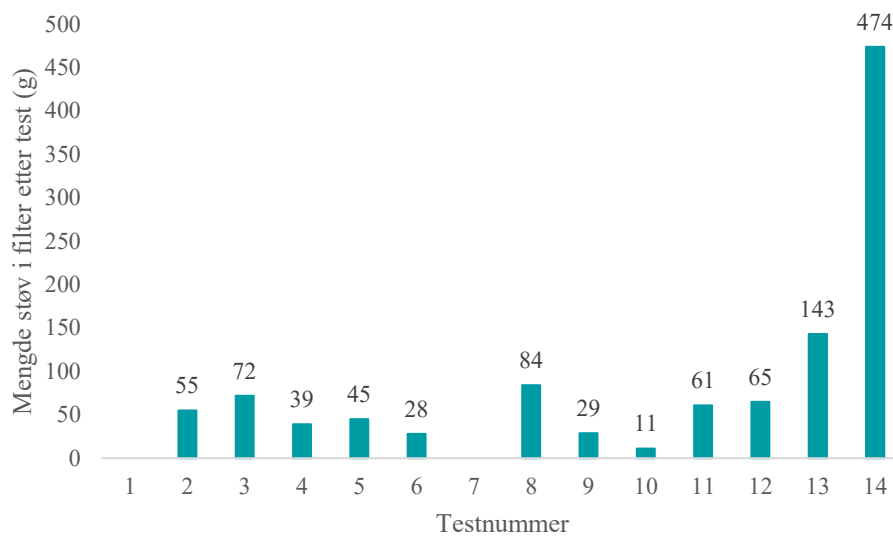


**Figur 4-22: Avtrekksspjeld etter test 12.**

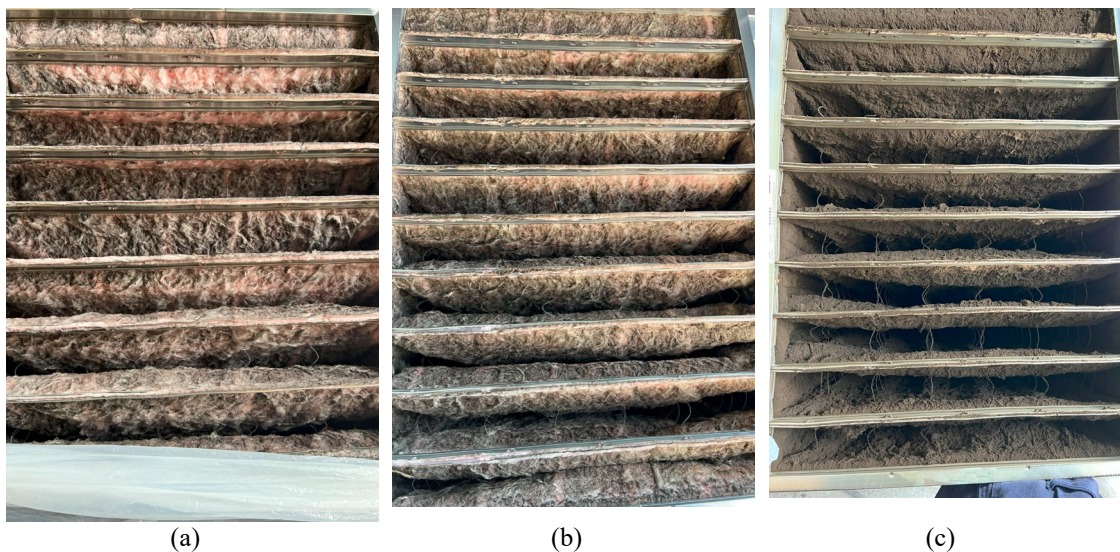
For test 12 oppstod det, som for test 9-11, uregelmessigheter med SD-anleggets temperaturmåling i avtrekksskanalen når temperaturen oversteg 120 °C. I tillegg flatet denne temperaturmålingen ut ved ca. 150 °C, før den etter 22 minutter plutselig viste negative tall. Temperaturen i avtrekksspjeldet ved dette tidspunktet var ca. 230 °C basert på informasjon fra det andre loggesystemet. Temperatursensoren fungerte ikke ved testslutt, og det var ikke tilgjengelig ny sensor for test 13 og test 14.

### 4.3 Brannytelse for filter

Avtrekksfiltrene ble veid og byttet ut etter hver test. Figur 4-23 viser vektøkningen for de ulike testene. Data er ikke tilgjengelig for Test 1 og Test 7. For Test 2 – Test 12 var varigheten av testene 30 minutter, test 13 varte i 40 minutter og test 14 varte i 60 minutter. For testene med elsparkesykkel som brensel ble det samlet opp i gjennomsnitt 48 g støv/sot i løpet av de 30 minuttene røyken fra brannrommet gikk igjennom filteret. For testene i kontoret med kun madrass som brensel ble det samlet opp 84 g støv/sot. For de tre testene i kontoret med både madrass og propan som brensel ble det i gjennomsnitt samlet opp 34 g støv/sot. For test 12 og 13 i klasserommet med både madrass og propan som brensel ble det i gjennomsnitt samlet opp 104 g støv/sot i løpet av henholdsvis 30 og 40 minutter. For test 14 bestod brenselet av to madrasser i tillegg til propan. Totalt 474 g støv/sot ble samlet opp i filteret i løpet av de 60 minuttene denne testen varte. Bilder av filtrene etter test 6, 11 og 14 er vist i Figur 4-24 (a), (b) og (c). Det er tydelig mer støv i filteret etter test 14 enn i de to andre.



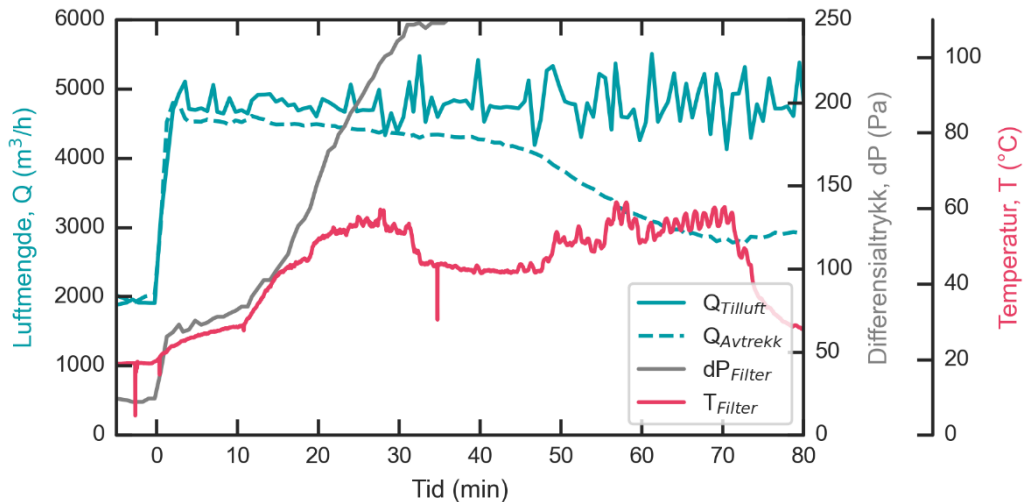
**Figur 4-23:** Mengde støv oppsamlet i avtrekksfilter gjennom hver test. Data er ikke tilgjengelig for test 1 og test 7. Test 2-12 varte i 30 minutter, test 13 varte i 40 minutter og test 14 varte i 60 minutter.



**Figur 4-24:** Bilder av avtrekksfilter etter Test 6 (a), Test 11 (b) og Test 14 (c).

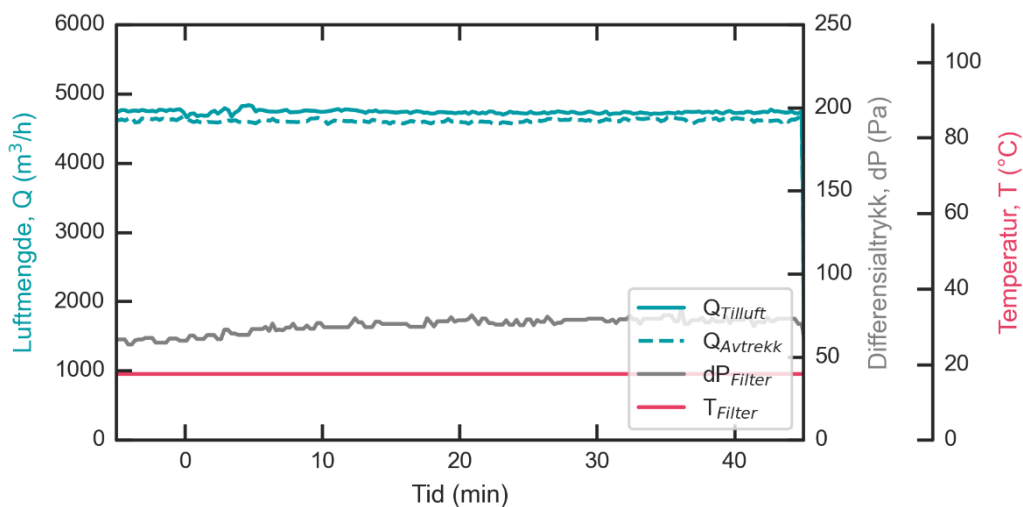
Figur 4-25 viser hvordan støvoppsamlingen i filteret påvirket ventilasjonsaggregatet gjennom test 14. Ventilasjonen var stilt inn på  $V_{\min}$  ved teststart, men ble giret opp til  $V_{\max}$  i løper av 2-3 minutter etter at brannen ble detektert (tid = 0 min). Trykkfallet over filteret var omtrent 75 Pa ved  $V_{\max}$  før filteret begynte å fylles opp. Etter omtrent 10 minutter begynte trykkfallet over filteret å stige, og etter omtrent 30 minutter var trykkfallet 250 Pa. Dette var den øvre målegrensen for trykkmåleren som var installert. Stigningen ved omtrent 10 minutter sammenfalt med tidspunktet da skumgummimadrassene ble antent og gassforsyningen økt. De første 10 minuttene av testen var det kun propan som brant. Den heltrukne turkise linja i figuren viser tilluftsmengde målt i aggregat, som er allerede i starten av testen litt høyere enn avtrekksluftmengde. Dette skyldes sannsynligvis en lekkasje eller lignende i kanalnettet. Videre ble de i alle tester større fluktuasjoner i tilluft observert sammenlignet med avtrekket. En sammenligning av summen av luftmengden i alle rom viste at ventilasjonen til bygget var i

balanse. At tilluften holder seg relativt konstant betyr altså at aggregatet gjennom hele testen klarte å levere ønsket  $V_{max}$ . Den stiplede turkise linja viser at etter omtrent 20 minutter begynner luftmengden aggregatet klarer å trekke ut av bygget å avta. Denne kurven faller ganske jevnt frem til omtrent 45 minutter da den begynner å avta enda mer. Kurven flater ut etter omtrent 70 minutter, det trekkes da  $3000 \text{ m}^3/\text{t}$  luft ut av bygningen. Tilførselen av luft inn i bygget er lik gjennom hele testen, og det skapes dermed ubalanse i bygget.



**Figur 4-25:** Luftmengder,  $Q$ , i aggregatet, temperatur,  $T$ , på avtrekkslufta og trykkfall over filteret,  $dP$ , for test 14 i klasserommet med to madrasser og propan som brensel. Tryksensorens måleområde er begrenset til 250 Pa. De første 10 minuttene brant det kun propan, begge madrassene ble påtent etter omtrent 10 minutter.

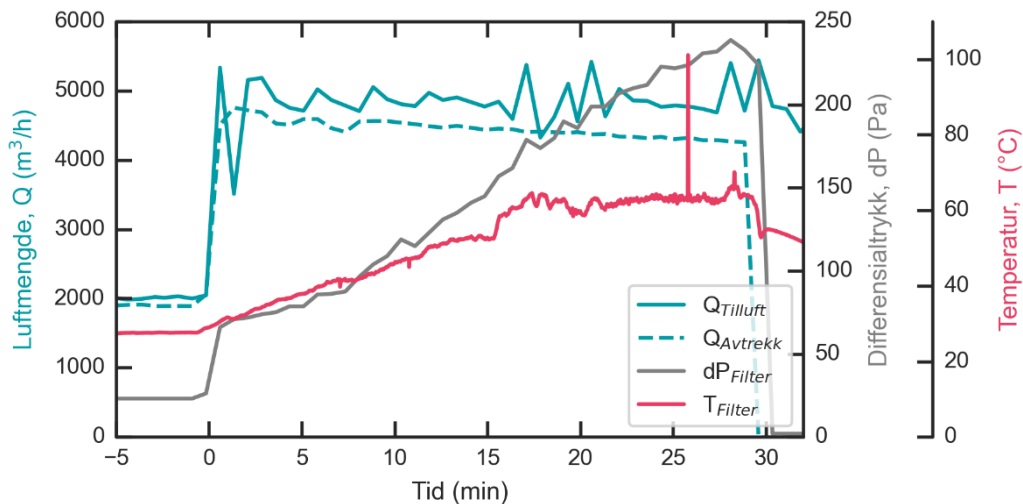
For testene 1 – 6 som hadde elsparkesykkel som brensel ble det samlet opp mellom 28 g og 72 g sot/støv i filteret. I disse testene ble det kun målt en liten økning i trykkfallet over filteret. Dette vises i Figur 4-26 for test 3 som akkumulerte 72 g sot/støv i filteret. Luftmengdene ble holdt stabile gjennom hele disse forsøkene.



**Figur 4-26:** Luftmengder,  $Q$ , i aggregatet, temperatur,  $T$ , på avtrekkslufta og trykkfall over filteret,  $dP$ , for test 3 i klasserommet med elsparkesykkel som brensel. Tryksensorens måleområde er begrenset til 250 Pa.



Til sammenligning vises endringen i trykkfallet over filteret for test 12 i Figur 4-27. Denne testen ble i likhet med test 3 utført med brann i klasserommet, men med skumgummimadrass og propan som brensel. Mengden sot som akkumulerte i filteret var 65 g for test 12, dvs. omtrent likt som for test 3 som akkumulerte 72 g sot i filteret. Likevel ser man av Figur 4-27 at trykkfallet over filteret stiger til omtrent 240 Pa. Luftmengdene i aggregatets avtrekk avtar også jevnt i test 12.



**Figur 4-27:** Luftmengder,  $Q$ , i aggregatet, temperatur,  $T$ , på avtrekkslufta og trykkfall over filteret,  $dP$ , for test 12 i klasserommet med skumgummimadrass og propan som brensel. Tryksensorens måleområde er begrenset til 250 Pa.

Også i test 13 ble det observert samme trend for trykkfall og luftmengder i avtrekk som for test 12. I test 13 ble et trykkfall på 248 Pa registrert over filteret etter 25 minutter. Vekta av sot samlet opp i filteret etter denne testen var 143 g.

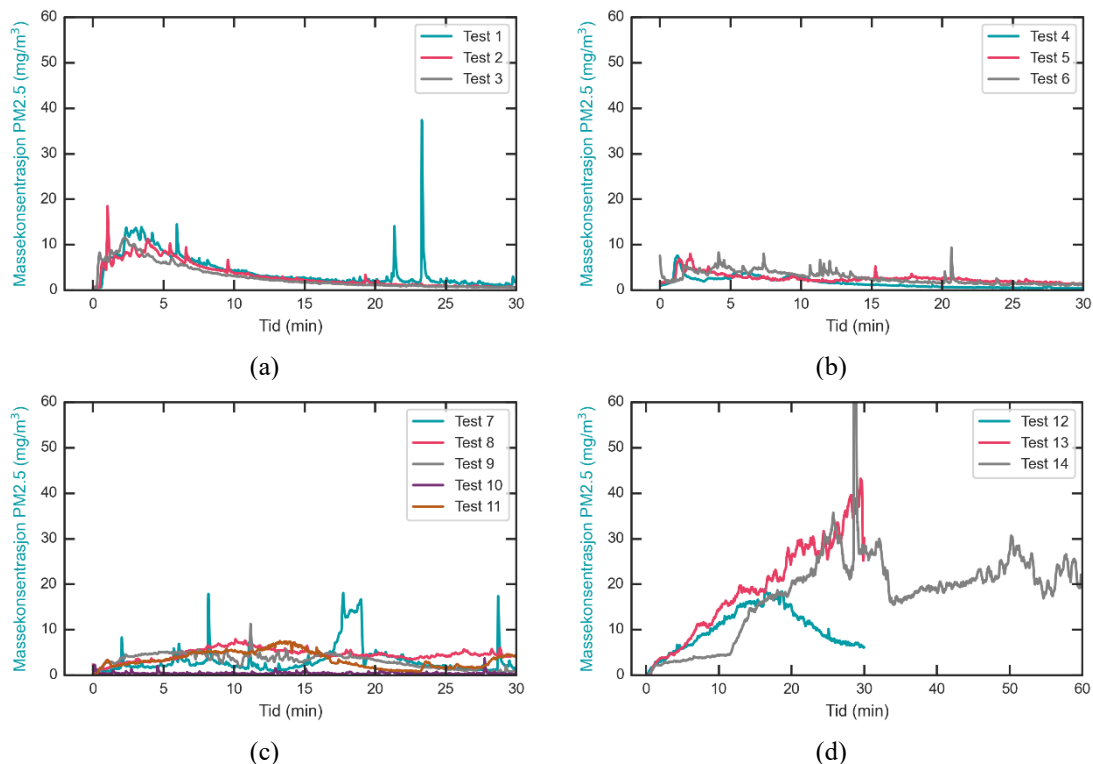
## 4.4 Inneklima

### 4.4.1 Støvkonsentrasjon i avtrekkslufta

DustTrak DRX måler massekonsentrasjon av partikler i ulike størrelsesgrupper. PM1 ( $<1 \mu\text{m}$ ) var den dominerende størrelsesfraksjonen, og mellom 96 % og 99 % av alle detekterte partikler var i denne størrelsesfraksjonen for alle testene.

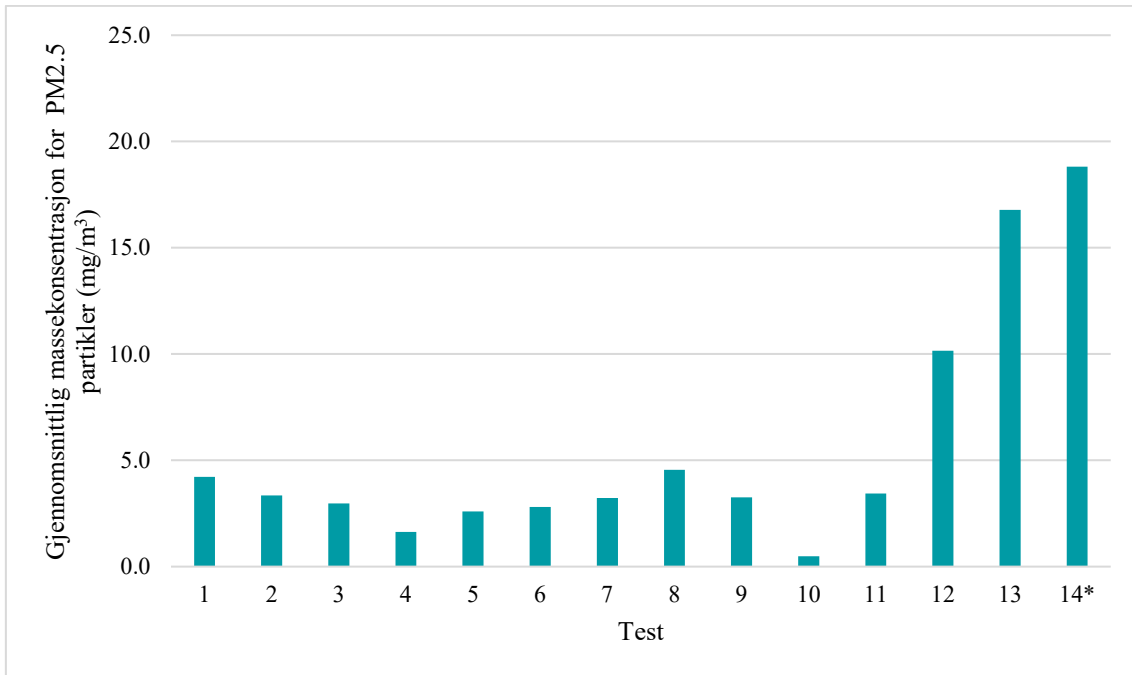
Den målte massekonsentrasjonen av PM<sub>2,5</sub> partikler ( $<2,5 \mu\text{m}$ ) i avtrekkslufta før den går igjennom filteret er vist i Figur 4-28 for alle testene. Figur 4-28 (a) viser testene med elsparkesykkel i klasserommet, (b) viser testene med elsparkesykkel i korridoren, (c) viser testene med propan og/eller skumgummimadrass i kontoret og (d) viser testene med propan og skumgummimadrass i klasserommet. Det var svært liten forskjell mellom målt massekonsentrasjon i testene utført med elsparkesykkel (i både klasserom og korridor) og testene utført med propan og/eller skumgummimadrass i kontoret ((a), (b) og (c)). For testene utført med både propan og skumgummimadrass i klasserommet ble det imidlertid målt en

høyere massekonsentrasjon av partikler i avtrekkslufta (d). For test 14 steg massekonsentrasjonen kraftig etter omtrent 12 minutter. Dette sammenfaller med tidspunktet da de to madrassene ble antent og gasstilførselen økt, etter først å ha brent kun propan i 10 minutter.



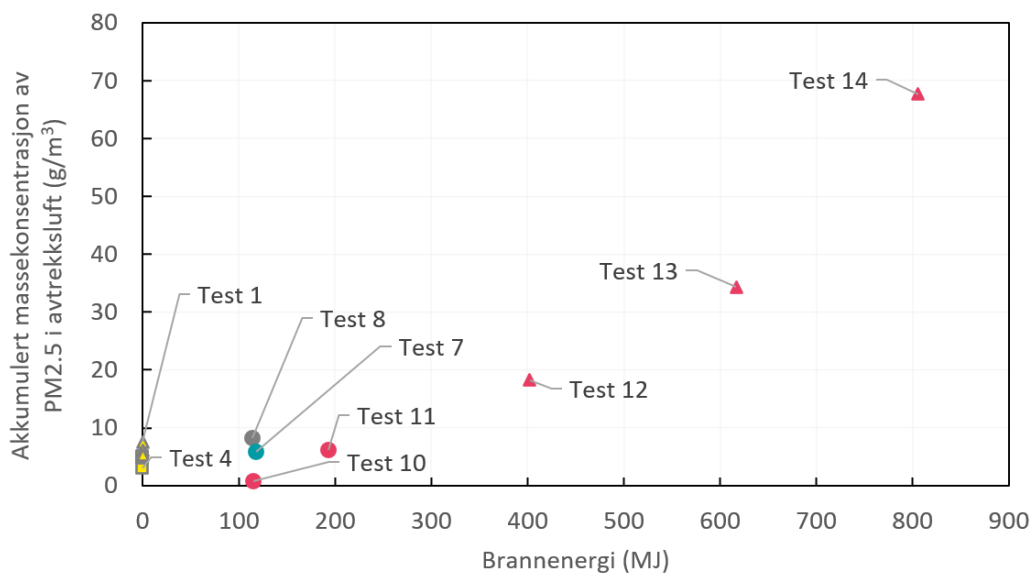
**Figur 4-28:** Målte massekonsentrasjon av PM<sub>2,5</sub> partikler i avtrekkslufta før den går gjennom filteret. (a) Elsparkesykkel i klasserom, (b) elsparkesykkel i korridor, (c) propan eller madrass i kontoret, (d) propan og madrass i klasserom.

Gjennomsnittlig massekonsentrasjon for PM<sub>2.5</sub> over 30 minutter for test 1-12, over 40 minutter for test 13 og over 60 minutter for test 14 er vist i Figur 4-29. Test 12-14 viser de høyeste konsentrasjonene ut av alle testene. Tendensen som vises for PM<sub>2,5</sub> er ganske lik som for mengde støv oppsamlet i avtrekksfilter.



Figur 4-29: Gjennomsnittlig PM2,5 massekonsentrasjon over 30 minutter for test 1-12, over 40 minutter for test 13 og over 60 minutter for test 14.

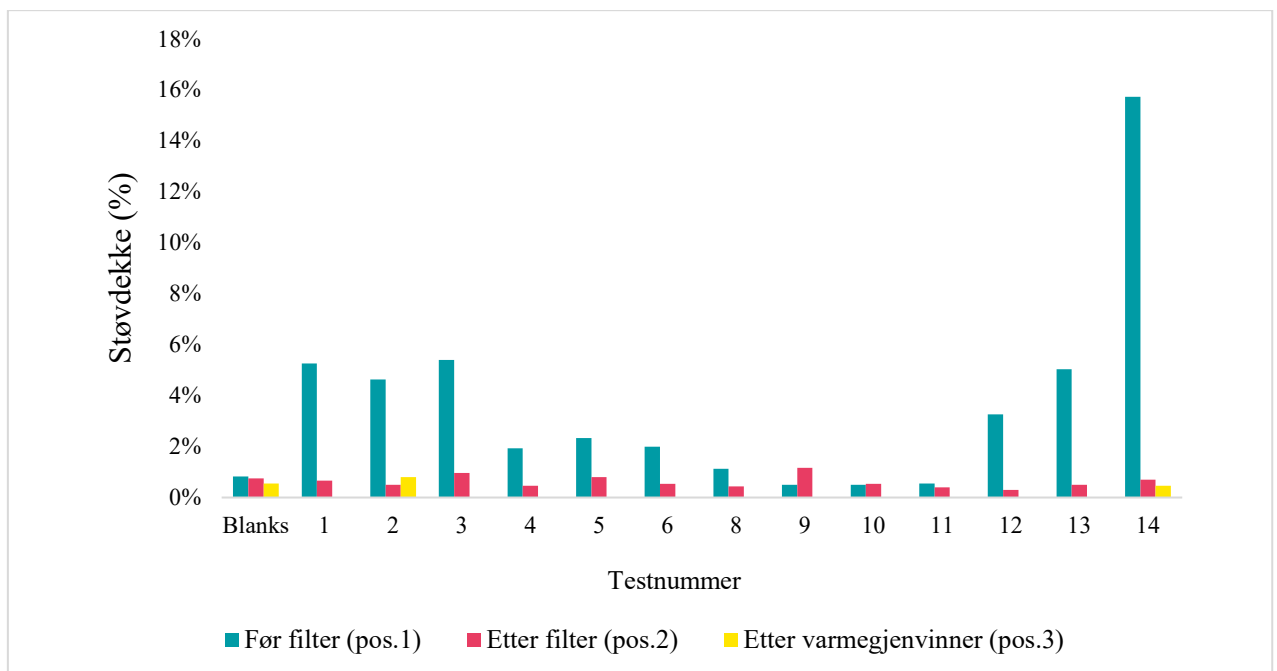
Figur 4-30 setter PM2,5 konsentrasjonen i relasjon til brannenergien. Når en sammenlignbar brensel brennes øker PM2,5 konsentrasjonen proporsjonalt til brannenergien. Test 7, 8 og 10 indikerer hvor stor rolle sammensetningen av brenneslen spiller. Brannenergien for test 1-6 ble ikke estimert, derfor vises disse testene på nullaksen.



Figur 4-30: Akkumulert massekonsentrasjon av PM2,5 partikler i avtrekket målt oppstrøms av aggregatet som funksjon av brannenergi, for tester i klasserommet (trekant), kontoret (sirkel) og korridoren (firkant), med kun gass (turkis), kun madrass (grå), både gass og madrass (rød) og en elsparkesykkel (gul) som brensel. For testene med elsparkesykkel ble brannenergien ikke bestemt og er derfor satt til 0.

#### 4.4.2 Støv/sotprøver i avtrekkskanal

Figur 4-31 viser resultatet av støvdekke for de ulike testoppsettene målt før filter og etter filter på avtrekksiden. Generelt viste resultatene at testene med propan og madrass (test 14) førte til mest sot avlagring, etterfulgt av testene med elsykkel (test 1-3). Det er altså testene som ble gjennomført i klasserommet som førte til de høyeste verdier, selv om PM<sub>2,5</sub> konsentrasjonen målt i test 1-3 er sammenlignbar eller delvis mindre enn PM<sub>2,5</sub> konsentrasjonen målt i korridor og kontor testene. Resultatene viste også at mesteparten av sotpartiklene ble fanget opp av ventilasjonsfilteret. Støvdekke etter filter etter testene var tilnærmet lik prøvene som ble tatt før branntestene ble gjennomført. For to av testene, ble det også tatt prøver av støvdekke etter varmegjenvinner. Disse viste imidlertid at <1% av overflaten var dekket av støv/sot.

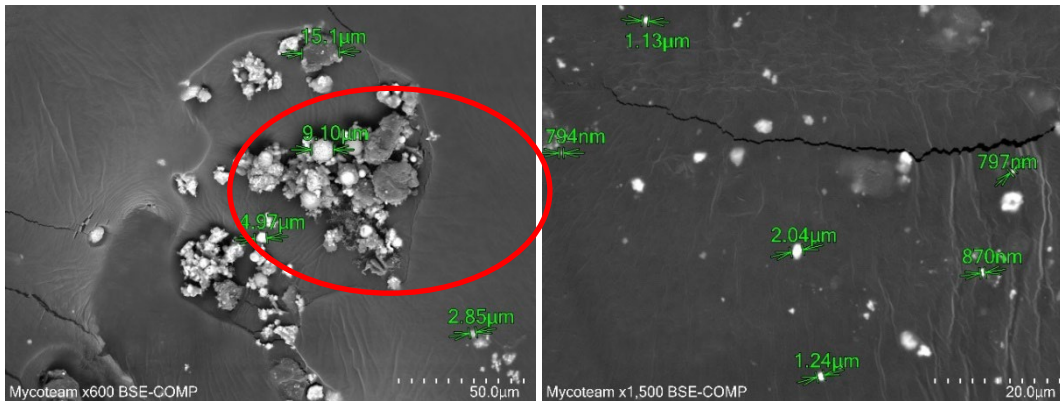


**Figur 4-31: Støvdekke for test 1-14 tatt før filter på avtrekksiden, etter filter og etter varmegjenvinner i prosent av overflateareal.**

#### 4.4.3 Elementanalyse av sot

Figur 4-32 viser SEM-bilder av sot etter testbrann med elsykkel før filter og etter varmegjenvinner. Brann av elsykkel genererer mange runde småpartikler der mange småpartikler har klumpet seg sammen. Elementanalyse (EDS-map) av sotpartiklene ved ulike områder (rød sirkel i figur 1) før filter viser en sammensetning av uorganiske og organiske partikler, med to forbindelser som dominerer (karbon og oksygen), etterfulgt av tungmetaller (nikkel og kobolt), se Tabell 4-2.





**Figur 4-32** SEM-bilde fra test 2, brann i elsykkel, luftmengde på  $V_{maks}$ . Venstre - før filter, høyre - etter varmegjenvinner.

**Tabell 4-2** Elementanalyse av sot etter testbrann med elsykkel, prøve tatt før filter. Analysen ble tatt for gruppen av partikler omringet med rød farge i Figur 4-32.

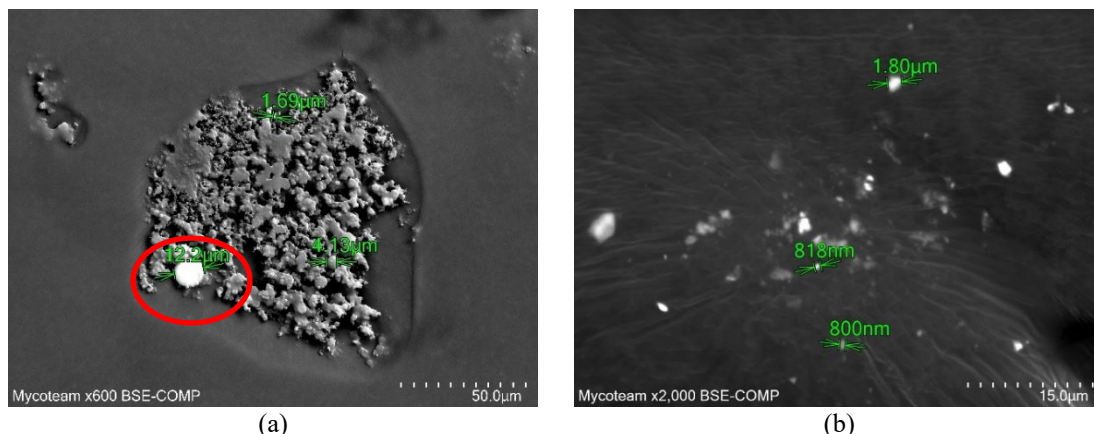
Test 2, før filter	Spektrum 1	Spektrum 2	Spektrum 3
Element	Masse %	Masse %	Masse %
Aluminium (Al)		0,94	1,3
Karbon (C)	14,77	9,12	16,32
Kalsium (Ca)		0,37	
Klor (Cl)		0,36	0,62
Kobolt (Co)	2,06	5,15	3,05
Fluor (F)			5,33
Mangan (Mn)	4,01		2,15
Nikkel (Ni)	6,09	44,31	19,18
Oksygen (O)	59,81	39,29	51,7
Fosfor (P)	13,05		
Silisium (Si)	0,21	0,46	0,35

Etter varmegjenvinneren ble det kun målt ultrafine partikler ( $< 1 \mu\text{m}$ ). Det var generelt vanskelig å finne partikler etter varmegjenvinneren. Elementanalyse av ulike steder på karbontape viser lik sammensetning som før filter, med dominans av organiske partikler, etterfulgt av nikkell (se Tabell 4-3).

**Tabell 4-3 Elementanalyse av sot etter testbrann med elsykkel, prøve tatt etter varmegjenvinner.**

Test 2, etter varmegjenvinner	Spektrum 6	Spektrum 8	Spektrum 9	Spektrum 10	Spektrum 11	Spektrum 7
Element	Masse %	Masse %	Masse %	Masse %	Masse %	Masse %
Aluminium (Al)	0.19	0.24	0.68	0.17		
Karbon (C)	23.82	22.25	21.41	25.51	27.22	25.41
Kobolt (Co)	1	1.08	2.02	0.49		0.49
Klor (Cl)		0.22				
Fluor (F)	1.45	2.82				
Jern (Fe)			1.22			
Mangan (Mn)	0.82		2.39			
Nikkel (Ni)	6.76	10.41	10.24	4.39	0.21	4.94
Oksygen (O)	65.96	62.82	62.03	69.44	72.57	69.17
Fosfor (P)		0.15				

Figur 4-33 viser SEM-bilder fra test 14 som inkluderte propan og skumgummimadrass. Partiklene her var mindre runde og mer svampaktige som kan skyldes madrassen (PU og annet). Plast genererer større partikler, men fanges lettere av filteret enn tungmetaller. Elementanalyse av områdene viser en dominans av organiske sot, med noe uorganiske partikler observert. Tabell 4-4 viser sammensetningen av partikkelen som er omringet med rød sirkel, og viser ulike tungmetaller. De resterende partiklene består generelt av karbon, oksygen og en liten andel silisium og kalsium. Etter varmegjenvinner gjenstår kun ultrafine partikler ( $< 1 \mu\text{m}$ ). Også i denne testen var det vanskelig å finne partikler etter varmegjenvinneren. Elementanalyse av ulike steder på karbontape viste lik sammensetning som før filter, med dominans av organiske partikler, etterfulgt av sink og kalsium (se Tabell 4-4).



Figur 4-33: SEM bilder fra test 14 brann med gass og madrass, luftmengde på Vmin. (a) før filter og (b) etter varmegjenvinner.

Tabell 4-4 Elementanalyse før filter (området markert med rødt) og etter varmegjenvinner.

Test 14	Før filter	Etter varmegjenvinner			
	Spektrum 12	Spektrum 17	Spektrum 18	Spektrum 19	Spektrum 20
Element	Masse %	Masse %	Masse %	Masse %	Masse %
(Aluminium) Al	3,53				
Karbon (C)	14,78	25,13	22,12	25,52	26,57
Kalsium (Ca)	8,45	5,67		0,53	0,27
Jern (Fe)	2,36			0,46	
Kalium (K)	0,92				
Mangan (Mg)	1,17			0,99	
Oksygen (O)	58,78	69,2	62,65	70,85	71,33
Silisium (Si)	9,68			1,64	
Tallium (Ti)	0,33				
Sink (Zn)			15,24		1,82

## 5 Diskusjon

### 5.1 Sotakkumulering og påvirkning av inneklima

Sammensetning av brannrøyk er avhengig av brensel, lufttilgang og temperatur, og består av en kompleks blanding av gasser og partikler (sot). Hvordan inneklima påvirkes som følge av brann er i dette tilfelle begrenset til måling av partikler og akkumulering av sot i avtrekkskanalene (sotdekke). Resultatene fra partikkelmålingene for alle brannforsøkene viser som forventet at det er de minste partiklene som dominerer, spesielt PM1 (størrelse  $\leq 1 \mu\text{m}$ ). For uteluft finnes det luftkvalitetskriterier for kun PM2,5 og PM10, med døgn grenseverdier på henholdsvis  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for PM10 og  $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$  for PM2,5 [16]. Alle branntestene resulterte i PM2,5 verdier langt over grenseverdiene, med lavest massekonsentrasjoner for test 10 (gjennomsnittet over 30 minutter,  $480 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), og høyest for test 12-14 (gjennomsnittsverdi  $> 10\,000 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Testene viste at større branner, altså større brannenergi, fører til mer sotakkumulering i filteret og større PM2,5 massekonsentrasjon. Sammensetningen av brensel har også en påvirkning av sotkonsentrasjonen i filteret. Analysen av støvdekke oppstrøms av avtrekksfilteret viste at brannlokasjonen, altså kanallengde og -utforming mellom brannrommet og aggregatet påvirker hvor mye sot som avlagres i kanalnettet før den kommer fram til aggregatet. Et godt eksempel på dette er også bildene av spjeldene etter test (for eksempel Figur 4-9) som tydeliggjør at lokale strømningsforhold i spjeldene og kanalene har stor påvirkning på hvor sot vil deponeres.

Hvilke filter som installeres i ventilasjonsaggregatet, både på tillufts- og avtrekksiden vil ha store konsekvenser for inneklimate. For ventilasjonsaggregat med varmegjenvinner anbefales det generelt å ha et filter plassert før varmegjenvinner på avtrekksiden som beskyttelse mot støv fra inneluft [17]. I disse brannforsøkene var det installert et ePM1 60 % posefilter, som fanger opp rundt 60 % av PM1-partikler. Dette bekreftes av støvdekkeresultatene som viste tydelig en kraftig reduksjon av sotpartikler etter filteret og etter varmegjenvinner ( $< 1\%$  støvdekke). Røyklukt i bygg etter brann kan gi negative helseeffekter. Det var imidlertid ikke mulig å gjennomføre forsøk for å vurdere mulig røyklukt etter utlufting av røyken etter forsøkene. Støvdekke etter varmegjenvinner ble brukt som en potensiell indikasjon på luktsmitte, men resultatene er for begrenset til å trekke en konklusjon på dette grunnlaget.

### 5.2 Sotakkumulering og påvirkning av avtrekksfilter

For testene med elsparkesykkel som brensel (test 1-6) ble det ikke registrert noen problemer med driften av ventilasjonssystemet. Til tross for at det ble samlet opp opptil 72 g sot/støv førte ikke dette til noen kritisk trykkoppbygging over filteret, og aggregatet klarte å opprettholde de ønskede luftmengdene gjennom hele testene.

For testene i klasserommet med skumgummimadrass og propan som brensel (test 12-14) ble det samlet opp mellom 65 g og 474 g sot/støv i filteret, og for alle disse testene medførte dette raskt et økt trykkfall over filteret. Ved  $V_{\text{max}}$  var det opprinnelige trykkfallet over filterene omtrent 75 Pa. I test 12 økte trykkfallet over filteret til omtrent 240 Pa, i test 13 nådde trykkfallet nesten 250 Pa og i test 14 steg trykkfallet sannsynligvis til over 250 Pa, som var deteksjonsgrensa for måleinstrumentet. Det var altså ikke mulig å måle den faktiske økningen i trykktapet over filteret for den siste test. For alle disse tre testene avtok luftmengdene i avtrekk som følge av

gradvis tetting og dermed større motstand gjennom filteret. Hvilke andre konsekvenser dette får for ventilasjonssystemet som helhet er diskutert i rapporten «BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning» [7].

Dersom man sammenligner test 2, eller test 3 og test 12 ser man at mengden sot som ble samlet opp i filteret i løpet av disse testene er omtrent likt. Likevel ble det knapt registrert noen endring i trykket over filteret for test 2 eller 3 mens trykket over filteret raskt begynner å stige for test 12. Dette viser at type brensel virker inn på hvordan akkumulering av sot i filteret påvirker tettingen av filteret. Dette er i tråd med funn i et tidligere BRAVENT-prosjekt [4]. I test 2 og test 3 var brenselet en elsparkesykkel, mens i test 12 var brenselet en skumgummimadrass og propan. Disse testene ble begge utført i klasserommet slik at luftmengdene i avtrekk ut av brannrommet var likt for disse to testene. Elementanalyse er ikke gjort for disse to testene, men for test 2 og test 14. Test 1, 2 og 3 er repeterende tester og elementanalyse av sot i test 2 kan dermed gi informasjon om elementsammensetningen i sotet fra alle disse tre testene. Test 12 og test 14 er også gjort med samme type brensel, men med ulike mengder madrass og testene hadde ulik varighet. Elementanalyse av test 14 gir derfor ikke helt korrekt bilde av test 12 når det gjelder forholdet mellom de ulike elementene, men det bør gi et representativt bilde av hvilke elementer som er tilstede i sot fra testene 12-14. Elementanalyse av sotprøvene i avtrekket før lufta gikk gjennom filteret for test 2 viste at sotene, i tillegg til store mengder karbon og oksygen, også inneholdt tungmetallene nikkel og kobolt. Elementanalyse av tilsvarende sotprøver etter test 14 viste ikke innhold av nikkel og kobolt, men heller en del silikon og kalsium. Kalsium stammer mest sannsynligvis fra Siporex-blokkene.

I de utførte testene ble brannstørrelsen justert slik at temperaturen på avtrekkslufta inn til aggregatet ble holdt under 60 °C for å sikre funksjonalitet gjennom hele testserien. Dette er under filtrenes anbefalte maksimale driftstemperatur på 70 °C, og det er altså ikke undersøkt hvordan filteret påvirkes av høyere varmebelastning. Resultater fra det tidligere BRAVENT-forsøket [4] indikerer likevel at ved høye temperaturer vil rammen på filteret deformeres dersom den for eksempel er laget av plast. Da kan luft passere forbi uten å gå gjennom filteret. Om dette vil være tilfelle i en ekte brann er sterk avhengig av brannstørrelse og utforming av ventilasjonsanlegget siden temperaturen i avtrekkskanalene raskt synker når kald luft blandes med avtrekksluften fra brannrommet som vist i en tidligere BRAVENT-rapport [3].

### 5.3 Brannytelse for ikke-brannklassifiserte spjeld under brann

Det ble i de utførte testene observert flere ulike feilmekanismer på spjeldene ved en brann når et komfortventilasjonsanlegg med ikke-brannklassifiserte spjeld ble brukt til å trekke ut varm brannrøyk fra brannrommet.

I testene med elsparkesykkel som brensel ble det som vist i kapittel 0 utviklet lite varme. Den høyeste temperaturen som ble målt inne i avtrekkspjeldene fra disse testene var omtrent 40 °C og altså hele tiden godt under grensen på 50 °C som er oppgitt som maksimal driftstemperatur for spjeldene som ble brukt.

Både målingene av massekonsentrasjon av partikler (sot og støv) i lufta og mengden støv som ble samlet opp i filteret gjennom testene viste at mengde sot og støv avgitt i disse testene likevel

var tilsvarende massen som sot og støv avgitt i testene med propan og skumgummimadrass i kontoret. Ettersom det ikke ble skiftet spjeld underveis i testserien med elsparkesyklene, ble disse avtrekksspjeldene utsatt for sot fra totalt tre tester uten at det ble registrert problemer med luftmengdemålingene som følge av tetting av målekryss eller sotpåvirkning av sensorene. Bilder tatt inne i avtrekksspjeldet fra klasserommet etter at det var blitt eksponert for brannrøyk fra både tre elsparkesykkel branner og en gass- og skumgummimadrassbrann viser heller ingen tegn til tetting av målekrysset. Selv om noen av spjeldene ble brukt i flere påfølgende branntester var de helt nye da de ble brukt i den første av disse testene. Det er derfor ikke studert hvordan støv som kan samle seg på målekryssene eller sensorer over tid gjennom vanlig drift vil påvirke deres toleranse for sot ved en brann.

I testene utført i kontoret og klasserommet med enten bare propan eller en kombinasjon av propan og skumgummimadrass ble det utviklet mer varme og flere ulike feilmekanismer oppstod på spjeldene i disse testene. Med spjeldene plassert utenfor brannrommet var det bare avtrekksspjeldet som ble ødelagt. De varme røykgassene gjennom avtrekkskanalen medførte at kanalgodset ble så varmt at plastslangene mellom målekrysset og spjeldmotoren med trykksensor smeltet, og da mistet anlegget informasjon om hvilke luftmengder som gikk gjennom dette spjeldet. I de utførte testene interpreterte anlegget da at det ikke gikk luft gjennom spjeldet, og spjeldet ble derfor åpnet til 100 % åpning. Det er ikke mulig å se om temperaturøkningen til over vanlig driftstemperatur i spjeldene fører til feil luftmengdemåling allerede før spjeldene feiler fullstendig, ettersom målingene basert på de bidireksjonale probene ble kalibrert mot spjeldenes luftmengdemålinger i startfasen av testene. Dette gjelder likevel kun for spjeldene til og fra brannrommet.

Med spjeldene plassert inne i brannrommet ble også tilluftsspjeldet utsatt for en så stor varmpåkjenning at det ble ødelagt. I test 10 førte det til at tilluftsspjeldet rapporterte en luftmengde som var mer enn dobbelt så stor enn  $V_{max}$ . Som følge av dette lukket spjeldet helt. I tillegg brant 24 V strømforsyningen til spjeldet opp og sikringen på 24 V strømforsyningen i styreskapet gikk. Dette resulterte i at styresystemet mistet all informasjon om alle spjeldene i anlegget. Slike feilmekanismer som f.eks. at et spjeld enten lukker helt eller at man mister styringen over systemet vil resultere i ubalanse i systemet og overtrykk eller undertrykk i ett eller flere av rommene. I ytterste konsekvens kan dette føre til vanskeligheter med å åpne dører ved rømning. Målinger og funn relatert til slik ubalanse i ventilasjonssystemet for de utførte testene i denne testserien beskrives i diskutert i rapporten «BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning» [7].

Det ble også utført en test med TVE spjeld som ikke bruker målekryss for å måle luftmengdene, men en måleteknologi der sensorene sitter i selve spjeldbladet. Denne testen ble utført med spjeldene inne i brannrommet. I denne testen ble tilluftsspjeldet skadet på utsiden, men ikke ødelagt, og ønsket luftmengde tilført til rommet ble opprettholdt gjennom hele testen. Spjeldbladet i disse spjeldene er laget i plast, og for avtrekksspjeldet ble varmebelastningen av brannrøyken så stor at selve spjeldbladet smeltet. Systemet mistet da informasjon om luftmengdene gjennom dette spjeldet.

I test 8 der det kun var brukt skumgummimadrass som brensel ble det ikke utviklet nok varme til at avtrekksspjeldet ble ødelagt. Den begrensede varmeutviklingen skyldtes oppsettet der skumgummimadrassen var bygget inn med begrenset tilgang på luft. I en reell brann i en

skumgummimadrass hvor lufttilgangen ikke begrenses på denne måten vil det utvikles mye mer varme.

Det ble observert midlertidige problemer med SD-anleggets temperatursensorer i avtrekkskanalene ved temperaturer over 120 °C i flere av testene. Når temperaturen falt etter testslutt, fungerte imidlertid disse sensorene igjen. I test 12 i klasserommet ble temperatursensoren ødelagt permanent. Ettersom disse temperatursensorene ikke påvirket styringen av ventilasjonen ved utløst brannalarm påvirket det heller ikke driften av anlegget direkte.

## 6 Konklusjon

Det ble gjennomført totalt 14 storskala branntester i et testbygg med flere rom som er representative for klasserom, kontor og korridor. Bygget var utstyrt med et fullverdig spjeld-optimalisert ventilasjonsanlegg som var dimensjonert for å betjene totalt 450 m<sup>2</sup> og dermed gi et realistisk grunnlag for branntestene.

I løpet av testene ble det observert feil på DCV-spjeld, avtrekksfilter og temperatursensorer. Følgende resultater anses som de viktigste:

### DCV-spjeld

- I flere av de utførte testene klarte ikke de ikke-brannklassifiserte DCV-spjeldene å opprettholde sin funksjonalitet i de påkrevde 30 eller 60 minutter.
- Varmepåvirkningen førte til at plastslinger og spjeldblader av plast smeltet og dermed mistet funksjonen sin. Feilmekanismen som ble observert oftest var smelting av plastslangene koblet til målekrysset. Smeltingen av slangene førte til en feilmåling som resulterte i signal om full åpning på spjeldet.
- I en test, der både avtrekks- og tilluftsspjeldet ble ødelagt, førte imidlertid feilsignal til at spjeldet lukket seg helt. Det konkluderes derfor med at man mister kontroll over spjeldposisjonen helt når et DCV-spjeld eksponeres for høye temperaturer.
- Det finnes feilmekanismer som kan påvirke alle spjeldene samtidig. Den eksakte mekanismen bak slike feil er ikke kjent, siden det kan oppstå flere feil samtidig, men det ble observert kortslutning av sikringen på 24 V strømforsyning.
- Avtrekksspjeldene var utsatt for en større varme- og røykbelastning enn tilluftsspjeldene og feilet derfor oftere. Dette kan forklares ved at tilluftsspjeldene avkjøles på innsiden så lenge de har gjennomstrømning av frisk luft.
- Varmeeksponeringen av spjeldene, spesielt for tilluftsspjeldet, kan reduseres hvis spjeldene posisjoneres utenfor brannrommet. Derfor anbefales det å plassere spjeldene utenfor rommet de betjener. I praksis kan det for eksempel være at spjeldene til klasserommene osv. plasseres i korridoren. Andre forutsetninger som for eksempel tilgjengelig plass må tas hensyn til.
- Sot førte ikke i noen av testene til tetting av målekrysset eller andre feil på spjeldet, selv etter eksponeringen fra flere branner etter hverandre. Det ble heller ikke observert at elektroniske komponenter ble påvirket negativt av sot. De testede spjeldene var helt nye da de ble montert, det er derfor ikke studert hvordan støv som samler seg på målekryssene eller sensorer over tid gjennom vanlig drift vil påvirke deres toleranse for sot ved en brann.

### Avtrekksfilteret

- Testene i denne studien bekrefter at avtrekksfiltrene tettes ved brann, og kan føre til at aggregatet ikke klarer å opprettholde nødvendig avtrekksluftmengde i 30 eller 60 minutter.
- Hvor raskt filteret tettes, og om temperatureksponeringen blir for høy, avhenger av flere faktorer, som for eksempel brannstørrelse i forhold til aggregatets kapasitet,



sammensetningen av brenselet, utformingen av ventilasjonsanlegget og lokasjonen av brannrommet i forhold til filteret.

- Filteret forhindret betydelig soteksponering av komponentene nedstrøms. Dette innebærer at det er minimalt potensiale for sotsmitte til tilluftssiden via den roterende varmegjenvinneren. Dette forutsetter imidlertid at filteret er intakt under hele brannforløpet. I denne studien ble filteret ikke eksponert for temperaturer over driftstemperaturen. Fra tidligere BRAVENT studier [4] vet man imidlertid at filter som bruker for eksempel plastrammer kan deformeres ved for høye temperaturer som fører til at filtermodulen blir utett.
- Selv om det ikke ble påvist sotsmitte er datagrunnlaget ikke stort nok for å vurdere en mulig luktsmitte.

### Temperatursensor

- Til tross for at det i noen av testene oppstod feil på SD-anleggets temperatursensor i brannrommet medførte ikke dette en målbar påvirkning av reguleringen av ventilasjonsanlegget ved utløst brannalarm. Resultatet indikerer at en feil i temperaturmålingen ikke vil påvirke ytelsen til ventilasjonsanlegget i en brannsituasjon.

#### Konklusjon:

I et ventilasjonsanlegg uten bypass og med ikke-brannklassifiserte DCV-spjeld opprettholder kritiske komponenter ikke tilstrekkelig funksjonalitet i 30 eller 60 minutter for relevante brannscenarier.

For prosjekter som likevel benytter trekk-ut strategien må det dokumenteres at alle komponenter og hele ventilasjonsanlegget vil opprettholde funksjonskrav gitt i TEK17 i påkrevd tidsperiode.

Hvordan feilen av et av DCV-spjeldene og tettingen av avtrekksfilteret påvirker resten av ventilasjonsanlegget, trykbalansen i rommene og potensiell røykspredning, og hvilken ventilasjonsstrategi som kan velges for å redusere negative effekter diskuteres i del 2 av denne rapporten: «BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning» [7].

Basert på branntestene, en omfattende kartlegging av eksisterende skoler [5], tilgjengelig litteratur og en rekke tidligere BRAVENT rapporter ble det utarbeidet en veileder «BRAVENT – Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg» [8].

## 7 Referanser

- [1] R. Stølen and A. S. Bøe, “BRAVENT – Tetting av ventilasjonsfilter med brannrøyk,” RISE Fire Research, RISE-rapport 2021:32, 2021.
- [2] A. S. Bøe, J. P. Stensaas, and C. Sesseng, “BRAVENT - Teori- og kunnskapssammenstilling,” RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2019:11, 2019.
- [3] A. S. Bøe, K. Hox, and C. Sesseng, “BRAVENT - Brannspredning i ventilasjonskanaler,” RISE Fire Research, Trondheim, Norge, RISE-rapport 2019:12, 2019.
- [4] R. Stølen and A. S. Bøe, “BRAVENT – Tetting av ventilasjonsfilter med brannrøyk,” RISE Fire Research, Trondheim, Norway, 2021:32, Mar. 2021.
- [5] A.-M. Haukø, A. Yang, B. G. Olsø, and A. Aamodt, “BRAVENT - Brannforløp og Ventilasjon i Skoler,” 2022:00394, Oct. 2022.
- [6] J. S. Fjærestad, A. Yang, C. Meraner, F. Dovran, and J. Olsen, “BRAVENT – Storskala branntester (del 1): Brannytelse for ikke-brannklassifiserte ventilasjonskomponenter,” RISE Fire Research, 2024.
- [7] C. Meraner and J. S. Fjærestad, “BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekt av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning,” RISE Fire Research, RISE-rapport 2024:38, 2024.
- [8] A.-M. Haukø *et al.*, “BRAVENT - Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg,” 2024.
- [9] A.-M. Haukø *et al.*, “BRAVENT - Kontrollplan: Ventilasjonsanleggets funksjon under brann,” 2024.
- [10] B. McCaffrey and G. Heskestad, “A robust bidirectional low-velocity probe for flame and fire application,” *Combust. Flame*, vol. 26, pp. 125–127, 1976.
- [11] “ISO 9705-1:2016. Reaction to fire tests - Room corner test for wall and ceiling lining products - Part 1: Test method for a small room configuration.” International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland, 2016.
- [12] Meteorologisk institutt, “Frost API.” [Online]. Available: <https://frost.met.no/index.html>.
- [13] J. S. Fjærestad, R. F. Mikalsen, and C. Meraner, “Rømning ved brann i litium-ion batteri i elsparkesykkel,” RISE Fire Research, RISE Rapport 2023:32, 2023.
- [14] “IMO Res. MSC.265(84) Annex 14 Amendments to the revised guidelines for approval of sprinkler systems equivalent to that referred to in SOLAS regulation II-2/12 (Resolution A.800(19)).” International Maritime Organization, 2008.
- [15] Standard Norge, “NS-EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Laster på konstruksjoner, Del 1-2: Allmenne laster, Laster på konstruksjoner ved brann.” Standard Norge, 2002.
- [16] World Health Organization, *WHO global air quality guidelines: particulate matter (PM2.5 and PM10), ozone, nitrogen dioxide, sulfur dioxide and carbon monoxide*. Geneva: World Health Organization, 2021.
- [17] “552.331 Filtrering av luft i ventilasjonsanlegg,” SINTEF, 2005.

## Vedlegg A - Lufttethetsmålinger testbygg



Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	316 (+/- 3.2 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	3.11
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	9.45
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.85

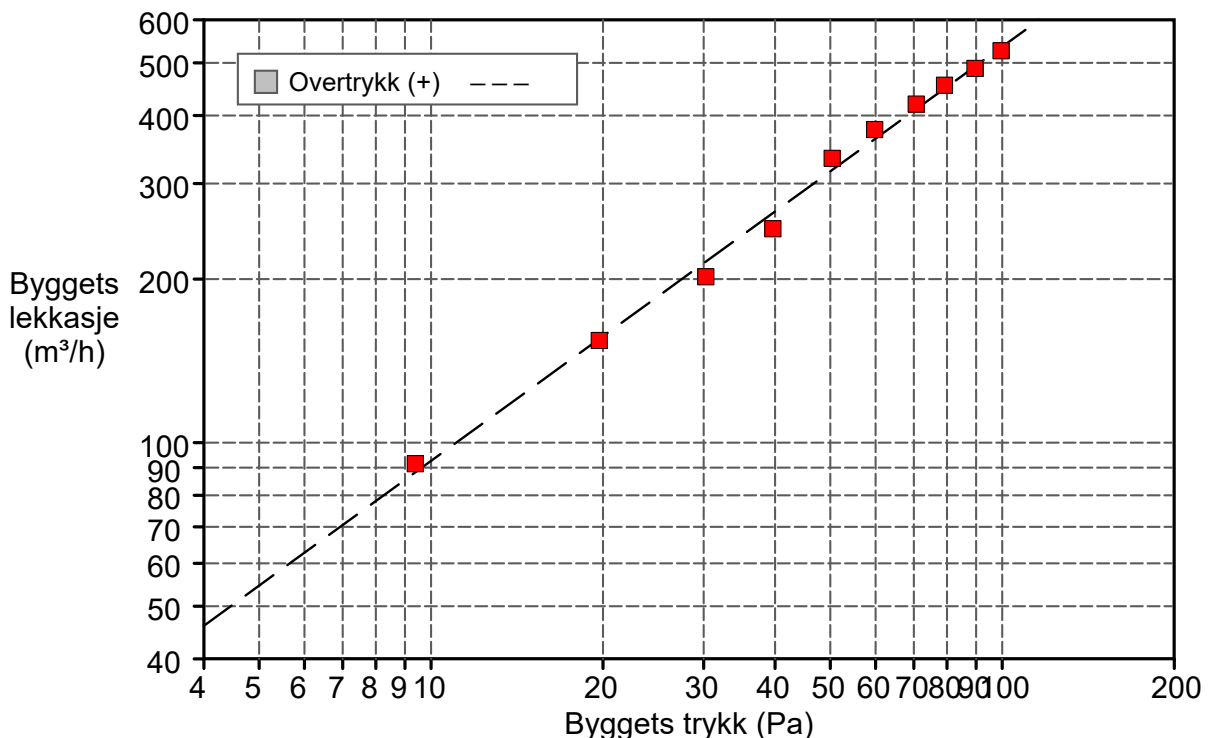
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0096 (+/- 3.2 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002880
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000563

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 16.0 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 17.3 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 16.0 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 17.3 %)  
EkspONENT (n) = 0.762 (+/- 0.045)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.99485

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Overtrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	101.63
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	33.41
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	170.97
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

**TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 3 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_040822

**Overtrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.2	0.4	0.1	-0.2	0.3	-0.0

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.1							
9.4	9.4	-	92	91	91	3.7	
19.7	19.7	-	155	154	154	-0.7	
30.3	30.3	-	203	201	202	-6.3	
39.7	39.7	-	248	247	248	-6.5	
50.4	50.4	-	335	332	334	5.1	
59.8	59.8	-	378	376	377	4.2	
70.7	70.7	-	421	418	420	2.1	
79.3	79.3	-	456	453	455	1.4	
89.6	89.6	-	490	487	488	-0.8	
99.5	99.5	-	528	524	526	-1.4	
-0.0							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---





Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_dører klasserom teipet\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	276 (+/- 9.0 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	2.70
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	8.25
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.61

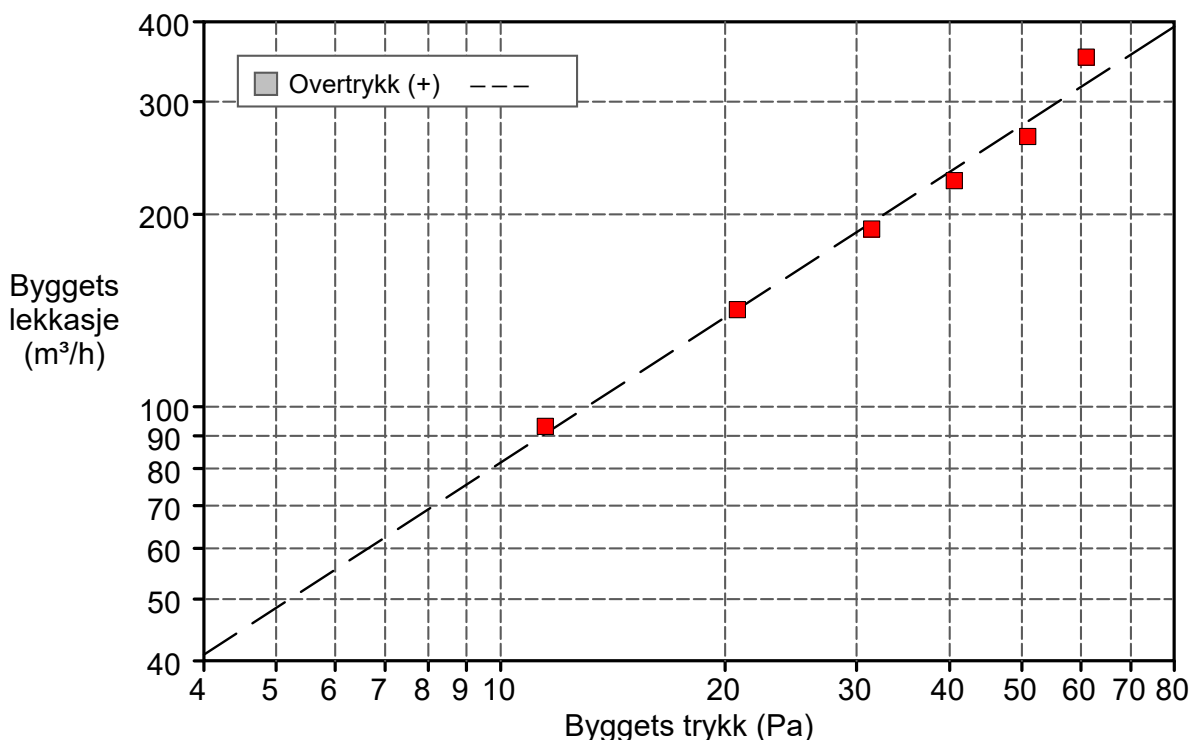
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0084 (+/- 9.0 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002515
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000491

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 14.4 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 42.9 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 14.4 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 42.9 %)  
EkspONENT (n) = 0.755 (+/- 0.123)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.98646

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Overtrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_dører klasserom teipet\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	101.97
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	33.41
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	170.97
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

## TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_overtrykk\_dører klasserom teipet\_040822

### Overtrykkstest:

#### Klimadata

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

#### Før test

#### Data for baseline

#### Etter test

Δp <sub>0,1</sub> -	Δp <sub>0,1</sub> +	Δp <sub>0,1</sub>	Δp <sub>0,2</sub> -	Δp <sub>0,2</sub> +	Δp <sub>0,2</sub>
-1.0	0.0	-1.0	-0.6	0.2	-0.5

### Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde q <sub>r</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde q <sub>env</sub> (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde q <sub>L</sub> (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-1.0							
10.7	11.5	-	93	93	93	2.7	
20.0	20.8	-	142	142	142	-0.1	
30.7	31.4	-	190	190	190	-2.4	
39.8	40.6	-	226	226	226	-4.2	
50.1	50.9	-	265	265	265	-5.3	
60.2	61.0	-	352	352	352	10.0	
-0.5							

#### Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_dører klasserom teipet\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	247 (+/- 2.5 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	2.43
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	7.39
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.44

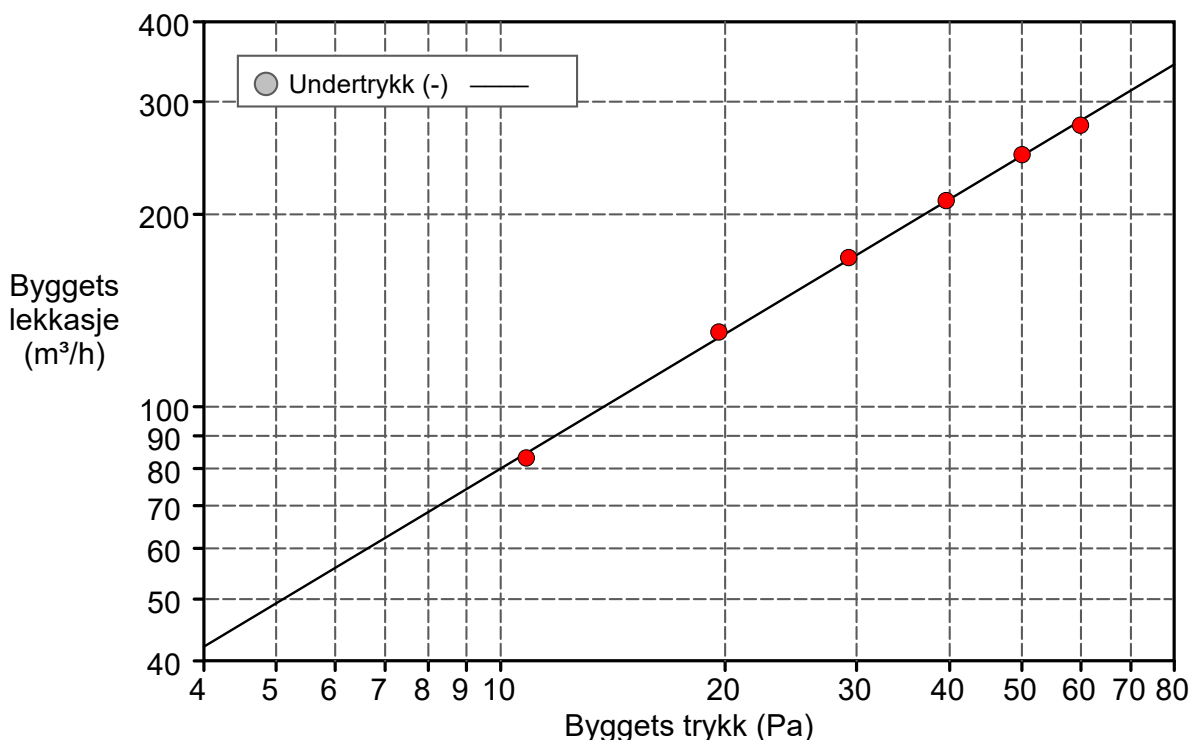
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0075 (+/- 2.5 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002253
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000440

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 15.9 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 11.0 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 16.0 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 11.0 %)  
EkspONENT (n) = 0.700 (+/- 0.032)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.99893

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Undertrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_\_dører klasserom teipet\_040822

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	101.63
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	33.41
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	170.97
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_\_dører klasserom teipet\_040822

**Undertrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.1	0.1	-0.1	-0.3	0.1	-0.2

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.1							
-11.0	-10.8	-	83	83	83	-1.7	
-19.8	-19.6	-	131	130	131	2.1	
-29.4	-29.3	-	172	170	171	0.8	
-39.7	-39.6	-	211	209	210	0.2	
-50.2	-50.0	-	249	247	248	0.4	
-60.1	-59.9	-	276	275	276	-1.6	
-0.2							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.



**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	260 (+/- 0.6 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	2.56
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	7.78
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.52

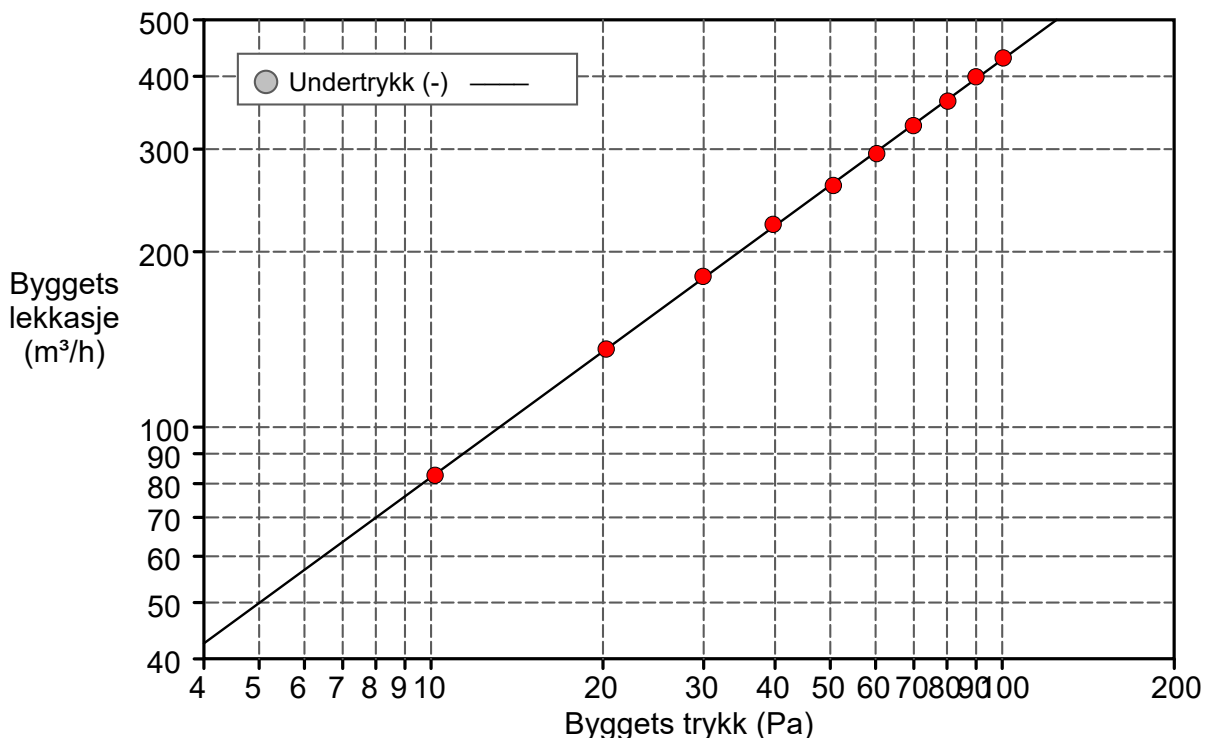
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0079 (+/- 0.6 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002372
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000464

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 15.8 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 3.3 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 15.8 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 3.3 %)  
EkspONENT (n) = 0.717 (+/- 0.008)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.99979

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Undertrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	101.63
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	33.41
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	170.97
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

**TEST AV BYGNINGERS TETHET Side 3 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_040822

**Undertrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.3	0.5	0.4	-0.3	0.4	-0.1

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m³/h)	Juster mengde $q_{env}$ (m³/h)	Juster mengde $q_L$ (m³/h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.4							
-10.0	-10.2	-	83	83	83	-0.4	
-20.1	-20.3	-	136	136	136	0.0	
-29.8	-29.9	-	181	181	181	0.8	
-39.6	-39.7	-	223	223	223	1.1	
-50.5	-50.6	-	260	260	260	-0.9	
-60.1	-60.3	-	295	295	295	-0.8	
-69.8	-69.9	-	329	329	329	-0.4	
-80.2	-80.3	-	363	363	363	-0.6	
-89.8	-90.0	-	399	399	399	0.8	
-100.2	-100.3	-	430	430	430	0.4	
-0.1							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_korridor\_undertrykk\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_overtrykk\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	101 (+/- 7.1 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	2.89
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	9.56
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.57

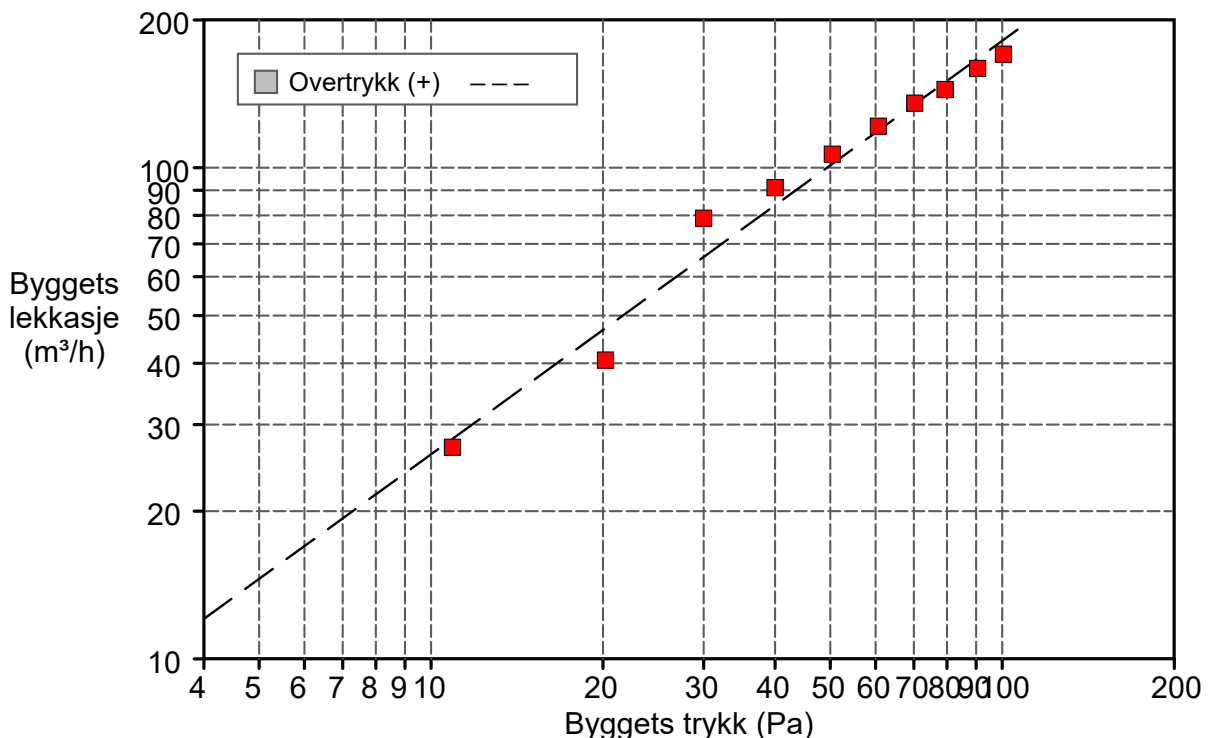
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0031 (+/- 7.1 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002913
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000477

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 3.7 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 40.3 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 3.8 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 40.3 %)  
EkspONENT (n) = 0.842 (+/- 0.104)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.97770

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Overtrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_overtrykk\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	34.95
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	10.58
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	64.58
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeanmeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-
<b>Mikromanometer</b>	Energy Conservatory	DG700		



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4**

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_overtrykk\_040822

**Overtrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.5	0.0	-0.5	-0.3	0.0	-0.3

Data - Data er lagt inn manuelt (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.5	n/a	n/a					
10.5	10.9	219.9	27.1	26.9	27.0	-3.9	Ring 4
19.8	20.2	496.8	40.8	40.5	40.6	-13.9	Ring 4
29.6	30.0	57.0	79	79	79	19.9	Ring 3
39.6	40.0	75.4	92	91	91	8.7	Ring 3
50.0	50.4	102.2	107	106	107	4.6	Ring 3
60.3	60.7	131.9	122	121	121	2.0	Ring 3
69.9	70.3	162.9	136	135	135	0.5	Ring 3
79.0	79.4	184.5	145	144	144	-3.3	Ring 3
90.2	90.6	223.5	160	159	159	-4.5	Ring 3
100.1	100.5	254.4	171	170	170	-6.5	Ring 3
-0.3	n/a	n/a					

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Koeffisienten (0.978) er utenfor de akseptable grenser ( $0,98 \leq r^2 \leq 1$ ).
- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_overtrykk\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_snitt\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

	<u>Undertrykk</u>	<u>Overtrykk</u>	<u>Snitt</u>
q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	80 (+/- 1.2 %)	101 (+/- 7.1 %)	91
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	2.29	2.89	2.59
qF <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	7.57	9.56	8.56
qE <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.24	1.57	1.40

**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0024 (+/- 7.1 %)	0.0031 (+/- 7.1 %)	0.0028
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002307	0.0002913	0.0002610
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000378	0.0000477	0.0000428

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C <sub>env</sub> ) m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )	4.7 (+/- 6.4 %)	3.7 (+/- 40.3 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C <sub>L</sub> ) m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )	4.7 (+/- 6.4 %)	3.8 (+/- 40.3 %)
EkspONENT	0.724 (+/- 0.016)	0.842 (+/- 0.104)
Bestemmelseskoefisient (r <sup>2</sup> )	0.99923	0.97770

Teststandard:

ISO 9972

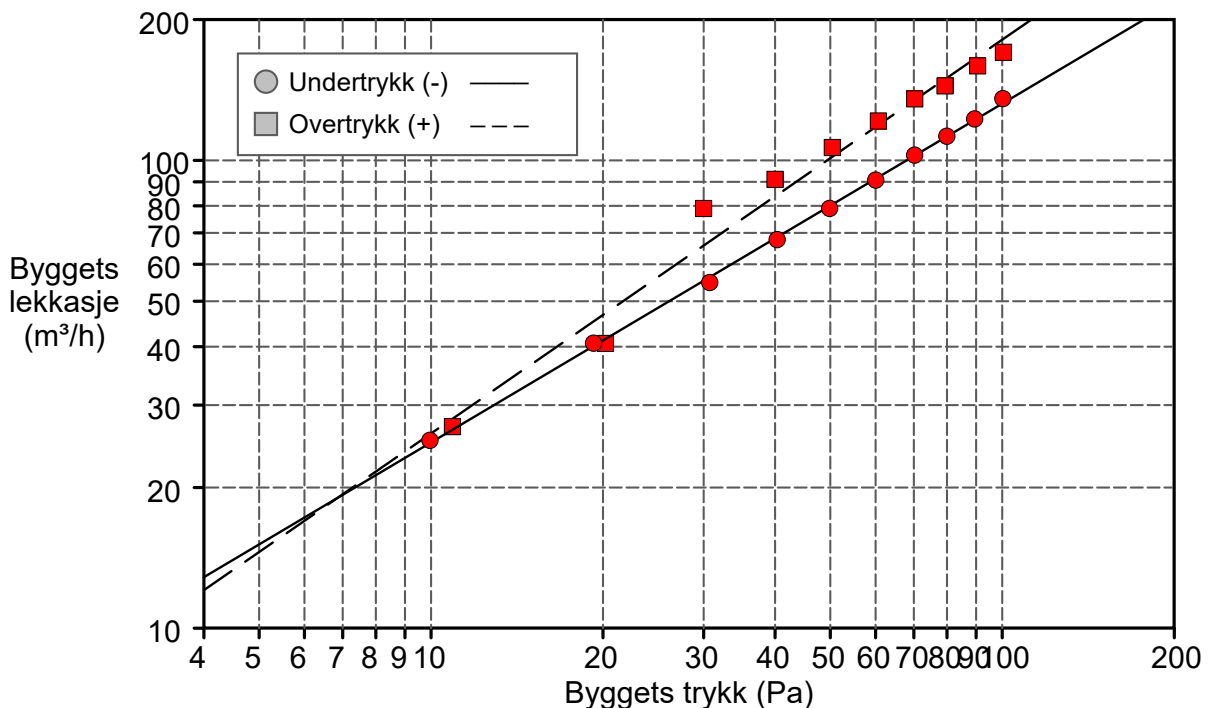
Testmetode:

Undertrykk og Overtrykk

Testmetode:

Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov

Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 5**Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_snitt\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	34.95
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	10.58
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	64.58
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-
<b>Mikromanometer</b>	Energy Conservatory	DG700		

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 5**

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_snitt\_040822

**Undertrykkstest 1:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

Data - Data er lagt inn manuelt (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.0	n/a	n/a					
-9.9	-10.0	191.7	25.3	25.1	25.2	1.3	Ring 4
-19.2	-19.3	496.8	40.8	40.5	40.7	1.4	Ring 4
-30.7	-30.8	28.0	55	55	55	-2.6	Ring 3
-40.3	-40.3	42.2	68	67	68	-1.3	Ring 3
-49.8	-49.8	56.9	79	79	79	-1.2	Ring 3
-60.0	-60.0	74.7	91	90	91	-0.7	Ring 3
-70.2	-70.3	94.9	103	102	103	0.2	Ring 3
-79.9	-80.0	113.6	113	112	113	0.1	Ring 3
-89.4	-89.5	134.0	123	122	123	0.5	Ring 3
-100.2	-100.3	162.9	136	135	136	2.3	Ring 3
0.1	n/a	n/a					

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 5**

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_snitt\_040822

**Overtrykkstest 1:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.5	0.0	-0.5	-0.3	0.0	-0.3

Data - Data er lagt inn manuelt (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.5	n/a	n/a					
10.5	10.9	219.9	27.1	26.9	27.0	-3.9	Ring 4
19.8	20.2	496.8	40.8	40.5	40.6	-13.9	Ring 4
29.6	30.0	57.0	79	79	79	19.9	Ring 3
39.6	40.0	75.4	92	91	91	8.7	Ring 3
50.0	50.4	102.2	107	106	107	4.6	Ring 3
60.3	60.7	131.9	122	121	121	2.0	Ring 3
69.9	70.3	162.9	136	135	135	0.5	Ring 3
79.0	79.4	184.5	145	144	144	-3.3	Ring 3
90.2	90.6	223.5	160	159	159	-4.5	Ring 3
100.1	100.5	254.4	171	170	170	-6.5	Ring 3
-0.3	n/a	n/a					

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Koeffisienten (0.978) er utenfor de akseptable grenser ( $0,98 \leq r^2 \leq 1$ ).
- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_snitt\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_undertrykk\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	80 (+/- 1.2 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	2.29
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	7.57
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	1.24

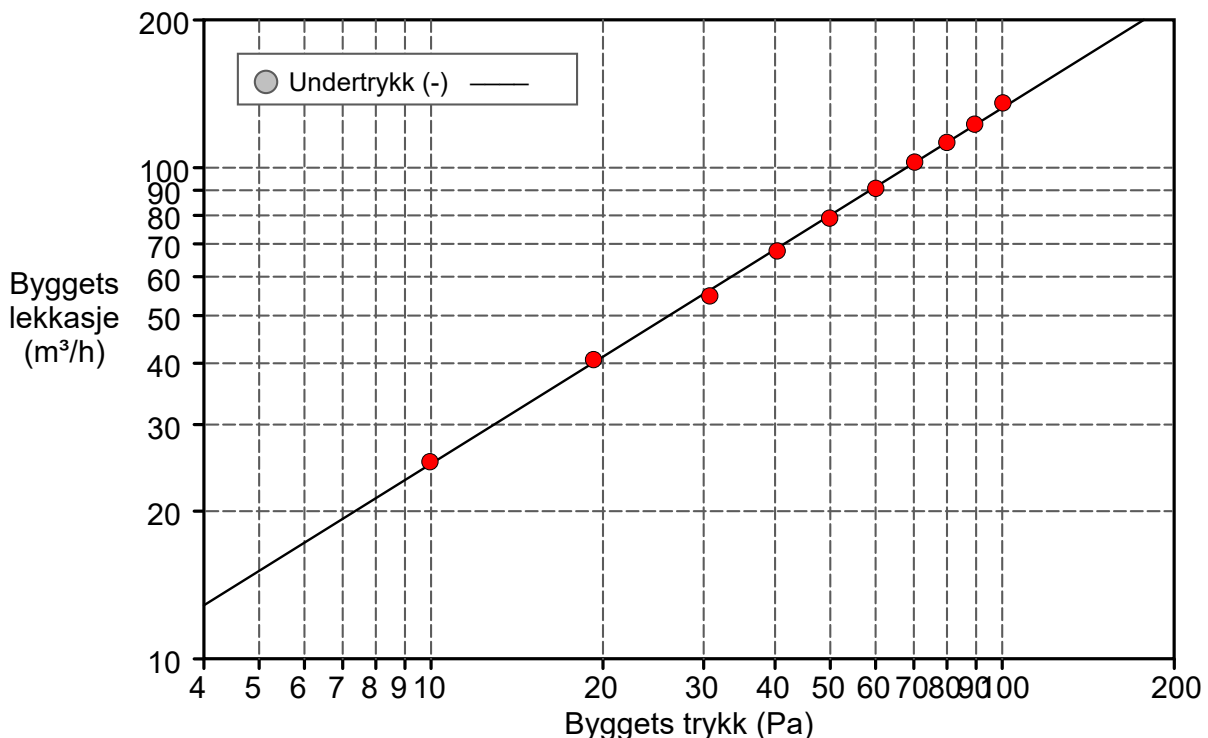
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0024 (+/- 1.2 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0002307
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000378

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 4.7 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 6.4 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 4.7 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 6.4 %)  
EkspONENT (n) = 0.724 (+/- 0.016)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.99923

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Undertrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:





**TEST AV BYGNINGERS TETTETHET Side 2 of 4**

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_undertrykk\_040822

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	34.95
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	10.58
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	64.58
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeanmeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-
<b>Mikromanometer</b>	Energy Conservatory	DG700		

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4**

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_undertrykk\_040822

**Undertrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.1

Data - Data er lagt inn manuelt (TTE 5.1.8.4)

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.0	n/a	n/a					
-9.9	-10.0	191.7	25.3	25.1	25.2	1.3	Ring 4
-19.2	-19.3	496.8	40.8	40.5	40.7	1.4	Ring 4
-30.7	-30.8	28.0	55	55	55	-2.6	Ring 3
-40.3	-40.3	42.2	68	67	68	-1.3	Ring 3
-49.8	-49.8	56.9	79	79	79	-1.2	Ring 3
-60.0	-60.0	74.7	91	90	91	-0.7	Ring 3
-70.2	-70.3	94.9	103	102	103	0.2	Ring 3
-79.9	-80.0	113.6	113	112	113	0.1	Ring 3
-89.4	-89.5	134.0	123	122	123	0.5	Ring 3
-100.2	-100.3	162.9	136	135	136	2.3	Ring 3
0.1	n/a	n/a					

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 11.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_lite klasserom\_undertrykk\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_overtrykk\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	185 (+/- 9.7 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	1.07
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	3.43
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	0.89

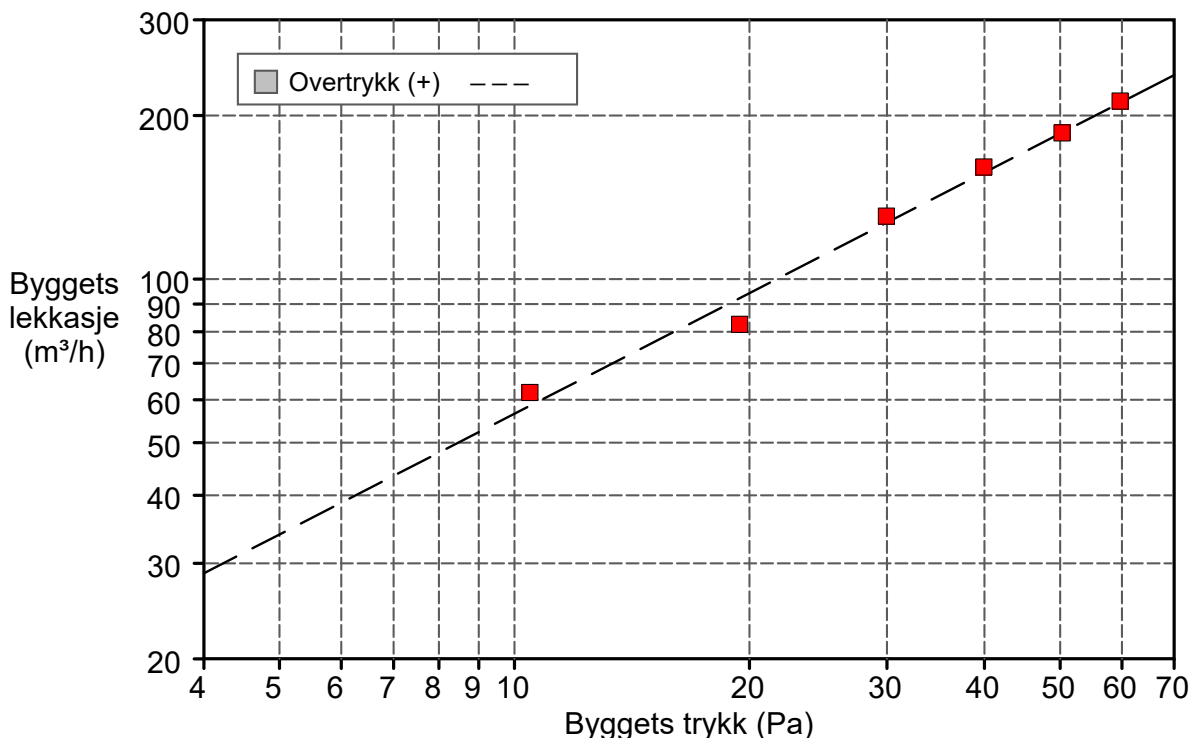
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0056 (+/- 9.7 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0001046
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000271

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 10.3 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 42.9 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 10.3 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 42.9 %)  
EkspONENT (n) = 0.738 (+/- 0.124)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.98552

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Overtrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_overtrykk\_040822

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	172.76
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	54.00
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	208.50
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeanmeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_overtrykk\_040822

**Overtrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Data for baseline**

Før test			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.2	0.1	-0.1	-0.8	0.3	-0.0

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.1							
10.4	10.5	-	62	62	62	5.7	
19.4	19.4	-	83	82	83	-10.6	
29.9	30.0	-	131	130	131	2.8	
39.9	39.9	-	161	160	161	2.4	
50.2	50.3	-	186	185	186	-0.2	
59.6	59.7	-	213	212	213	0.6	
-0.0							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_overtrykk\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_stort klasserom\_snitt\_040822

Testet av: Frode Dalsane

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

	Undertrykk	Overtrykk	Snitt
q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	172 (+/- 1.7 %)	186 (+/- 9.7 %)	179
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	1.00	1.08	1.04
qF <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	3.18	3.44	3.31
qE <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	0.82	0.89	0.86

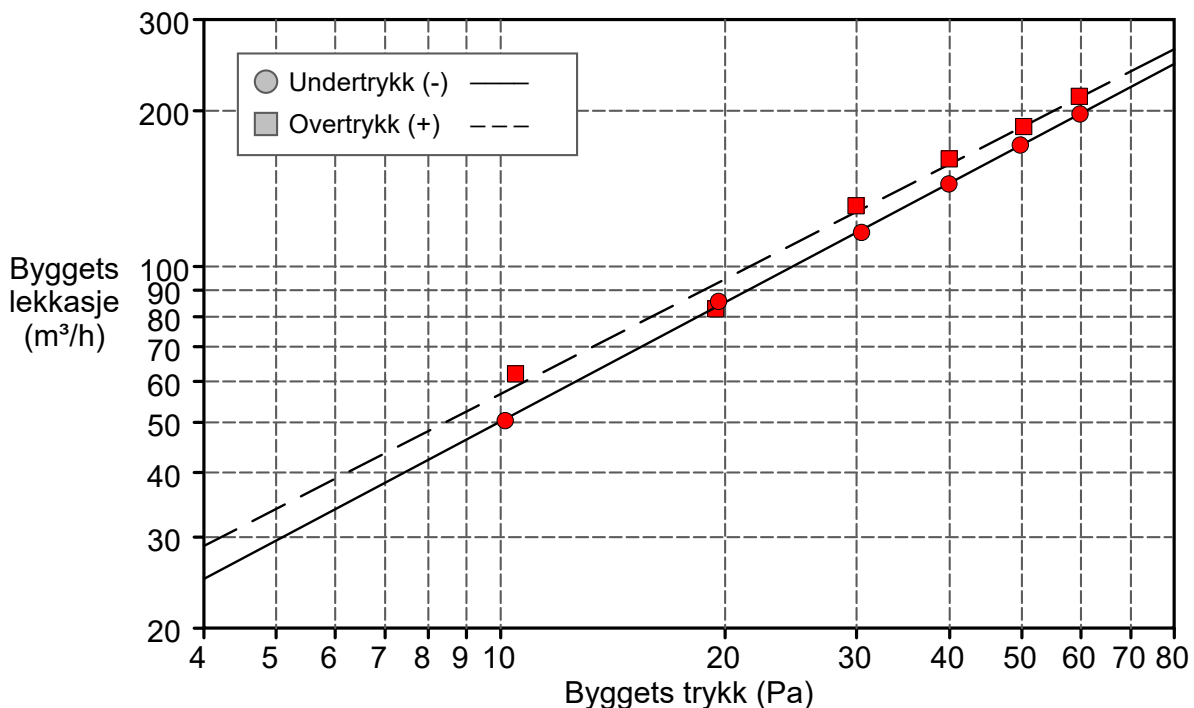
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0052 (+/- 9.7 %)	0.0057 (+/- 9.7 %)	0.0055
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000971	0.0001050	0.0001010
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000251	0.0000272	0.0000262

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C <sub>env</sub> ) m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )	8.6 (+/- 7.6 %)	10.4 (+/- 42.9 %)
Luftlekkasjekoeffisient (C <sub>L</sub> ) m <sup>3</sup> /(h·Pa <sup>n</sup> )	8.6 (+/- 7.6 %)	10.4 (+/- 42.9 %)
EkspONENT	0.765 (+/- 0.022)	0.738 (+/- 0.124)
Bestemmelseskoefisient (r <sup>2</sup> )	0.99957	0.98552

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Undertrykk og Overtrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:





**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 5**Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_stort klasserom\_snitt\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	172.76
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	54.00
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	208.50
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 5**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_stort klasserom\_snitt\_040822

**Undertrykkstest 1:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.3	0.4	0.2	-0.4	0.2	-0.1

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.2							
-10.1	-10.1	-	51	50	50	-0.7	
-19.5	-19.6	-	86	85	86	1.9	
-30.4	-30.5	-	117	116	116	-1.1	
-39.8	-39.9	-	145	144	144	-0.2	
-49.7	-49.8	-	172	171	172	0.2	
-59.7	-59.8	-	198	196	197	-0.1	
-0.1							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 4 of 5**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_stort klasserom\_snitt\_040822

**Overtrykkstest 1:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
20.0	20.0	101325.0

**Data for baseline**

Før test			Etter test		
$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.2	0.1	-0.1	-0.8	0.3	-0.0

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
-0.1							
10.4	10.5	-	62	62	62	5.7	
19.4	19.4	-	83	83	83	-10.6	
29.9	30.0	-	131	131	131	2.8	
39.9	39.9	-	161	161	161	2.4	
50.2	50.3	-	186	186	186	-0.2	
59.6	59.7	-	213	213	213	0.6	
-0.0							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_stort klasserom\_snitt\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

Rommets mål oppmålt på stedet.

---



Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_040822

Testet av: Frode Dalsaune

Prosjektnummer:

Kunde: Rise and Fire Research

Bygningens adresse: Testbygg  
Tillerbruveien 202  
7092 Tiller

Telefon:

Fax:

**Testresultat ved 50 Pascal:**

q <sub>50</sub> : m <sup>3</sup> /h (Luftmengde)	172 (+/- 1.7 %)
n <sub>50</sub> : 1/h (Luftskifteverdi)	1.00
q <sub>F50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Gulvareal)	3.18
q <sub>E50</sub> : m <sup>3</sup> /(h·m <sup>2</sup> Overflateareal)	0.82

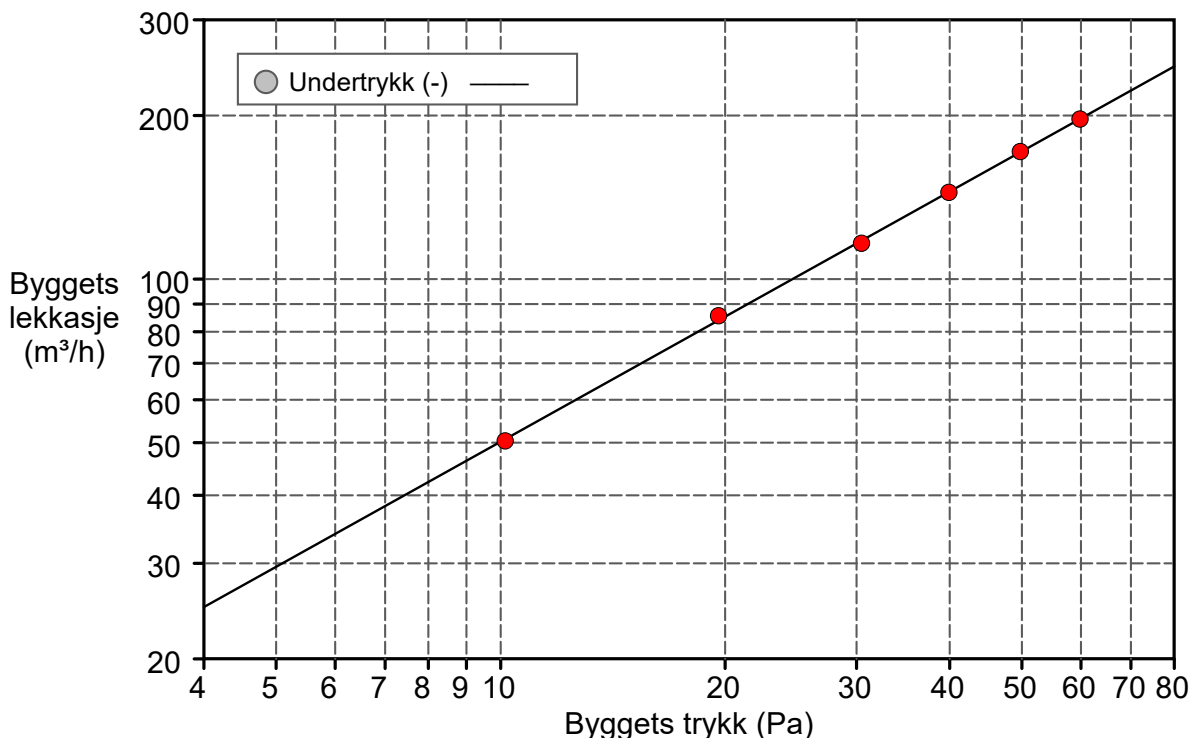
**Lekkasjeareal:**

ELA <sub>50</sub> : m <sup>2</sup>	0.0052 (+/- 1.7 %)
ELA <sub>F50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000971
ELA <sub>E50</sub> : m <sup>2</sup> /m <sup>2</sup>	0.0000251

**Bygningens lekkasjekurve:**

Luftmengdekoefisient (C<sub>env</sub>) = 8.6 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 7.6 %)  
Luftlekkasjekoeffisient (C<sub>L</sub>) = 8.6 m<sup>3</sup>/(h·Pa<sup>n</sup>) (+/- 7.6 %)  
Eksponent (n) = 0.765 (+/- 0.022)  
Bestemmelseskoefisient (r<sup>2</sup>) = 0.99957

Teststandard: ISO 9972  
Testmetode: Undertrykk  
Testmetode: Metode 3 - Test av bygning for spesielt behov  
Formålet med testen:



**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 2 of 4**Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_040822

---

**Informasjon om bygget**

<b>Internt volum, V (m<sup>3</sup>) (I henhold til ISO)</b>	172.76
<b>Netto gulareal, A<sub>F</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	54.00
<b>Areal av klimaskallet, A<sub>E</sub> (m<sup>2</sup>) (I henhold til ISO)</b>	208.50
<b>Høyde (m)</b>	
<b>Usikkerhet ved målingen (%)</b>	5
<b>Byggeommeldt år</b>	
<b>Type oppvarming</b>	
<b>Type klimaanlegg</b>	
<b>Type ventilasjon</b>	Ingen
<b>Bygningen er utsatt for vind</b>	Delvis utsatt bygning
<b>Vindstyrke</b>	Lett vind

**Opplysninger om utstyret**

<b>Type</b>	<b>Produsent</b>	<b>Modell</b>	<b>Serienummer</b>	<b>Kalibreringsdato</b>
<b>Vifte</b>	Energy Conservatory	Duct Blaster B		-

**TEST AV BYGNINGERS TETTHET Side 3 of 4**

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_040822

**Undertrykkstest:**

**Klimadata**

Innetemperatur (°C)	Utetemperatur (°C)	Barometertrykk (Pa)
16.0	16.0	101325.0

**Før test**

**Data for baseline**

**Etter test**

$\Delta p_{0,1-}$	$\Delta p_{0,1+}$	$\Delta p_{0,1}$	$\Delta p_{0,2-}$	$\Delta p_{0,2+}$	$\Delta p_{0,2}$
-0.3	0.4	0.2	-0.4	0.2	-0.1

**Data - TECLOG er valgt brukt - Automatisk test**

Nominelt bygnings trykk (Pa)	Baseline justert bygningstrykk (Pa)	Vifte trykk (Pa)	Nominell luftmengde $q_r$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_{env}$ (m <sup>3</sup> /h)	Juster mengde $q_L$ (m <sup>3</sup> /h)	% Feil	Vifte konfigurasjon
0.2							
-10.1	-10.1	-	51	50	50	-0.7	
-19.5	-19.6	-	86	85	86	1.9	
-30.4	-30.5	-	117	116	116	-1.1	
-39.8	-39.9	-	145	144	144	-0.2	
-49.7	-49.8	-	172	171	172	0.2	
-59.7	-59.8	-	198	196	197	-0.1	
-0.1							

**Avvik fra standard ISO 9972 - Testparametere**

- Avstand mellom bygningstrykkene er mer enn 10 Pa.

Testdato: 04.08.2022 Testfil: BD\_RF\_Mock up\_Stort klasserom\_040822

---

**Kommentarer**

Ventilasjon avblendet med spjeld, samt teipet på ventiler.

Viftesystem montert i dørkarm.

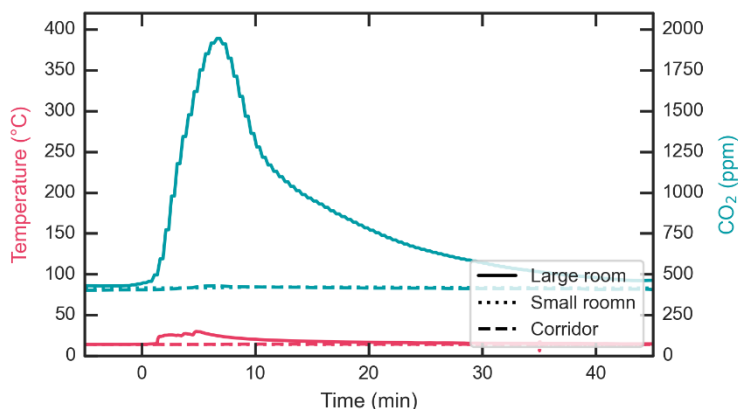
Rommets mål oppmålt på stedet.

---

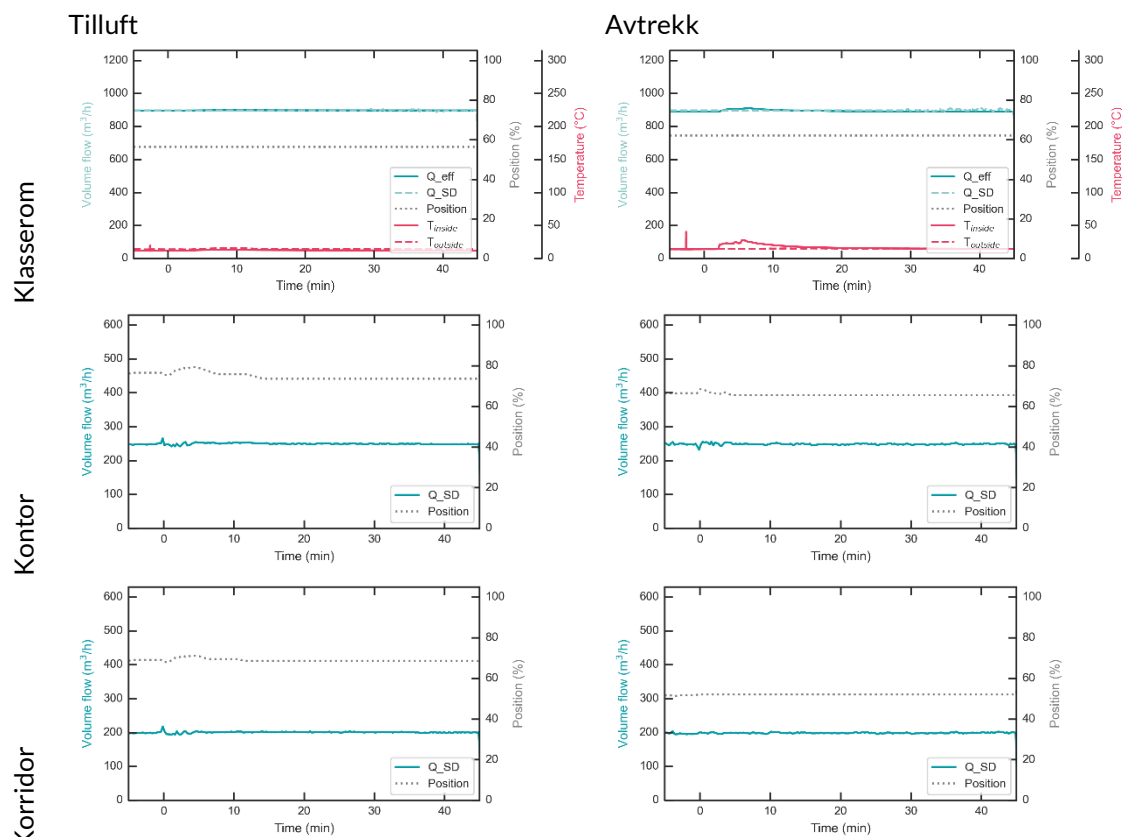


# Vedlegg B - Utfyllende testdata

## Test 2



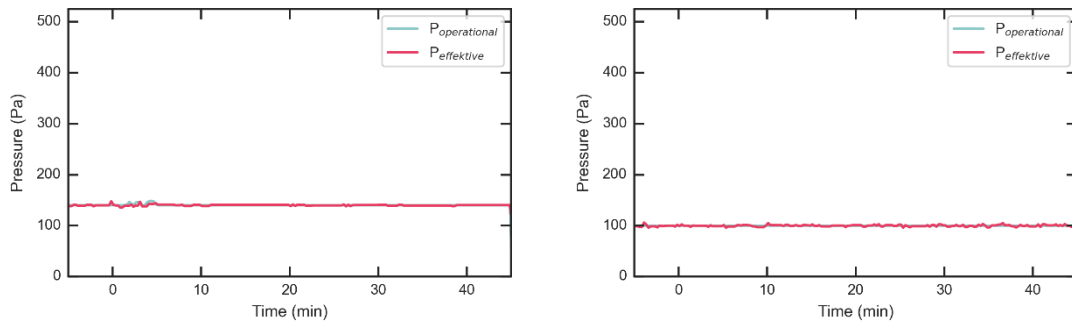
**Figur B - 1:** Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 2. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.



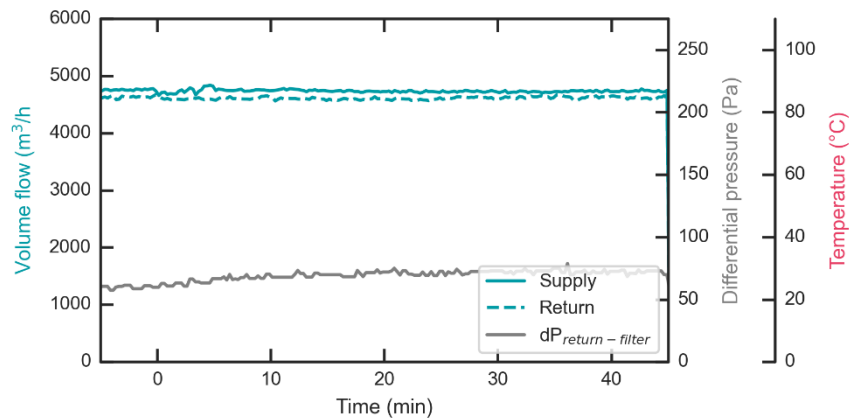
**Figur B - 2:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 2. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober (Q<sub>eff</sub>) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q<sub>eff</sub> viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.

Tilluft

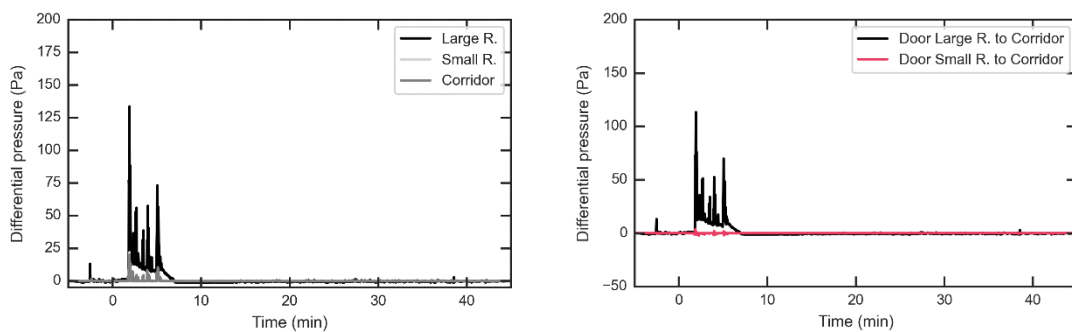
Avtrekk



**Figur B - 3:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 2.

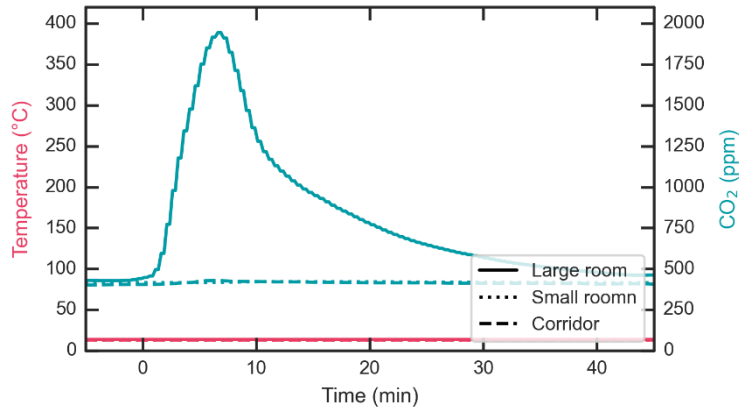


**Figur B - 4:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 2.

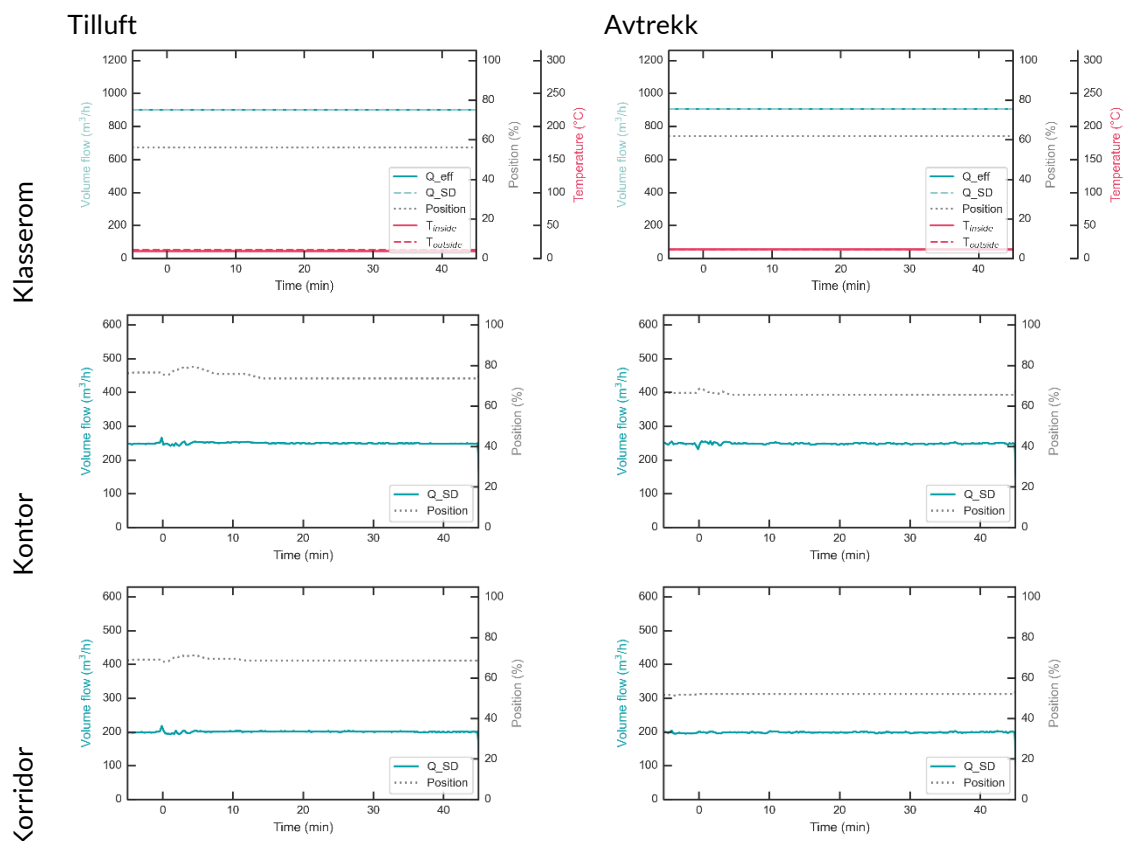


**Figur B - 5:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 2.

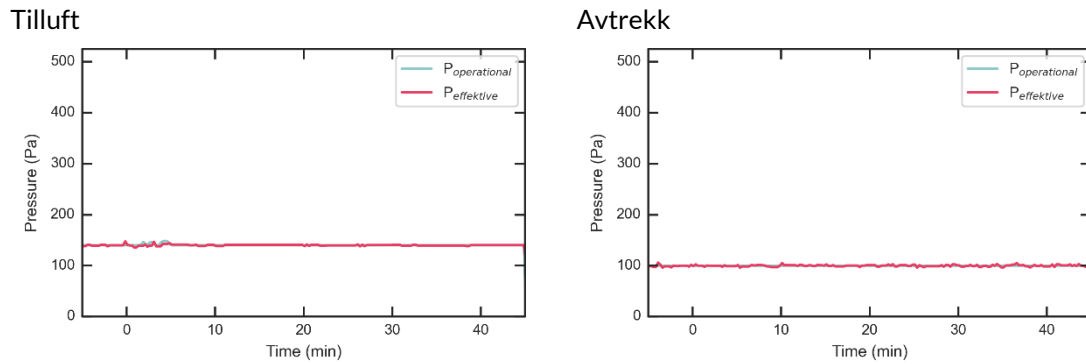
## Test 3



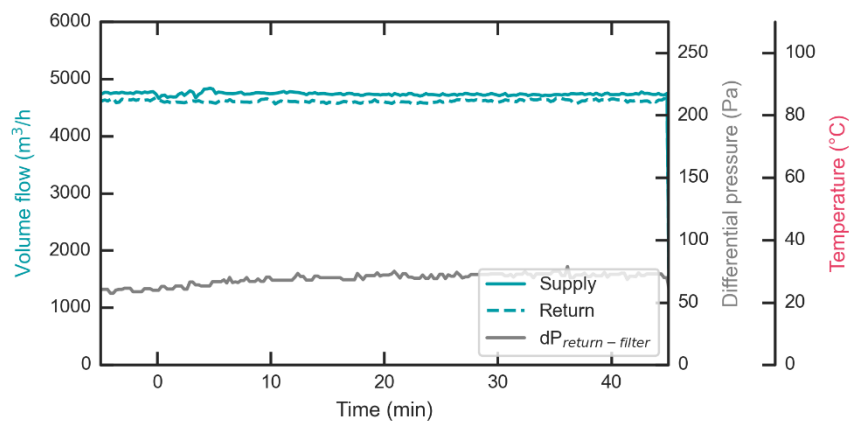
**Figur B - 6:** Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 3. Målinger i klasserommet er vist er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2000 ppm.



**Figur B - 7:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 3. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober (Q\_eff) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q\_eff viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.

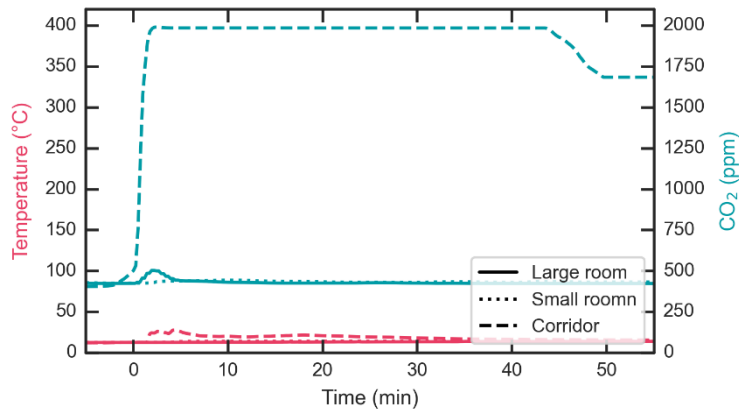


**Figur B - 8:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 3.

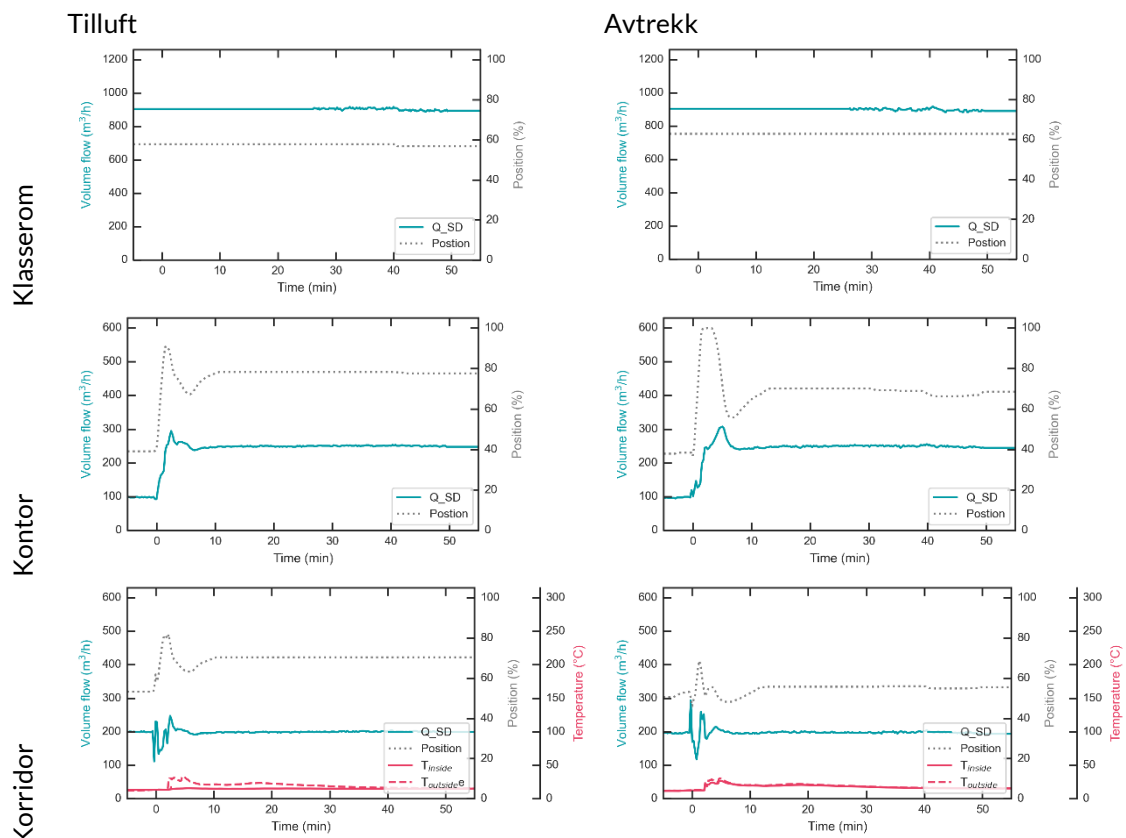


**Figur B - 9:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 3.

## Test 5

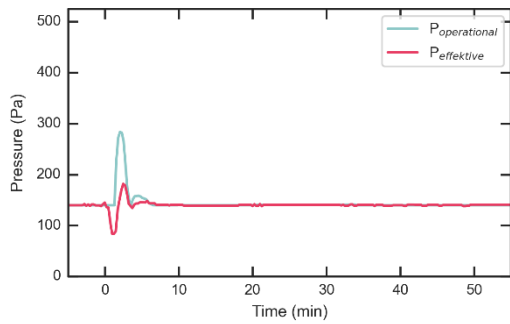


Figur B - 10: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 5. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.

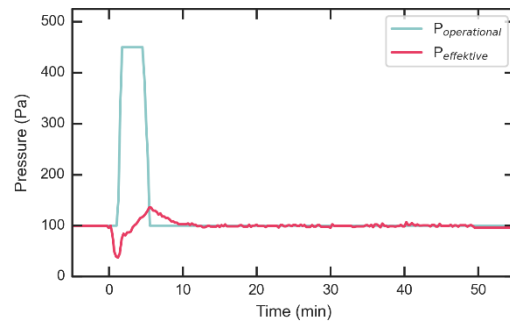


Figur B - 11: Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 5. For spjeldene til og fra brannrommet vises også temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q<sub>eff</sub> viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.

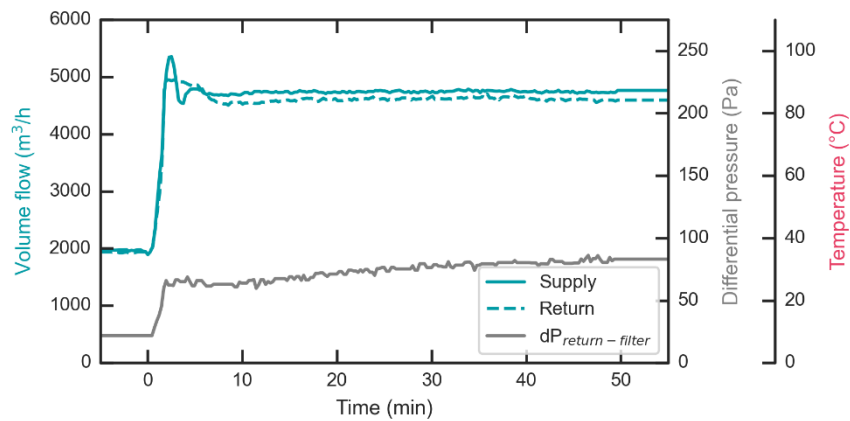
Tilluft



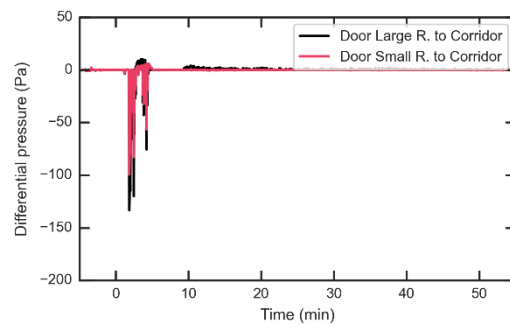
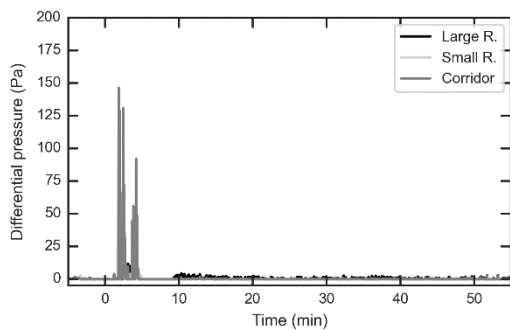
Avtrekk



**Figur B - 12:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 5.

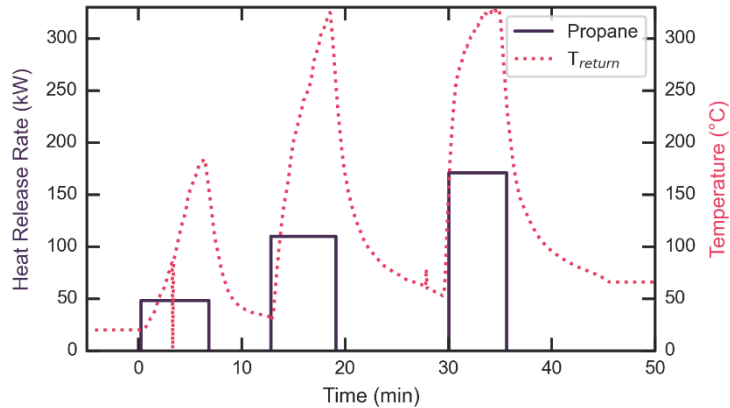


**Figur B - 13:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 5.

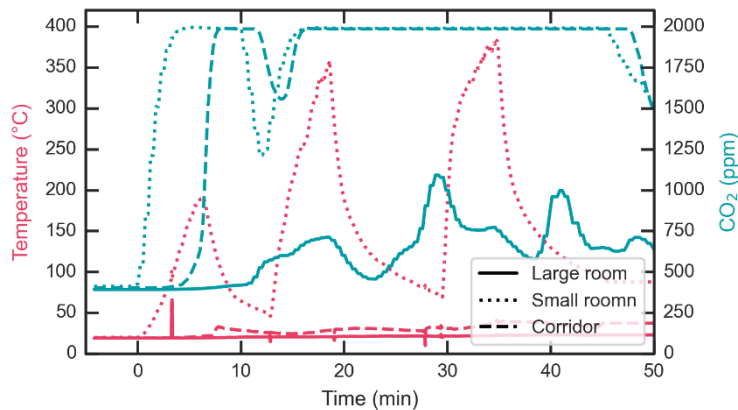


**Figur B - 14:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 5.

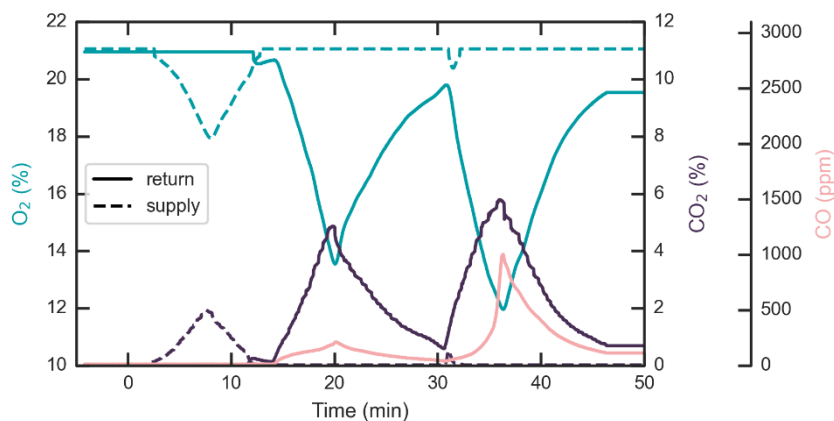
## Test 7



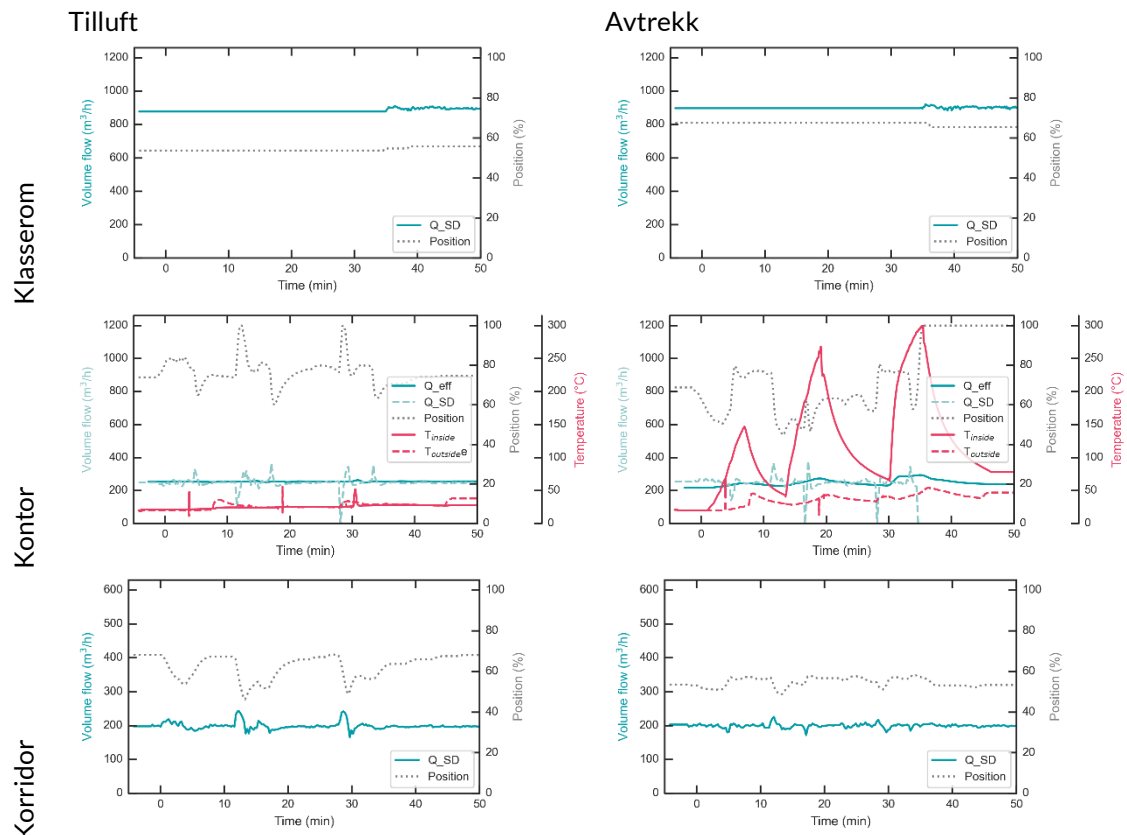
Figur B - 15: Brannens nominelle varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 7.



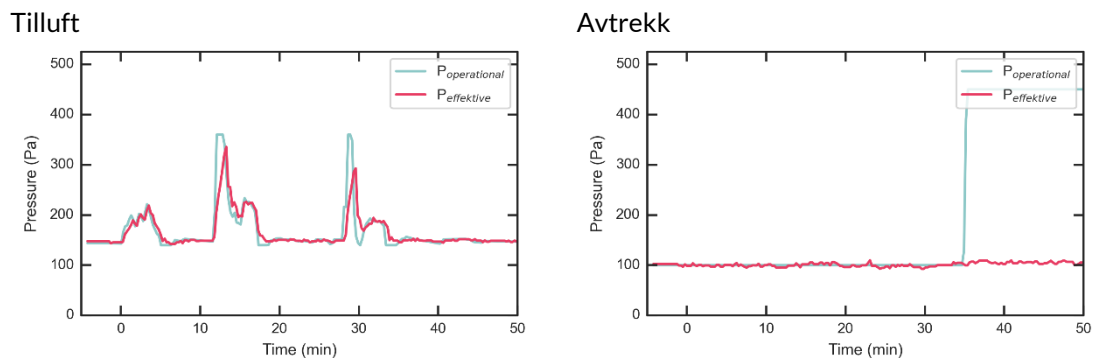
Figur B - 16: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 7. Målinger i klasserommet er vist er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.



Figur B - 17: Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 7. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.

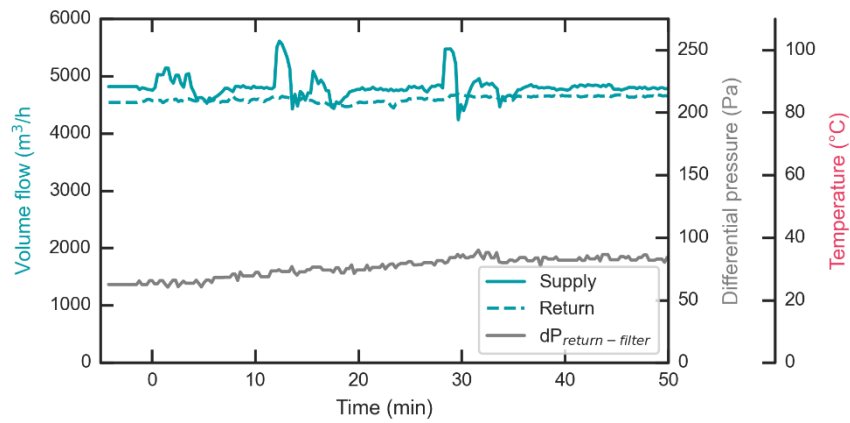


**Figur B – 18:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 7. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober ( $Q_{eff}$ ) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene.  $Q_{eff}$  viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.

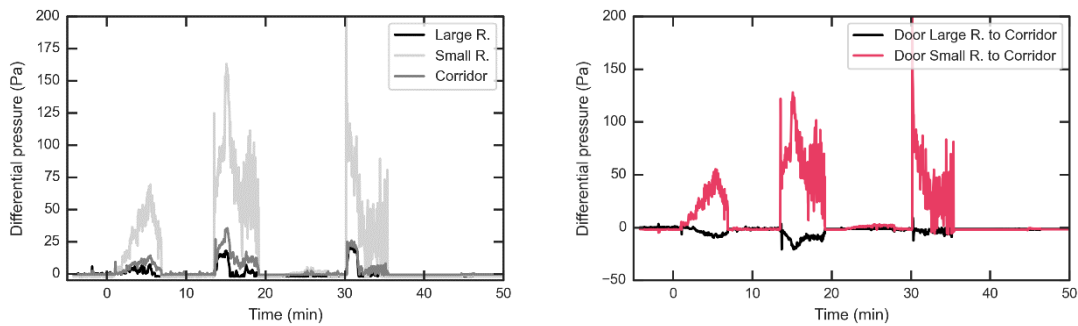


**Figur B – 19:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 7.



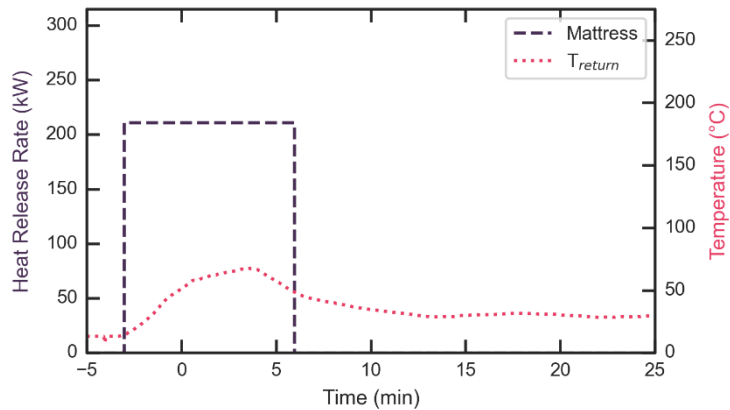


**Figur B - 20:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 7.

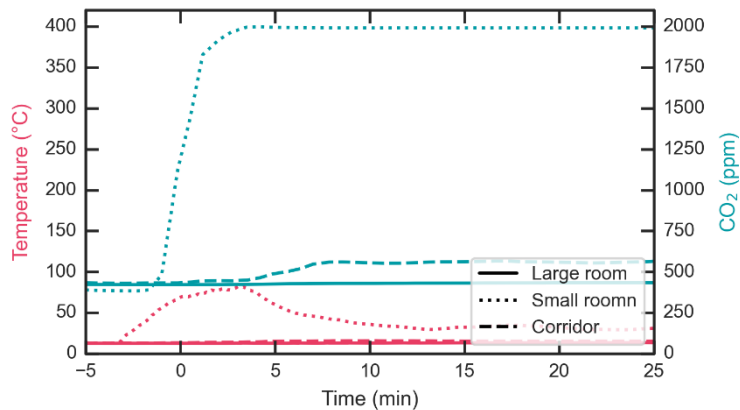


**Figur B - 21:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 7.

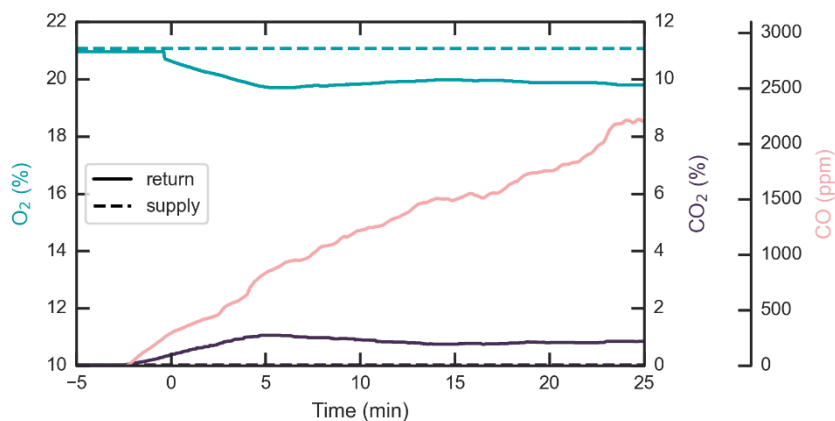
## Test 8



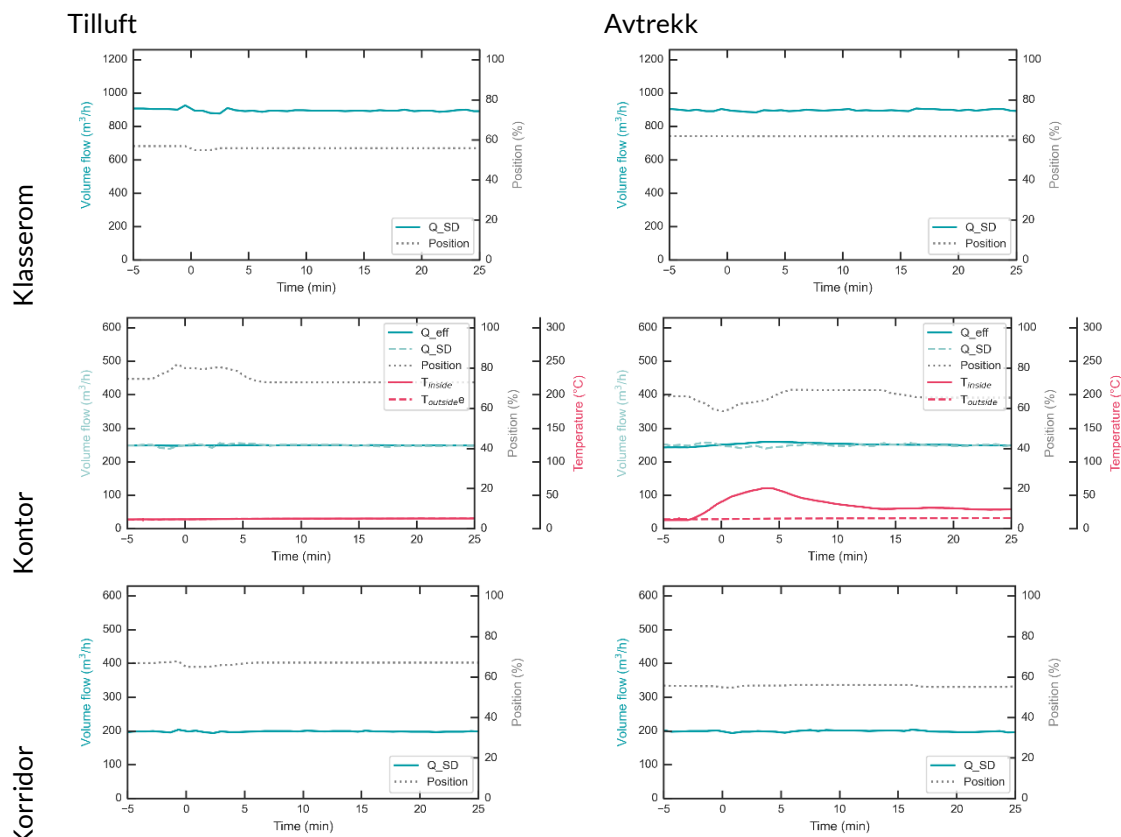
Figur B - 22: Brannens nominelle varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 8.



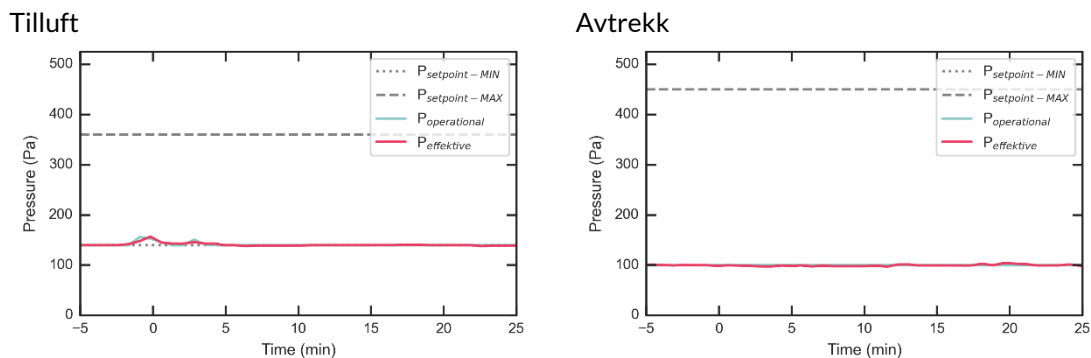
Figur B - 23: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 8. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.



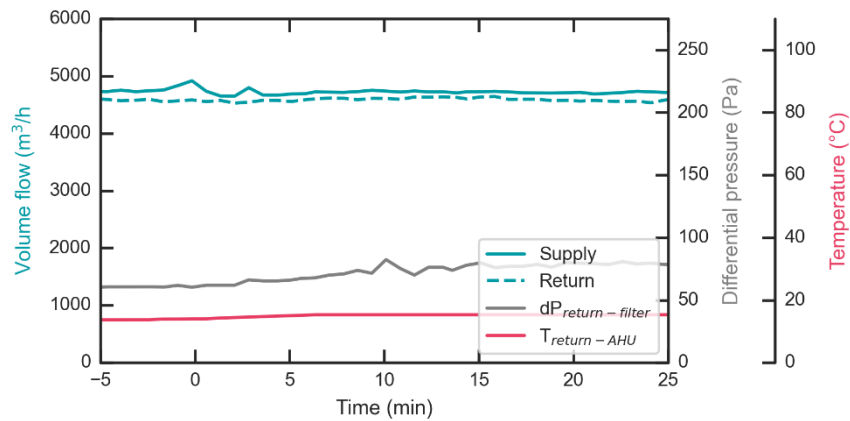
Figur B - 24: Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 8. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.



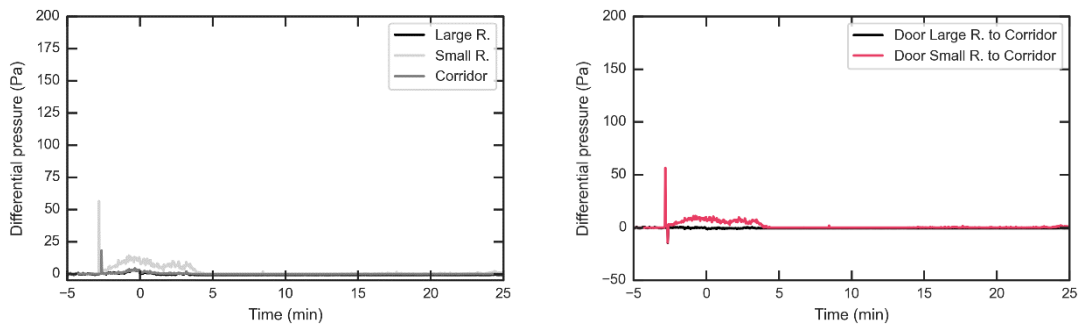
**Figur B – 25:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 8. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober (Q<sub>eff</sub>) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q<sub>eff</sub> viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.



**Figur B – 26:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 8.

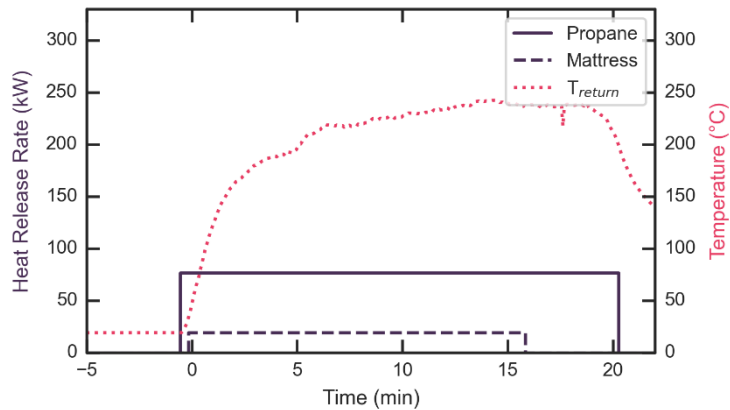


**Figur B - 27:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 8.

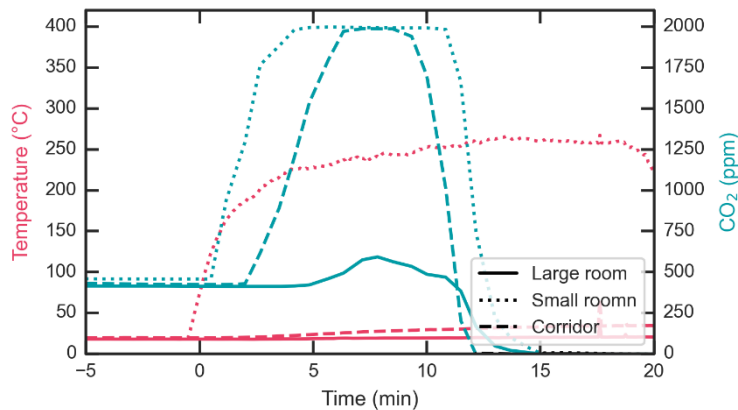


**Figur B - 28:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 8.

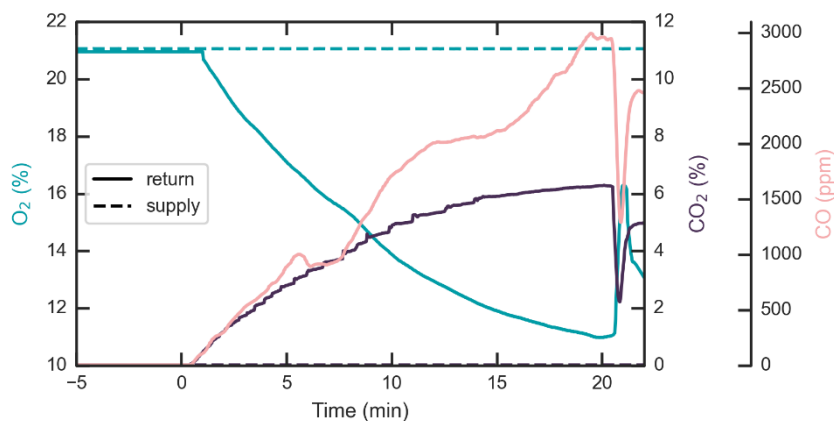
## Test 10



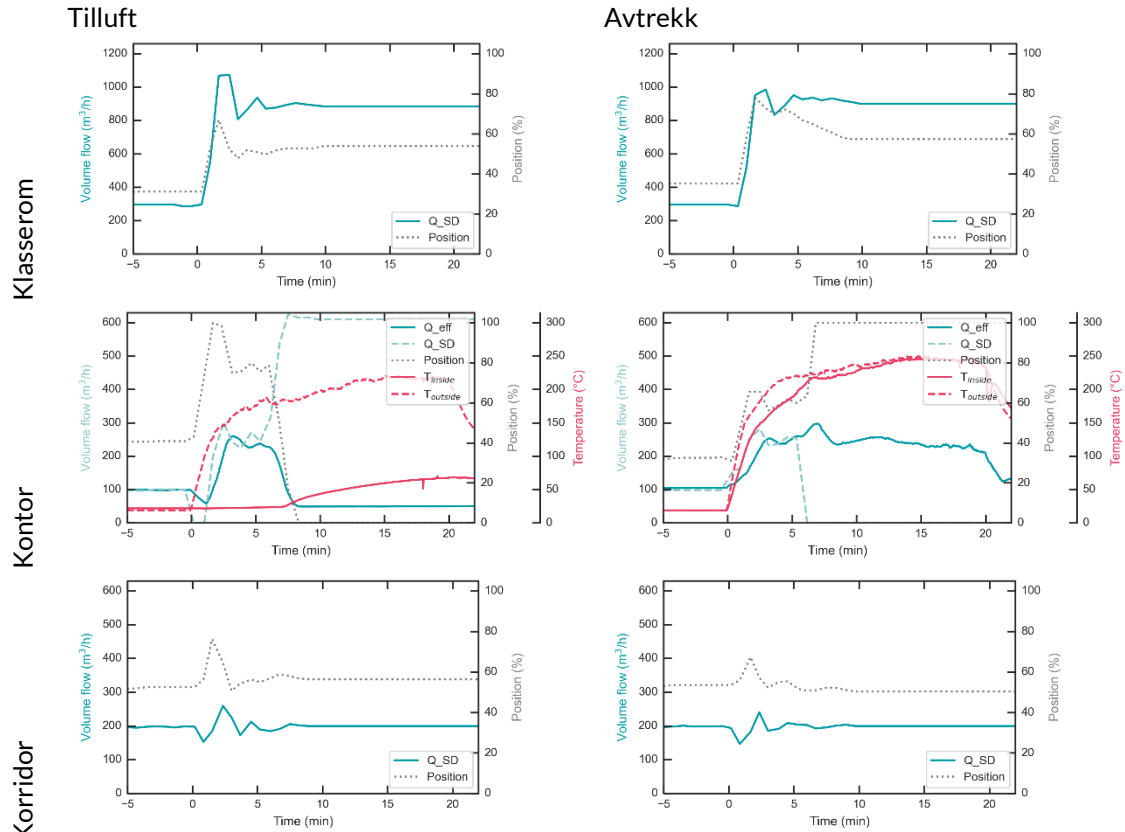
Figur B - 29: Brannens nominelle varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 10.



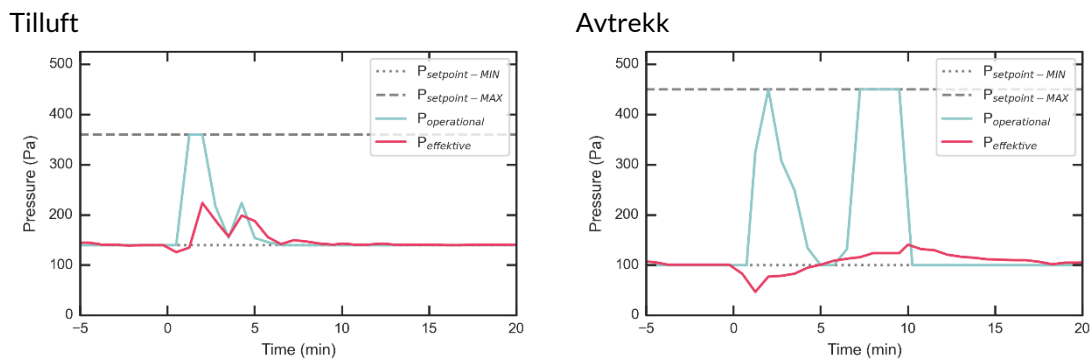
Figur B - 30: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 10. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.



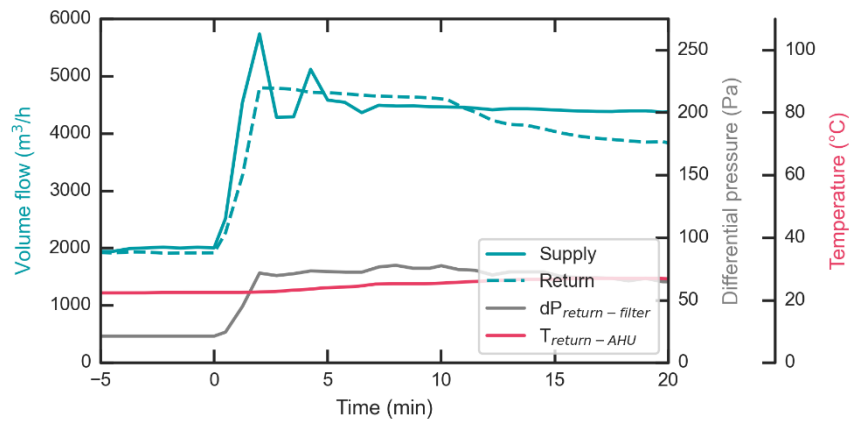
Figur B - 31: Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 10. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.



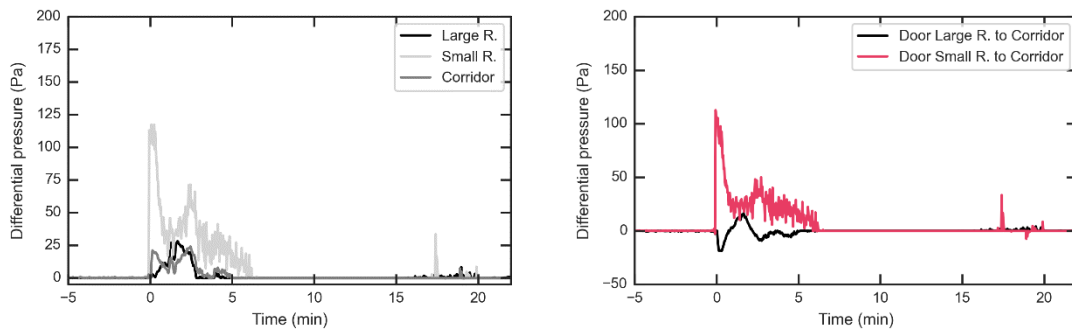
**Figur B – 32:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 10. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober ( $Q_{eff}$ ) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene.  $Q_{eff}$  viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.



**Figur B – 33:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 10.

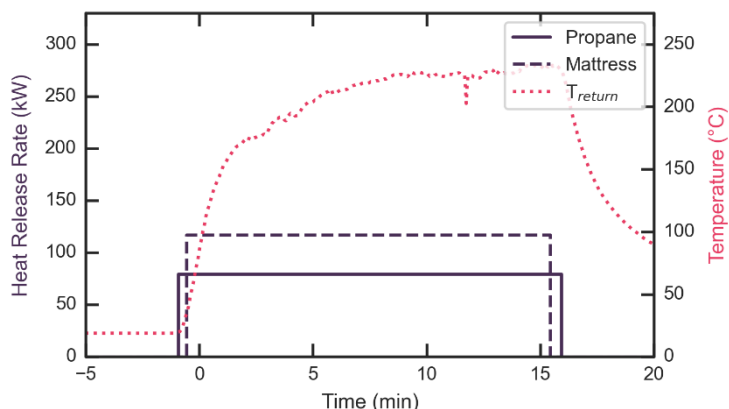


**Figur B - 34:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 10.

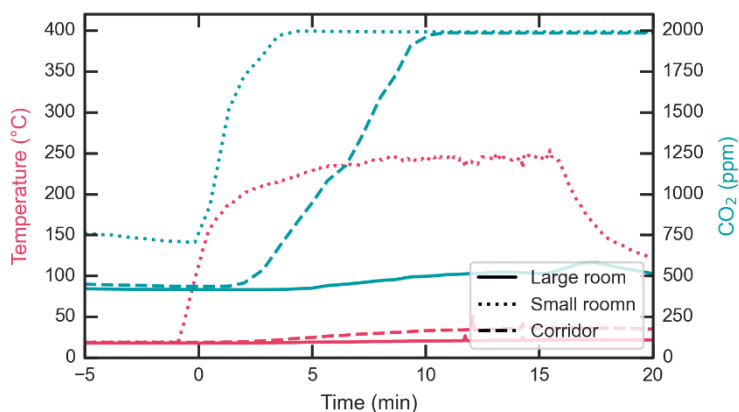


**Figur B - 35:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 10.

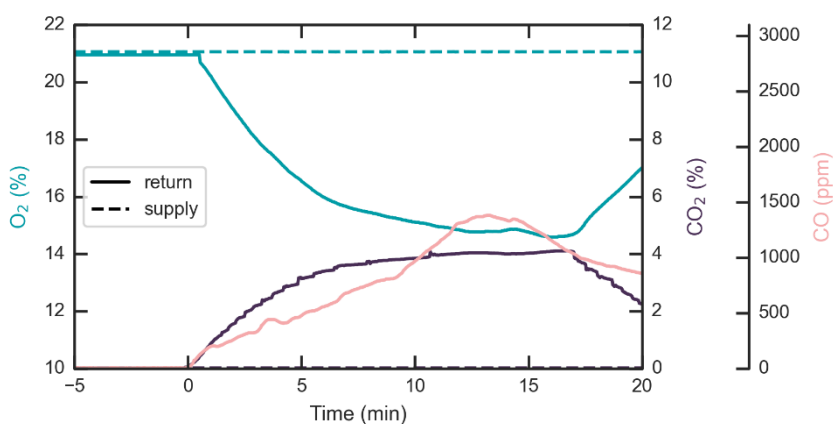
## Test 11



Figur B - 36: Brannens nominelle varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 11.

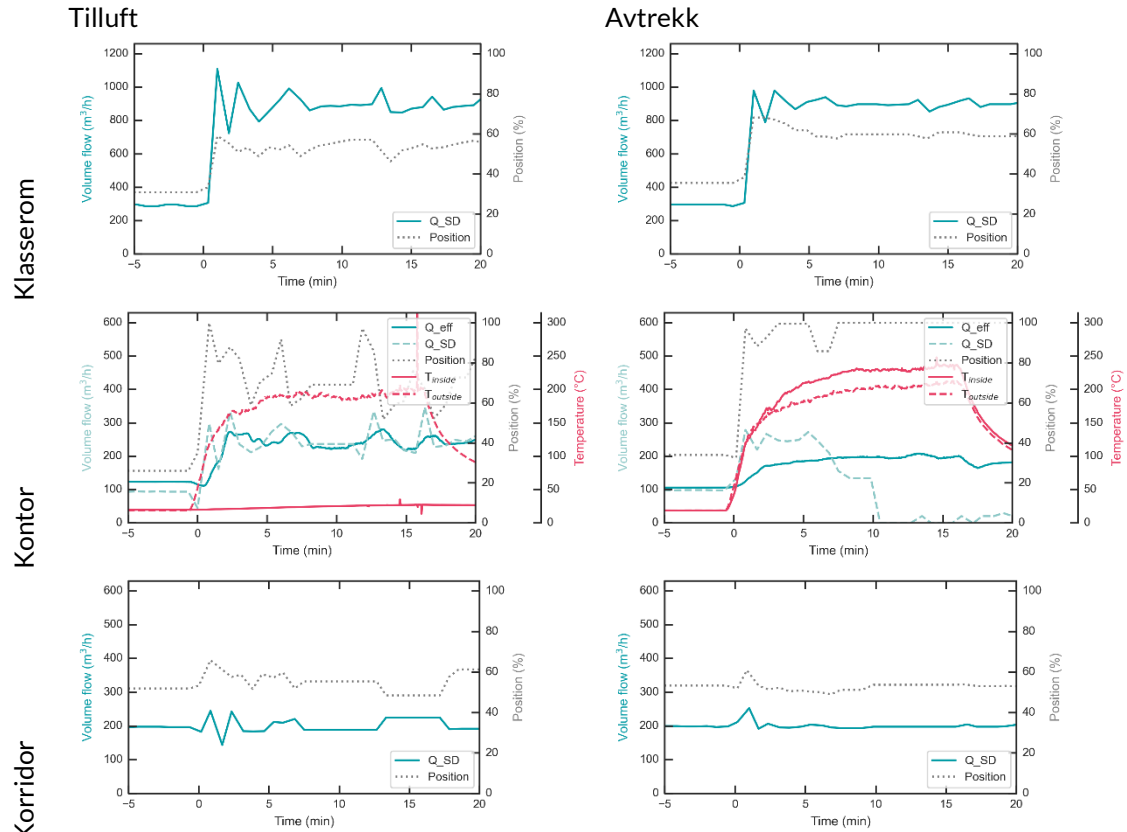


Figur B - 37: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 11. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.

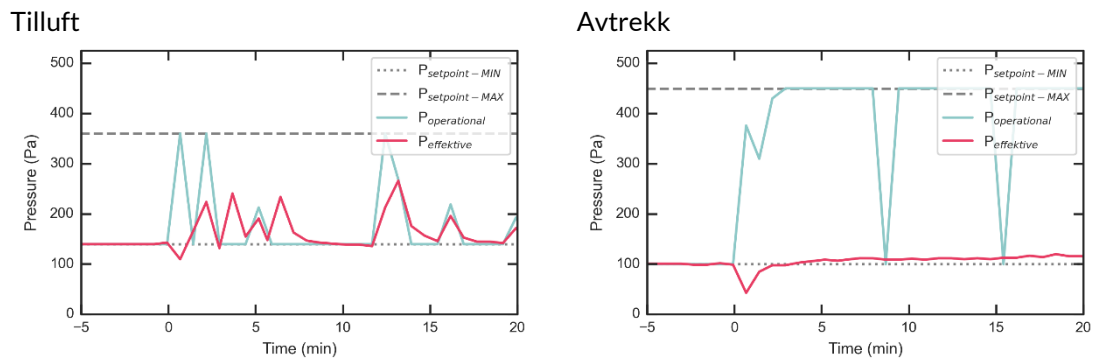


Figur B - 38: Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 11. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.

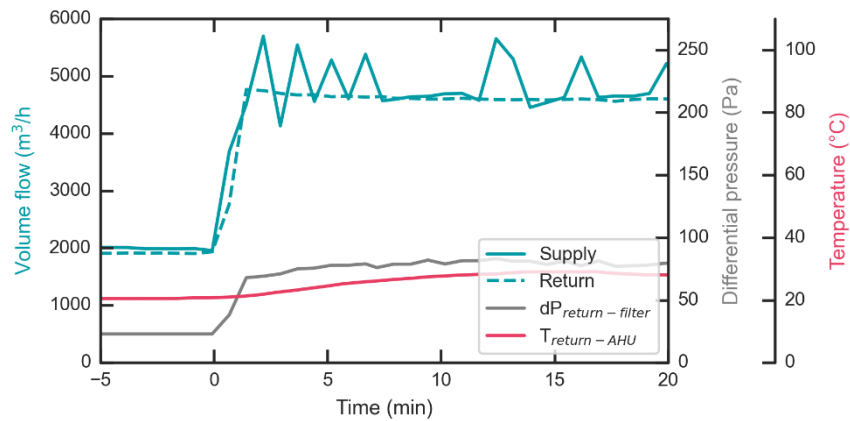




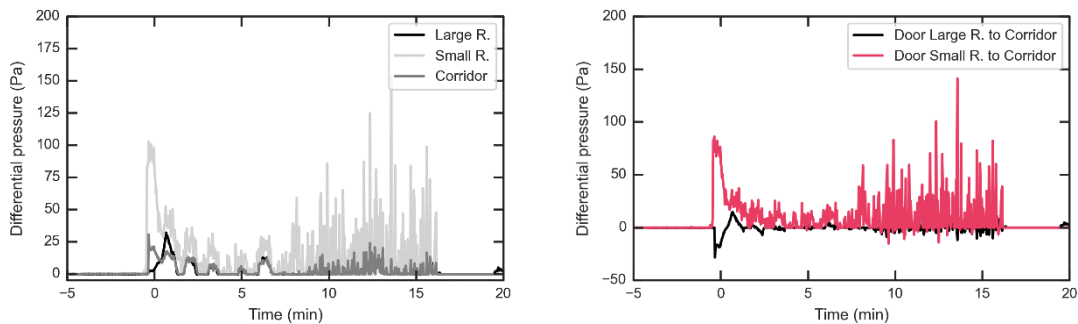
Figur B – 39: Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 11. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober (Q<sub>eff</sub>) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q<sub>eff</sub> viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.



Figur B – 40: Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 11.

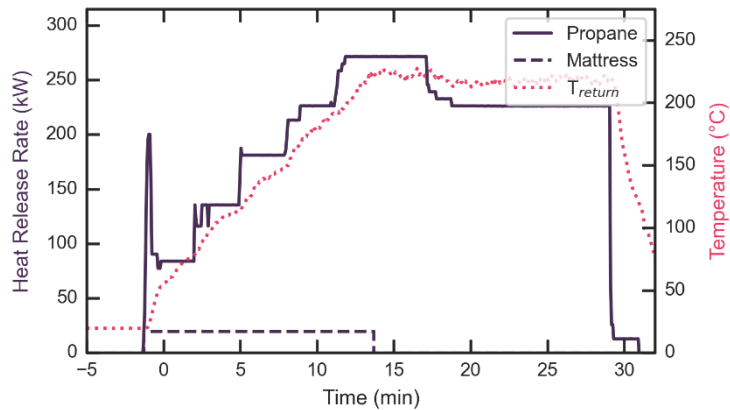


**Figur B - 41:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 11.

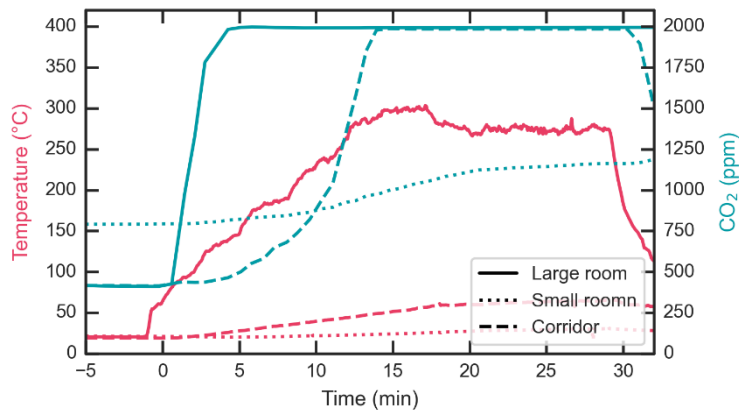


**Figur B - 42:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 11.

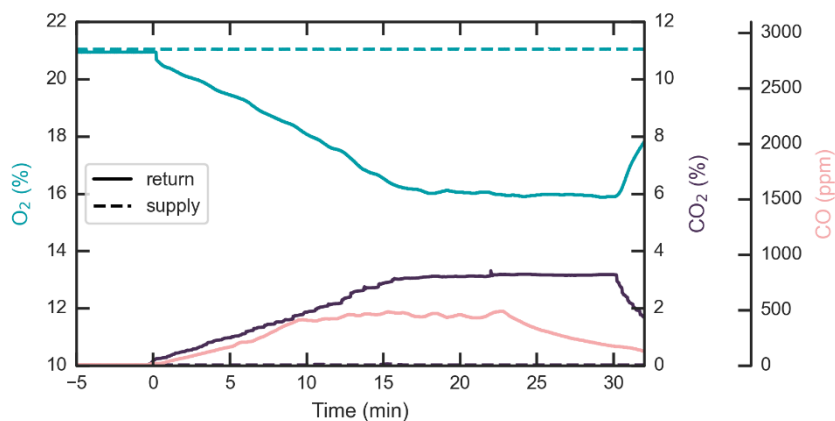
## Test 12



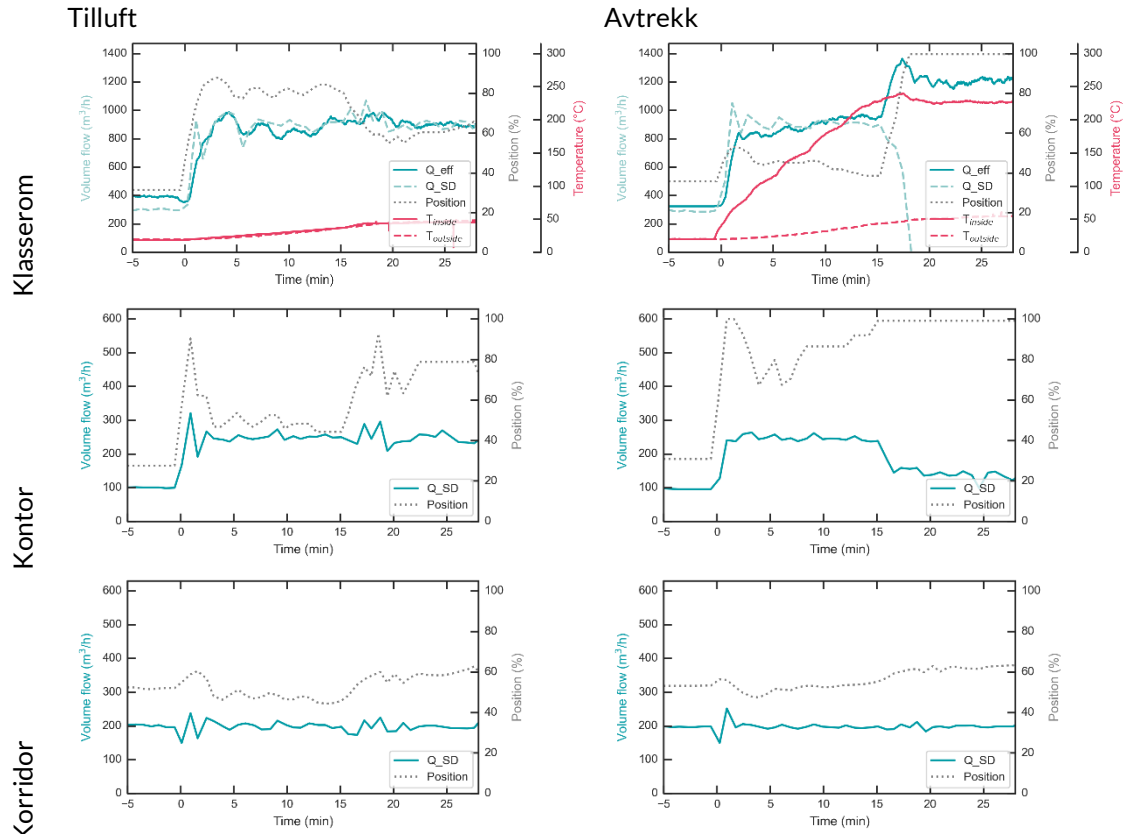
Figur B - 43: Brannens varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 12.



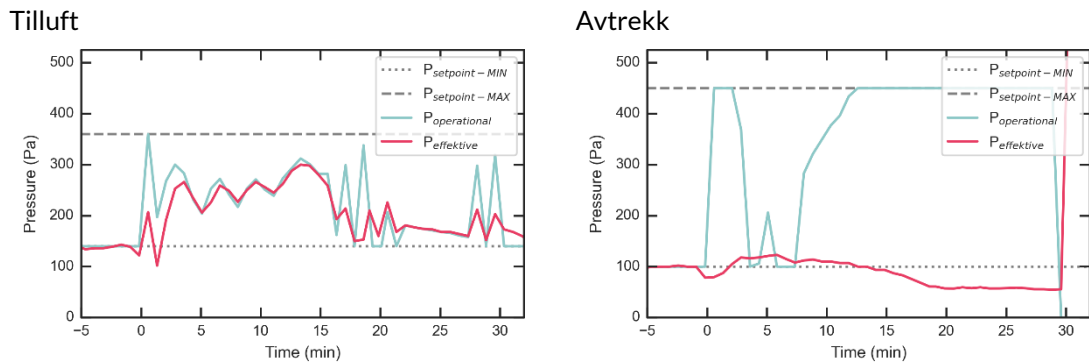
Figur B - 44: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 12. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.



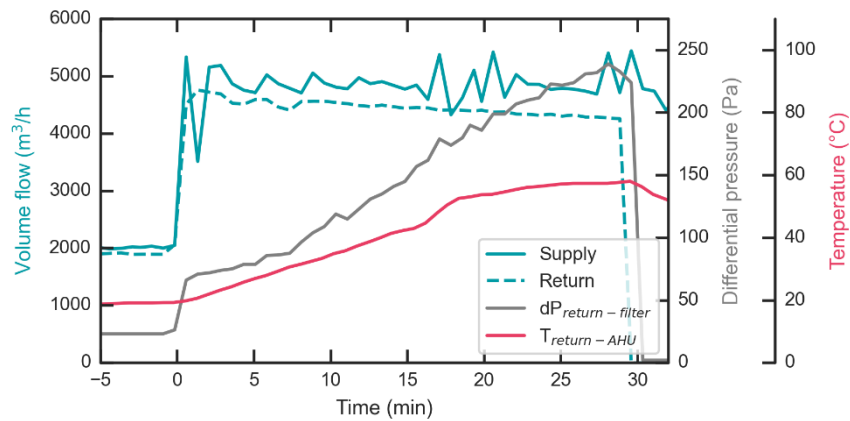
Figur B - 45: Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 12. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.



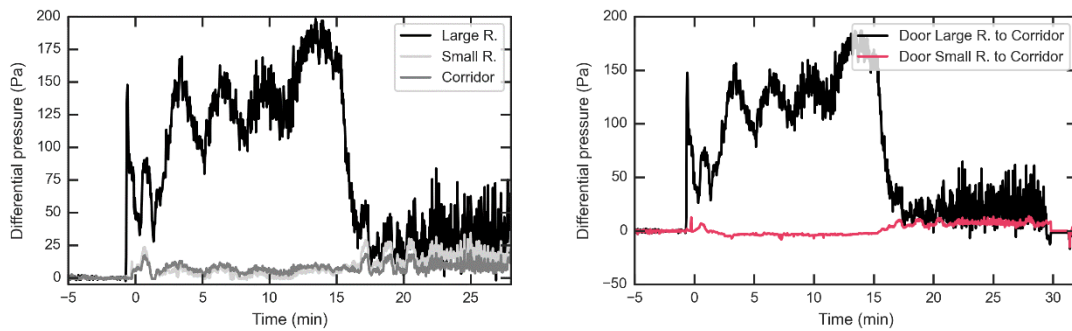
**Figur B – 46:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 12. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober (Q\_eff) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q\_eff viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.



**Figur B – 47:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 12.

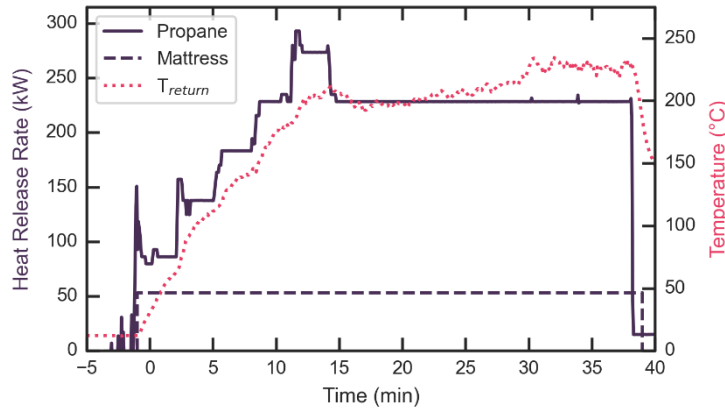


**Figur B - 48:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 12.

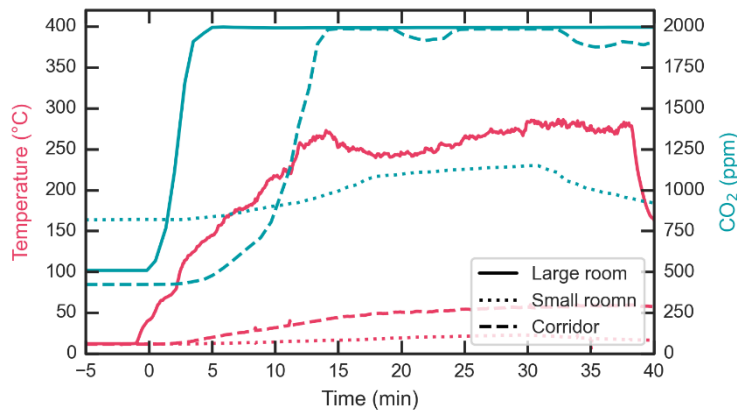


**Figur B - 49:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 12.

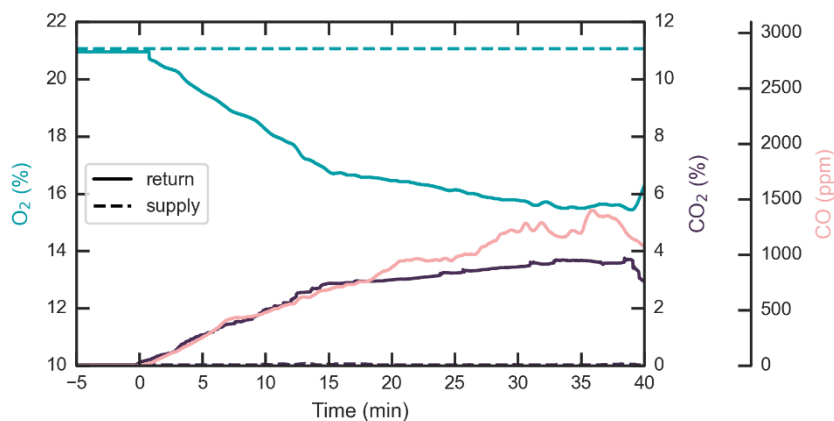
## Test 13



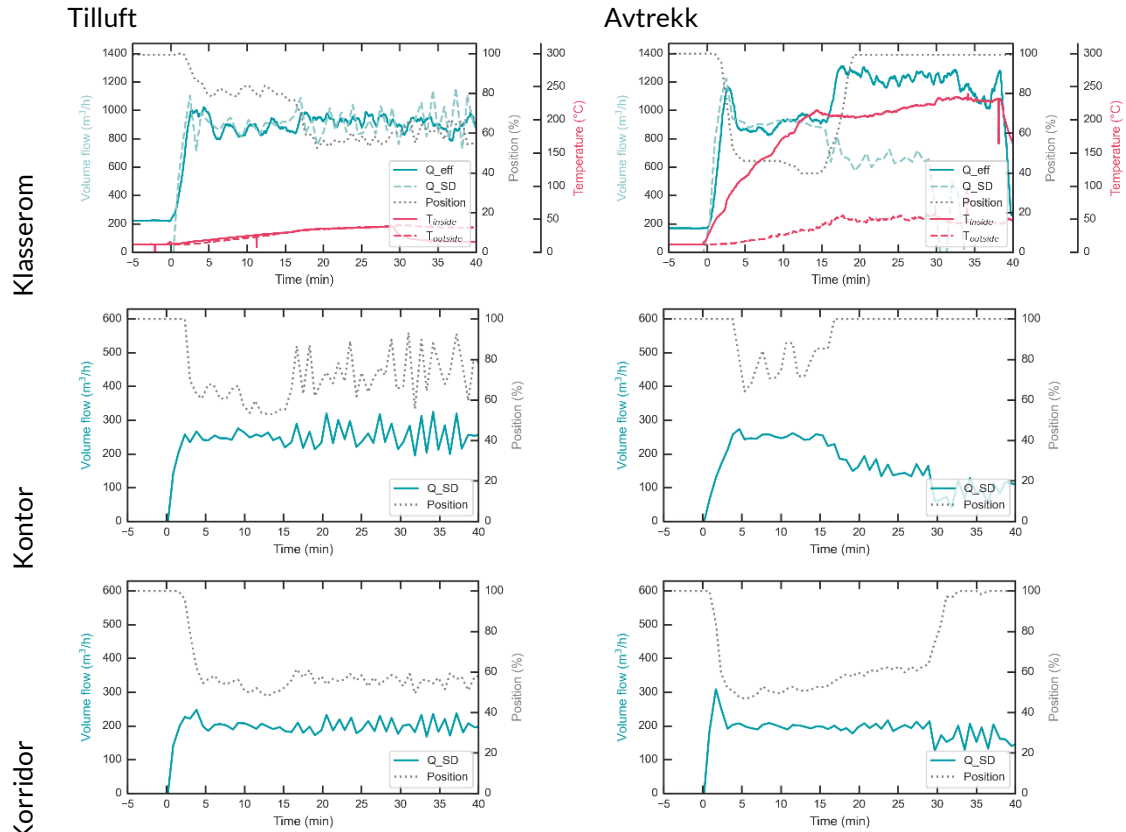
Figur B - 50: Brannens varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 13.



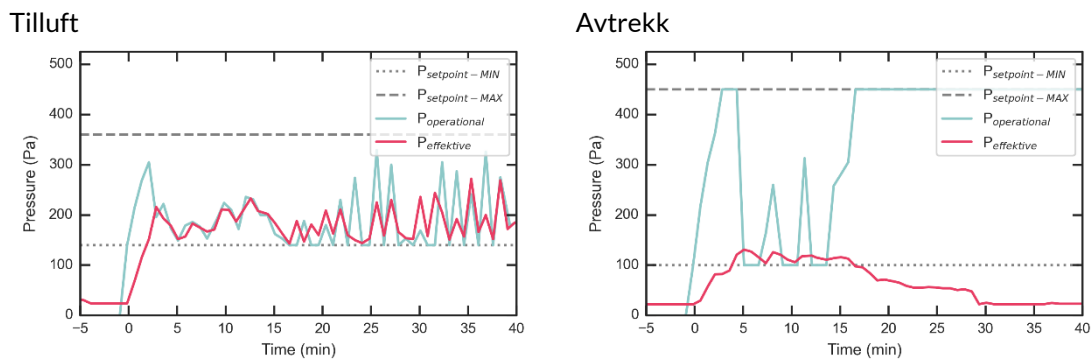
Figur B - 51: Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 13. Målinger i klasserommet er vist er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.



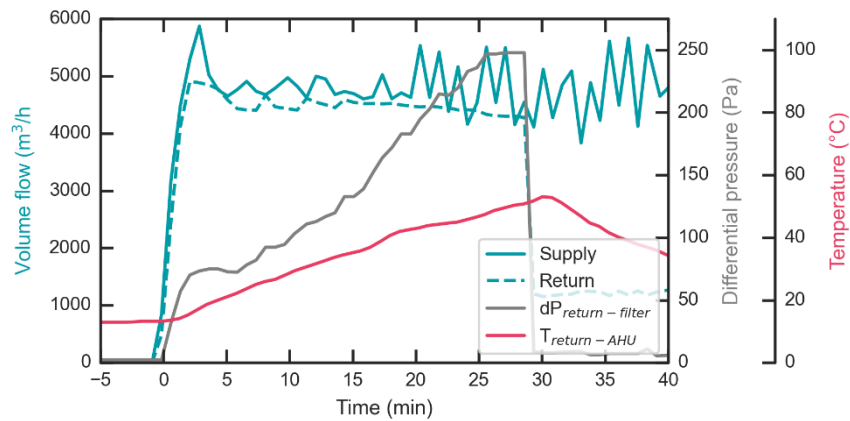
Figur B - 52: Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 13. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.



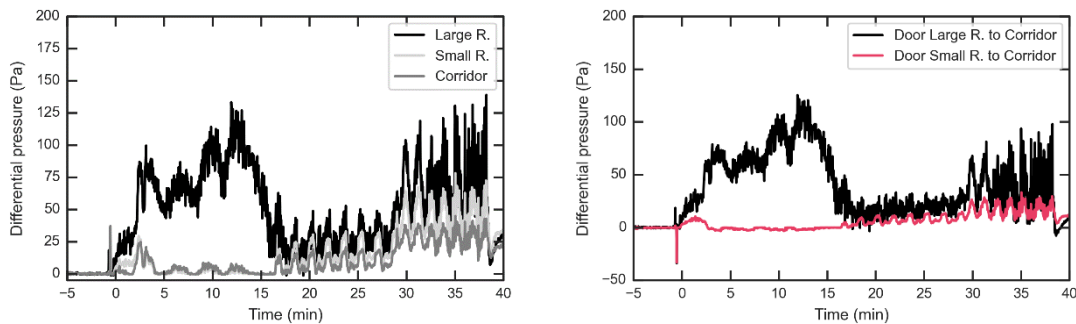
**Figur B – 53:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 13. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober (Q\_eff) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene. Q\_eff viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.



**Figur B – 54:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 13.

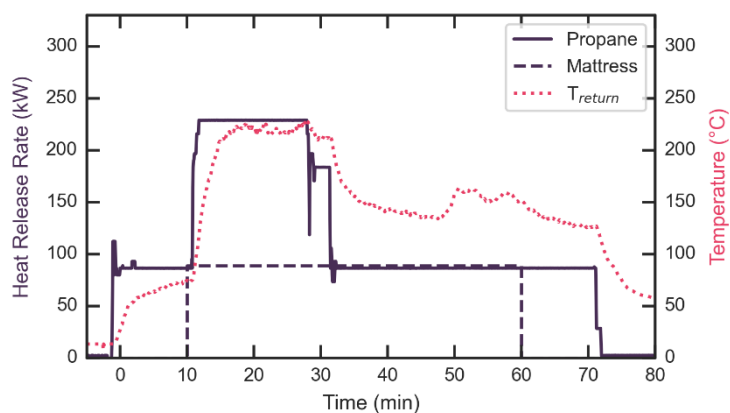


**Figur B - 55:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 13.



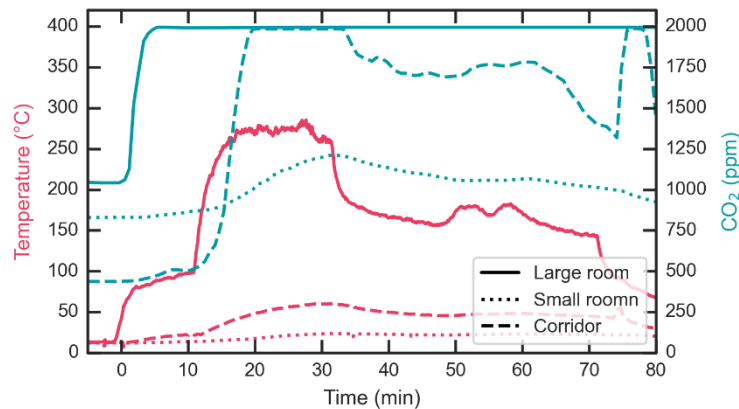
**Figur B - 56:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 13.

## Test 14

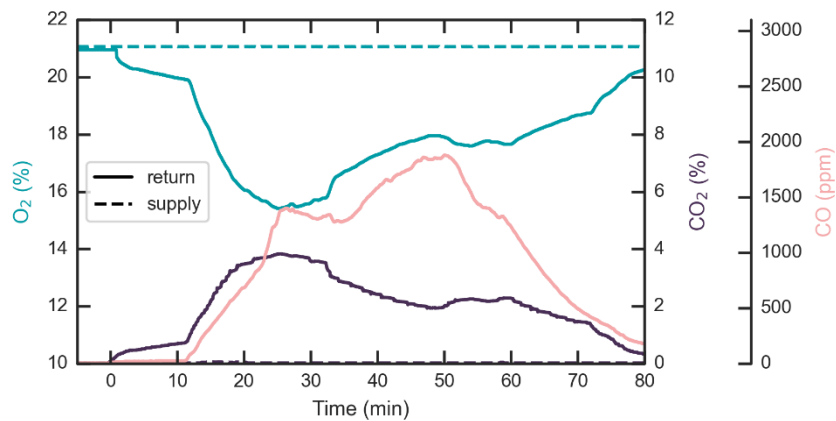


**Figur B - 57:** Brannens varmeavgivelseshastighet (Heat Release Rate, HRR) i svart og temperatur i brannrommets avtrekksspjeld i rødt for test 14.

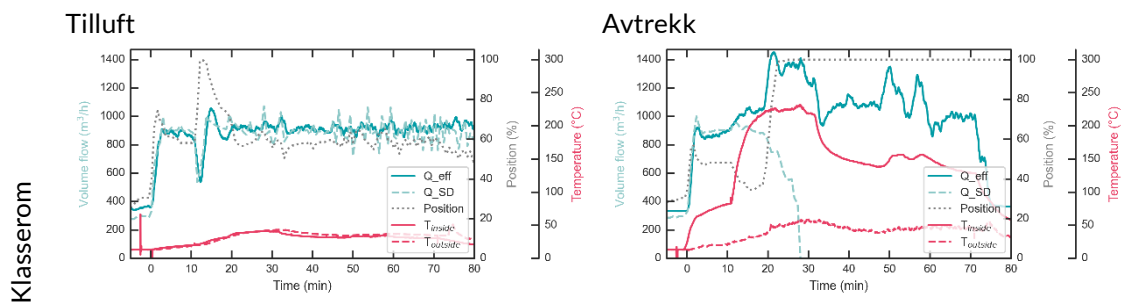


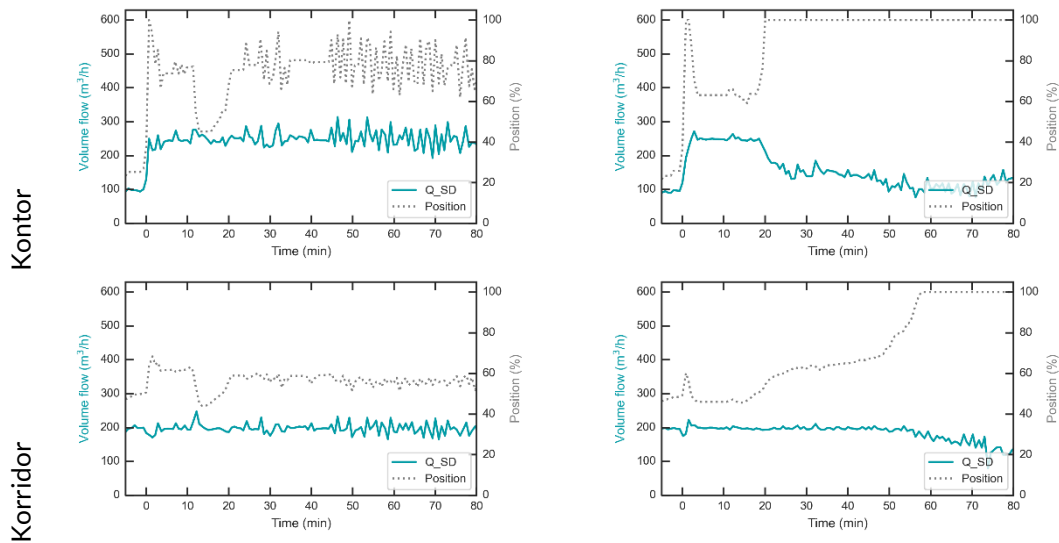


**Figur B - 58:** Konsentrasjon av CO<sub>2</sub> målt av romsensorene (turkis) og romtemperatur målt 10 cm under taket (rødt) for test 14. Målinger i klasserommet er vist med heltrukne linjer, målinger i kontoret er vist med prikkete linjer og målinger i korridoren er vist med stiplede linjer. CO<sub>2</sub>-sensorene går i metning ved 2 000 ppm.

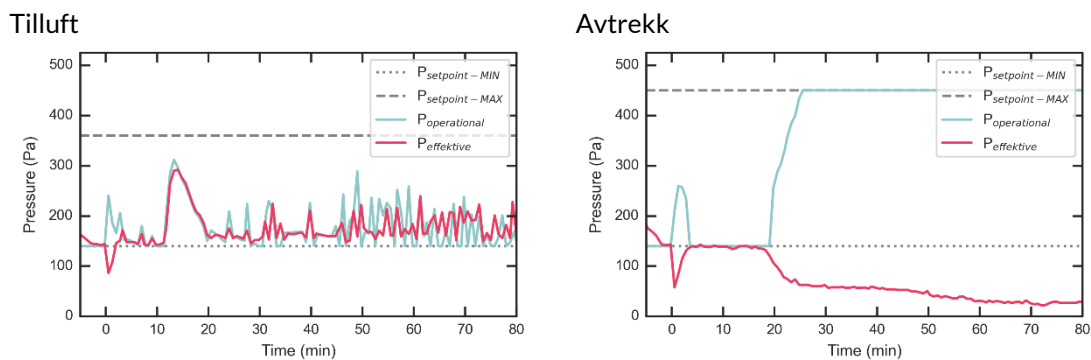


**Figur B - 59:** Konsentrasjon av O<sub>2</sub> (turkis), CO<sub>2</sub> (svart) og CO (rødt) målt i brannrommets tillufts- og avtrekkskanal for test 14. Heltrukket linje viser konsentrasjonen i avtrekkskanalen og stiplet linje viser konsentrasjonen i tilluftskanalen.

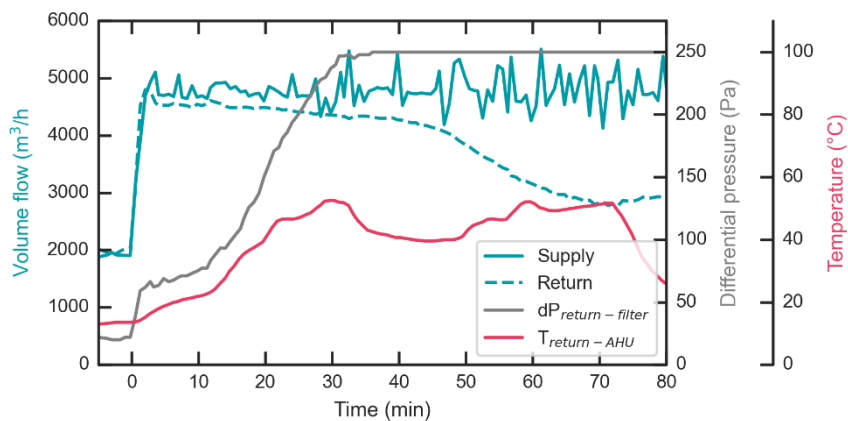




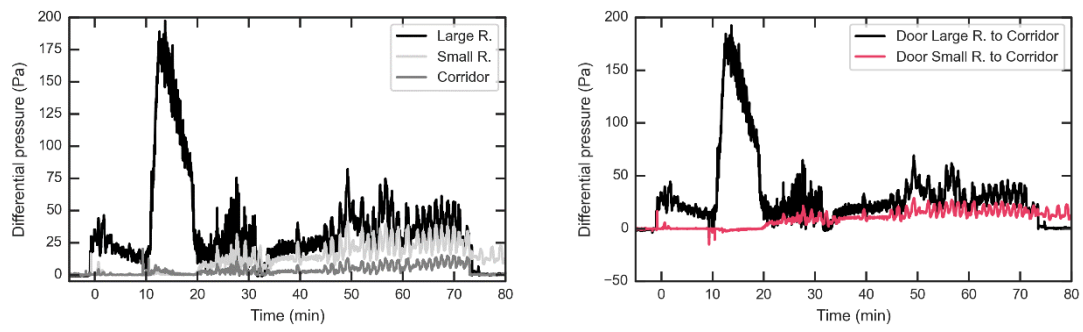
**Figur B - 60:** Luftmengde (turkis) og spjeldposisjon (grå) målt i spjeldene for test 14. For spjeldene til og fra brannrommet vises også luftmengde målt med bidireksjonale prober ( $Q_{eff}$ ) og temperatur på innsiden (heltrukket) og utsiden (stiplet) av spjeldene.  $Q_{eff}$  viser et løpende gjennomsnitt over to minutter.



**Figur B - 61:** Arbeidstrykk i aggregatet på tilluftssiden (venstre) og avtrekksiden (høyre) for test 14.



**Figur B - 62:** Luftmengder (turkis) til og fra aggregatet, trykktap (grå) over luftfilteret i avtrekket og temperatur (rødt) i avtrekket oppstrøms av aggregatet for test 14.

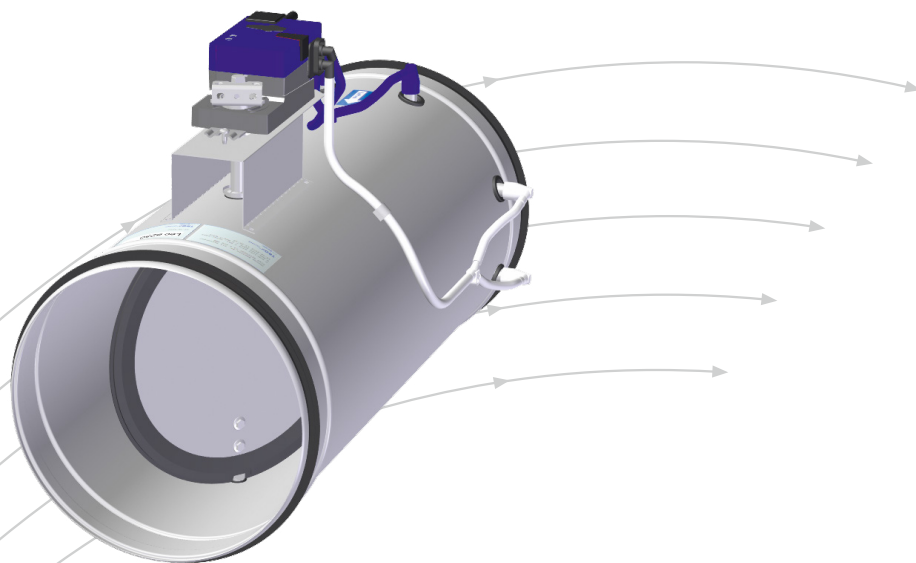


**Figur B - 63:** Trykkdifferansen mellom rommene og omgivelsestrykk utenfor bygget (venstre) og trykkdifferansen over innvendige dører, altså trykk i rommet minus trykket i korridoren (høyre) for test 14.

## Vedlegg C - Datablad DCV-spjeld

# Leo

## VAV-regulator



- Ny regulator med større måleområde
- Støysvak
- Trykkuavhengig
- Kort byggelengde
- Høy målenøyaktighet
- Kan monteres direkte i bend
- Fleksibelt lyddempervalg

**TROX<sup>®</sup> TECHNIK**

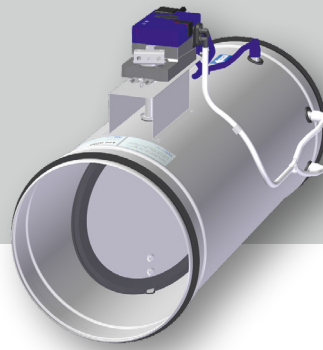
**Auranor**

TROX Auranor Norge AS

Telefon +47 61 31 35 00

Auranorvegen 6  
2770 Jaren

e-post: [Offise-no@troxgroup.com](mailto:Offise-no@troxgroup.com)  
[www.trox.no](http://www.trox.no)



## ANVENDELSE

Leo er en volumregulator som fungerer uavhengig av kanaltrykket, det er ønsket luftmengde ved struport spjeld som bestemmer nødvendig kanaltrykk for aktuell enhet /streng. VAV-enheten baserer seg på dynamisk måling av luftmengde, og regulerer spjeldstillingen slik at ønsket luftmengde opprettholdes. Når det skjer en endring i kanaltrykket, for eksempel ved at andre volumregulatorer på grenen åpner eller stenger, vil volumregulatoren kompensere ved å justere på spjeldet inntil ønsket mengde igjen er oppnådd. Ønsket luftmengde blir eksempelvis gitt som et 0-10V signal fra romtermostat / CO2 føler i den oppholdssonen enheten betjener.

Innstilling av ønsket minimum og maksimum luftmengder kan gjøres på fabrikk, eller etter montasje, ved hjelp av serviceverktøy fra Belimo eller Siemens. VAV-enheten er beregnet for komfortventilasjon med temperaturforhold mellom 0°C og 50°C og relativ fuktighet mellom 5 % og 95 % uten kondensering. Regulatoren tilkobles via 4-leders kabel til forskjellig romreguleringsutstyr. Her er det viktig at det gjennomgående benyttes felles referanse for alt utstyr.

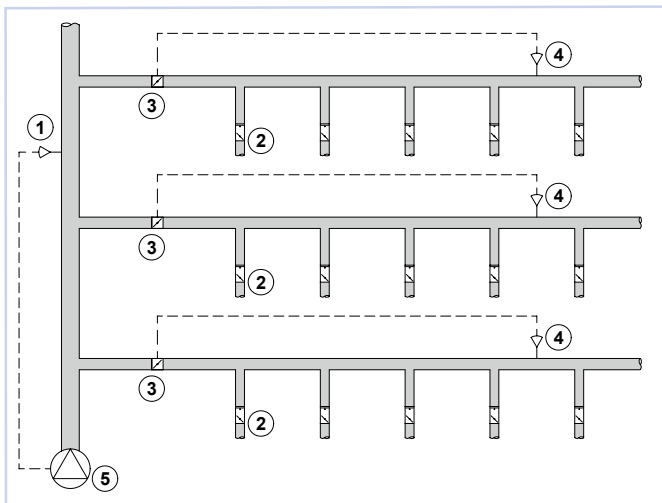
For VAV-regulatoren er ledning nr.1 system-0. Alle styre- og målesignaler kobles i forhold til denne.

Koblingsskjema for Leo i kombinasjon med ulike romregulatorer finnes på vår hjemmeside [www.trox.no](http://www.trox.no).

For energieffektiv drift blir VAV anlegg utstyrt med trykkfølere i kanal-anlegget som gir styresignal til grenspjeld eller til frekvensregulering av vifte. Se prinsippskisse i figur 1.

### Forklaring til figur 1

- 1) Trykkføler for vifteredulering.
- 2) VAV-enhet.
- 3) Motorspjeld med trykkregulator.
- 4) Trykkføler.
- 5) Vifte.



Figur 1. Trykkforhold i VAV anlegg.

## FUNKSJON

Leo regulerer seg alltid inn til den luftmengden som samsvarer med signalet fra romregulatoren. VAV- enheten består av et regulerings-spjeld og en målestasjon for luftmengde. Måleprinsippet er dynamisk måling av luftstrømmen. I spjeldmotorens regulator-del styres pådrag på spjeldet ut fra ønsket bør-verdi. Leo har reguleringsområde som vist i tabell 2.

M leavvik for område 10 - 20% av nominell:  $\pm 25\%$   
 20 - 40% av nominell:  $< \pm 10\%$  \*  
 40 - 100% av nominell:  $< \pm 4\%$ .

Ved T-r r situasjon anbefales en avstand på minst 5 x  $\varnothing$ D for   opprettholde samme målenøyaktighet.

## BESTILLINGSKODE, LEO

Leo-0-0-1-160-0

Produkt: \_\_\_\_\_ MS = Merkeskjema  
 Dimensjon:  $\varnothing 100 - \varnothing 630$

Type:  
 0 = Ikke mantlet  
 D = Mantlet

Plugg:  
 0 = Uten plugg  
 1 = Wago 4.pol Midi, Gr  \*  
 2 = Wago 4.pol Midi, Grønn \*\*

\* Kun for motorvalg 0  
 \*\* Kun for motorvalg 3,4,7,10,11

Motorvalg:  
 0 = Belimo MP-Bus  
 3 = Belimo MOD-Bus  
 4 = Belimo BACnet  
 7 = Belimo KNX  
 8 = Modbus for XAC  
 9 = XAC-ZM MOD-Bus  
 9.1 = XAC-ZM MOD-Bus m/lysrele  
 9.2 = XAC-ZM MOD-Bus m/varme-kj lerele  
 9.3 = XAC-ZM MOD-Bus m/lys,varme-kj lerele  
 9.4 = XAC-ZM MP-Bus  
 10 = Siemens KNX  
 11 = Siemens BACnet

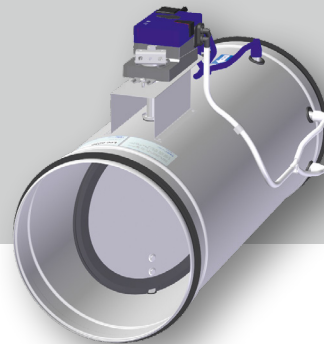
### Eksempel:

Leo-0-0-1-160-0

### Forklaring:

Leo, ikke mantlet, med Belimo MP-Bus, Wago-plugg påmontert, dim  $\varnothing 160$ , uten merkeskjema.

# Leo



## ★★ UTFØRELSE

Leo VAV er utført som en komplett måle- og reguleringsenhet for behovsstyring av luftmengder i ventilasjonsanlegg. Målestasjonen måler differansetrykk via målestaver integrert i enheten. Enheten er plasseringsvennlig ift. nødvendig rettstrekk, og kan således plasseres i de fleste deler av kanalanlegget. Den overholder tetthetsklasse 4 for spjeldblad i lukket stilling, og klasse C for lekkasje til omgivelsene.

Leo er utstyrt med VAV-regulator fra Belimo eller Siemens. Belimo LMV-D3-FK AU benyttes på dim. Ø100-Ø400. Belimo NMV-D3 AU benyttes på dim. Ø500-Ø630. Siemens GDB181.1E benyttes på dim. Ø100-Ø400. Siemens GLB181.1E benyttes på dim. Ø500-Ø630. Regulatorenes spesifikasjoner finnes i tabell 1. Komplette tekniske dokumentasjoner kan lastes ned fra [www.belimo.eu](http://www.belimo.eu) og [www.siemens.com](http://www.siemens.com)

Belimo LMV/NMV-D3 MP som benyttes ved analog styring eller for MP-bus. Belimo MOD/BACnet motor eller Siemens BACnet motor kan også leveres. For KNX kan Belimo LMV-D3-KNX og NMV-D3-KNX eller Siemens GDB181.1E/KN og GLB181.1E/KN benyttes. Ønskes ekstra sikkerhet mot flankestøy, for eksempel ved åpen montasje kan enheten leveres med utvendig isolasjon og kapsling. Dette vil redusere avstrålt støy fra selve enheten ved høye strupetrykk og store hastigheter forbi spjeldet. Dette bør imidlertid følges opp av ekstra sikring mot flankestøy fra kanalen på begge sider av enheten. Se avsnitt akustisk dokumentasjon. Lyddemper LEV er spesielt tilpasset VAV anlegg, og leveres i 500mm og 1000mm lengder. LEV har fullt tverrsnitt gjennom demperen, noe som gir lavt trykktap. Den er isolert med mineralull med overflate som sikrer mot fibermedrivning i tilluften. Det kan også leveres en avtrekksdel med nettingrist, ASN, i samme utførelse som LEV. Leo-D, LEV og ASN kan leveres sammenmontert med skjøtebånd.

## ■ MATERIALE OG OVERFLATEBEHANDLING

Leo er utført i galvanisert stål. Målekrysset er i aluminium, slanger, nipler og motorkapsling er i plast. Anslutningene på Leo har EPDM-gummipakning. LEV er utført i galvanisert stål med mineralull med glassfiberduk som dempingsmateriale. Anslutningene har EPDM-gummipakning. ASN er utført i galvanisert stål med EPDM-gummipakning på anslutningen.

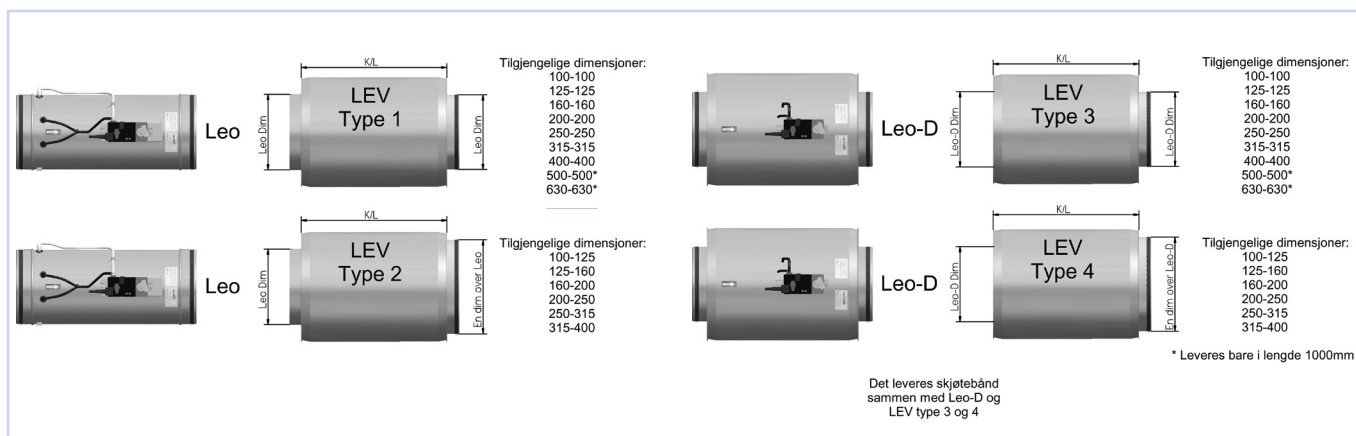
Produsent	Motortype	Driftsspennning	Effektforbruk	Dim. effekt
Belimo	LMV-D3-MP/MOD/BAC/KNX	AC 24 V 50/60 Hz, DC 24 V	2W	4 VA (max. 8 A @ 5 ms)
Belimo	NMV-D3-MP/MOD/BAC/KNX	AC 24 V 50/60 Hz, DC 24 V	3W	5 VA (max. 8 A @ 5 ms)
Siemens	GDB181.1E/KN (5 Nm)(KNX)	AC 24 V 50/60 Hz	0,5W	1 VA
Siemens	GLB181.1E/KN (10 Nm)(KNX)	AC 24 V 50/60 Hz	2,5W	3 VA
Siemens	GDB181.1E/BA (5 Nm)(BACnet)	AC 24 V	0,5 W	1 VA
Siemens	GLB181.1E/BA (10 Nm)(BACnet)	AC 24 V	2,5 W	3 VA

Tabell 1, teknisk spesifikasjon, VAV-regulator

## ■ HURTIGVALG

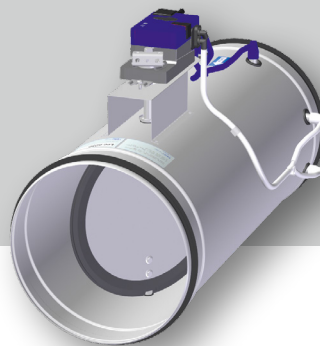
Leo Dim.	[m <sup>3</sup> /h]	
	Maks [V <sub>nom</sub> ]	Min
100	170	17
125	265	26
160	434	43
200	700	70
250	1060	106
315	1750	175
400	3619	361
500	5655	565
630	8973	897

Tabell 2, tabellen viser maks og min. luftmengder.



Figur 2

# Leo



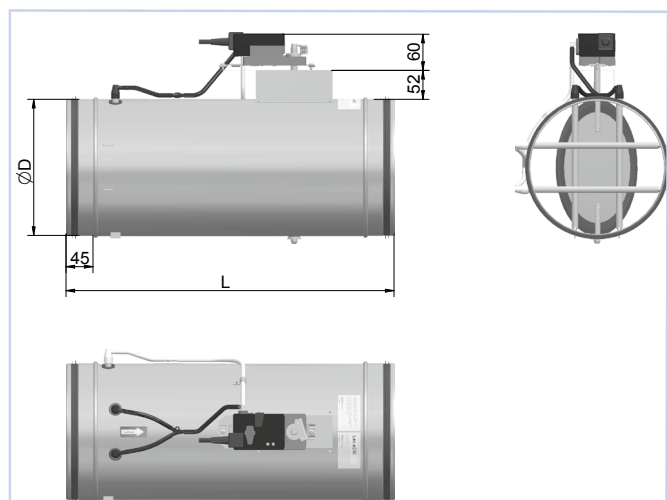
## MÅL OG VEKT

Dim.	D	DA	B	L
100	99	102	220	400
125	124	127	245	400
160	159	162	280	400
200	199	202	320	400
250	249	252	370	600
315	314	317	435	600
400	399	402	520	600
500	499	502	620	705
630	629	632	750	835

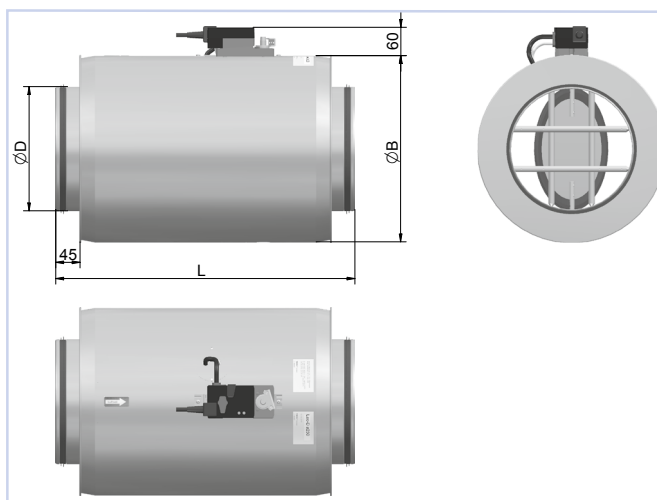
Tabell 3

Dim.	Vekt [kg]				
	Leo	Leo-D	LEV-500	LEV-1000	ASN
100	1,6	3,2	3,3	5,8	1,5
125	1,8	3,5	3,8	6,6	1,8
160	2,1	4,1	4,5	7,8	2,1
200	2,5	4,9	5,3	9,0	2,5
250	3,8	8,0	6,4	11,0	3,1
315	4,8	9,8	7,2	12,4	3,9
400	6,0	12,0	9,6	15,6	5,0
500	9,7	23,0	-	18,8	6,5
630	12,5	28,0	-	23,1	8,7

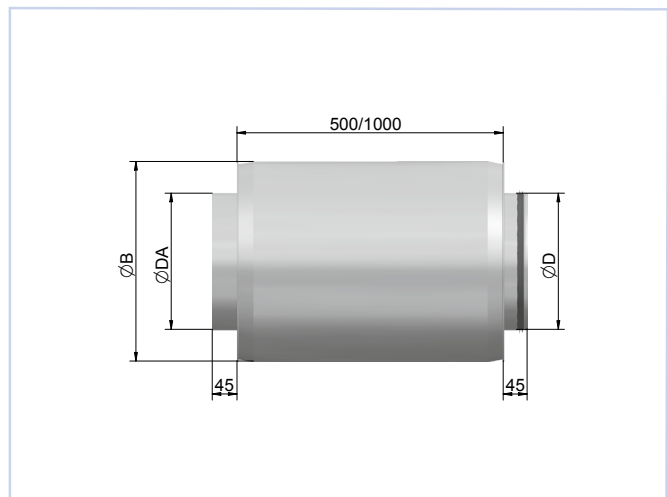
Tabell 4



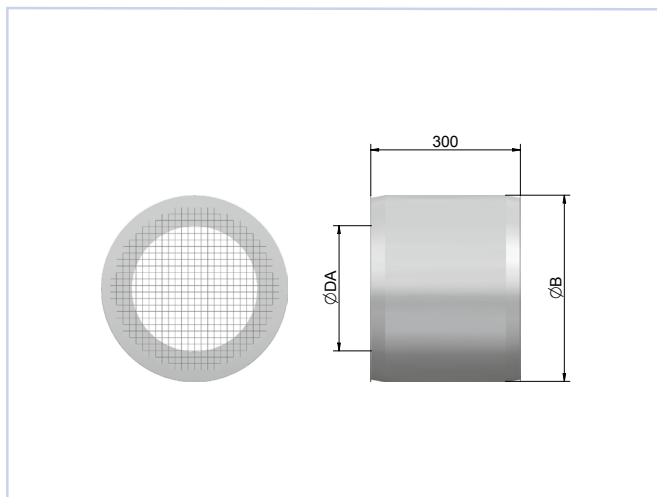
Figur 3, Leo



Figur 4, Leo-D



Figur 5, LEV



Figur 6, ASN (avtrekksdel)



# Leo

## AKUSTISK DOKUMENTASJON

I diagrammene er det oppgitt summert A-veid lydeffektnivå fra spjeld til kanal,  $L_{WA}$ . Korreksjonsfaktorene i tabellene benyttes for å beregne avgitt frekvensfordelt lydeffektnivå,  $L_W = L_{WA} + KO$ . Det er oppgitt KO for to spjeldstillinger, høyre trykktapslinje er for helt åpent spjeld mens den venstre angir sterkt struport spjeld. Siden spjeldet kan benyttes til å stenge helt er det lagt stiplede linjer her i diagrammet. Mellomliggende driftspunkter for Leo kan lydberegnes som vist i eksempelet.

### Eksempel:

Leo Ø160 med kort demper og maksimal luftmengde på 80 l/s, og det beregnes at spjeldet må strupes til 50 Pa.

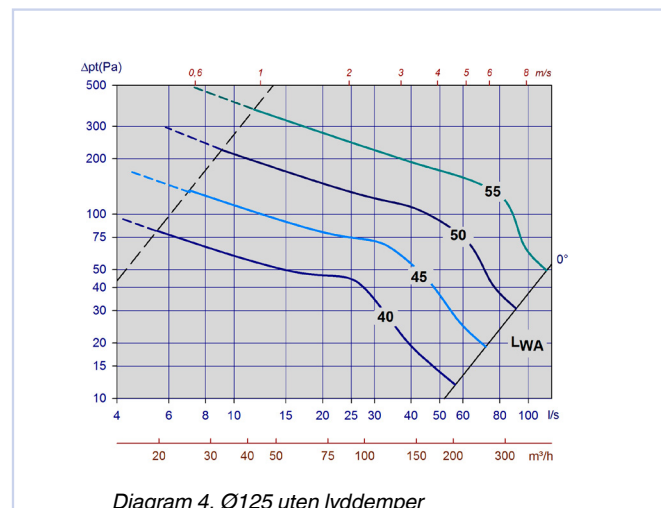
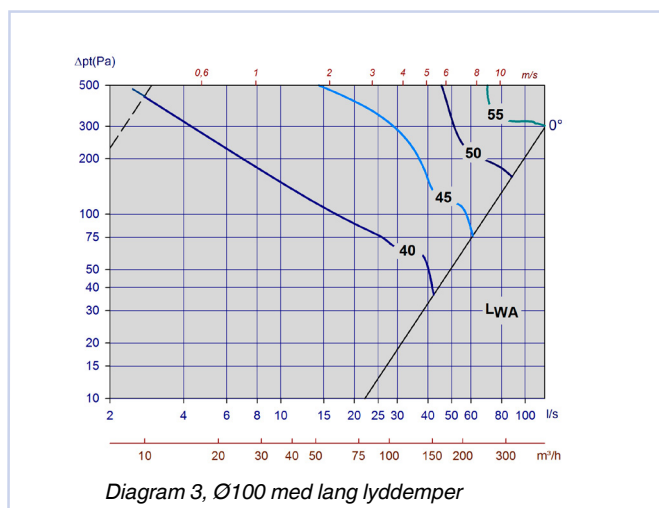
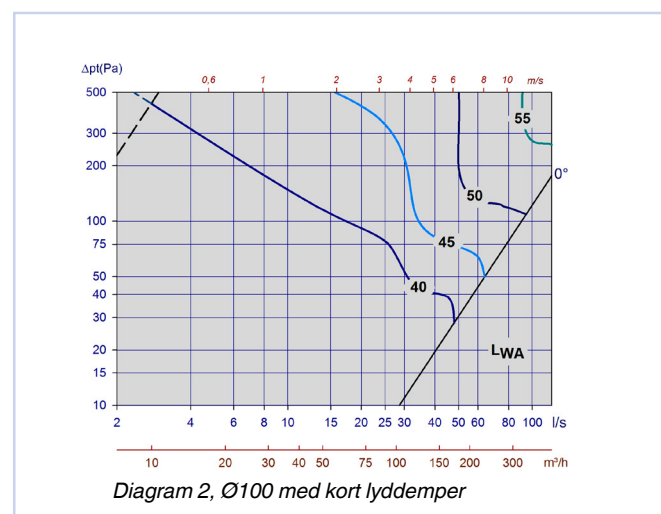
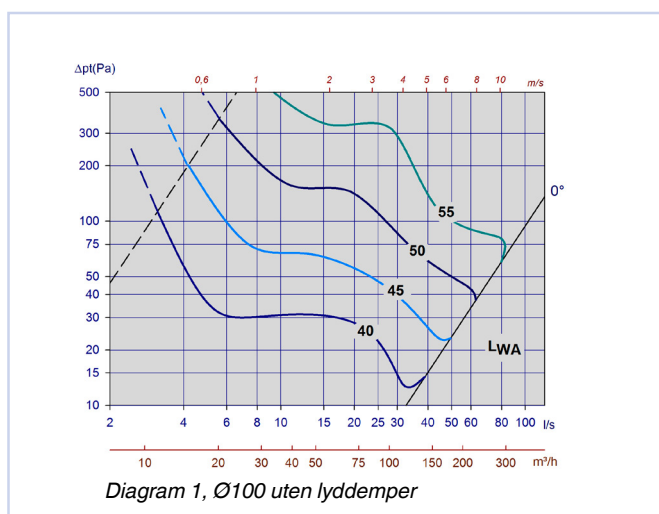
Av diagram 8 finner vi at  $L_{WA} = 44 \text{ dB(A)}$ . Vi ønsker å finne avgitt lyd-effektnivå i 250 Hz.

Korreksjonsfaktoren i tabell 6, side 10, for stengt spjeld er -4 dB, mens den for åpent spjeld er 1 dB.

Ettersom vårt punkt ligger nærmest åpent spjeld, benytter vi 0 dB.

Avgitt lydeffektnivå i 250 Hz blir da:  $L_W = L_{WA} + KO \Rightarrow 44 + 0 = 44 \text{ dB}$

## DIMENSJONERINGSDIAGRAM



Leo

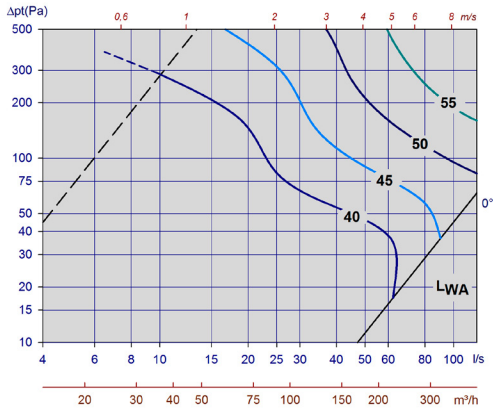


Diagram 5, Ø125 med kort lydtemper

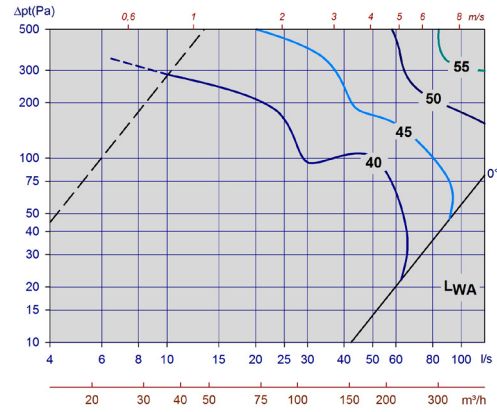


Diagram 6, Ø125 med lang lydtemper

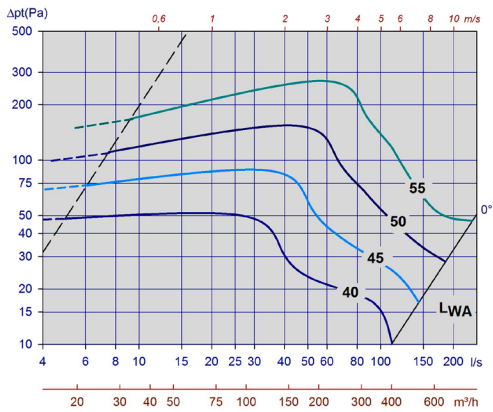


Diagram 7, Ø160 uten lydtemper

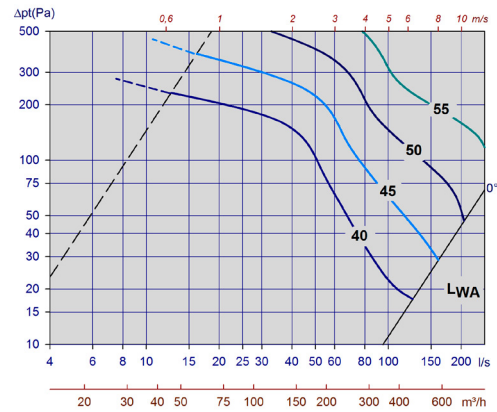


Diagram 8, Ø160 med kort lydtemper

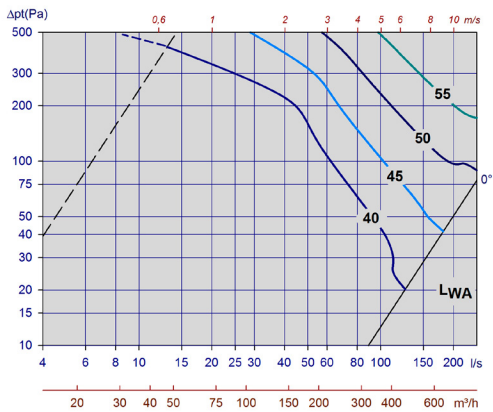


Diagram 9, Ø160 med lang lydtemper

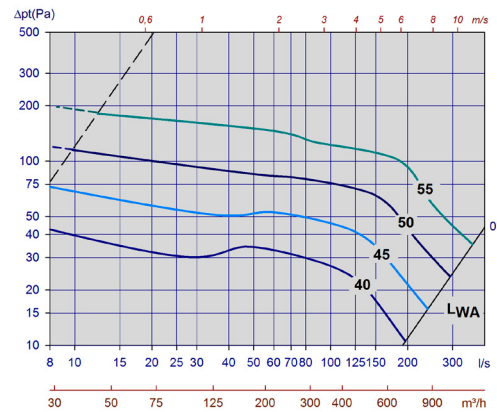


Diagram 10, Ø200 uten lydtemper

# Leo

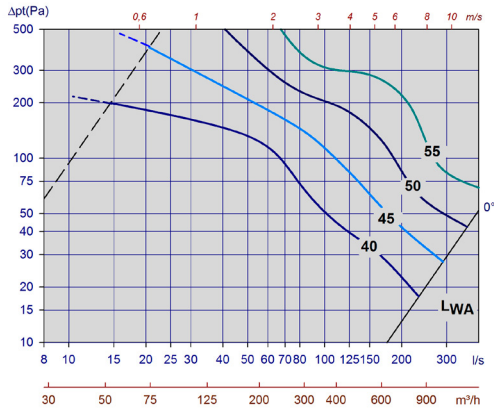


Diagram 11, Ø200 med kort lydtemper

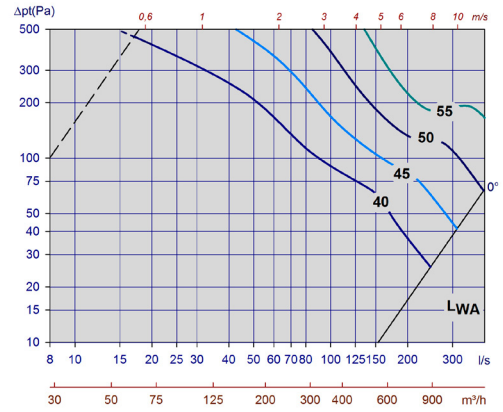


Diagram 12, Ø200 med lang lydtemper

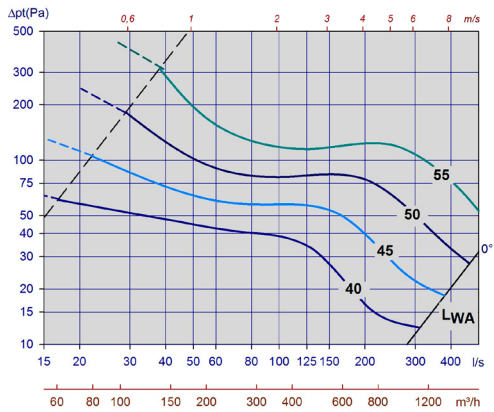


Diagram 13, Ø250 uten lydtemper

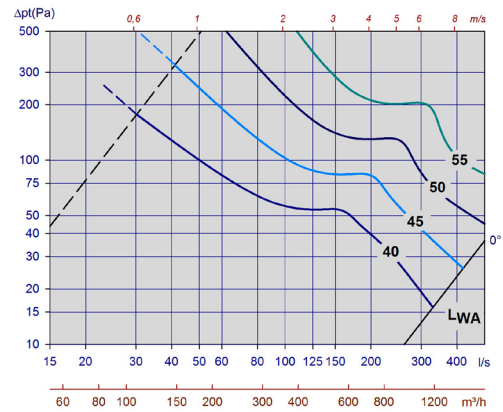


Diagram 14, Ø250 med kort lydtemper

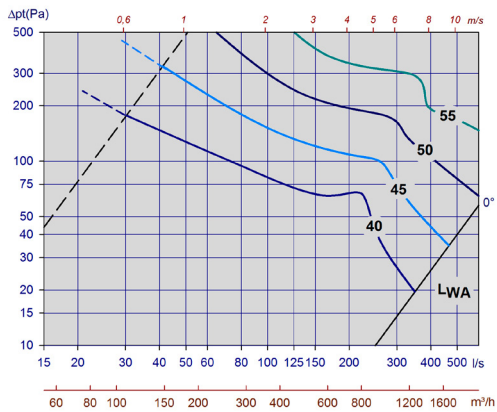


Diagram 15, Ø250 med lang lydtemper

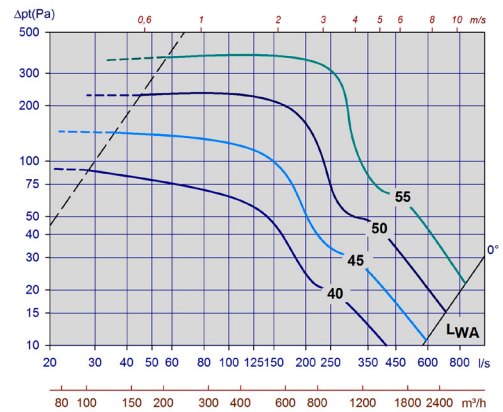


Diagram 16, Ø315 uten lydtemper

# Leo

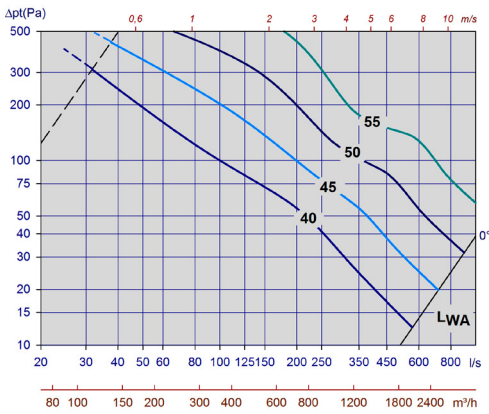


Diagram 17, Ø315 med kort lydtemper

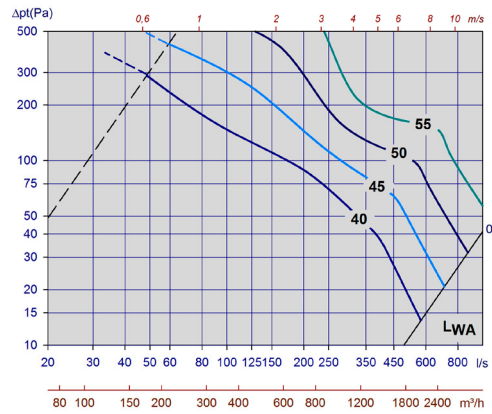


Diagram 18, Ø315 med lang lydtemper

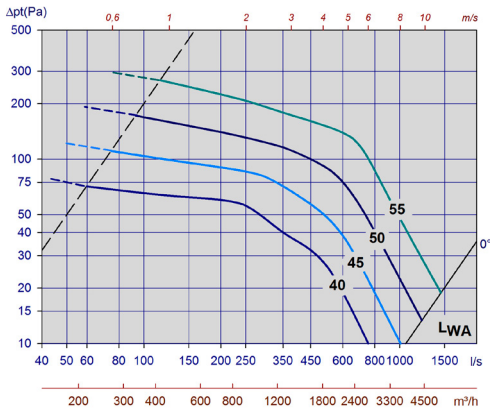


Diagram 19, Ø400 uten lydtemper

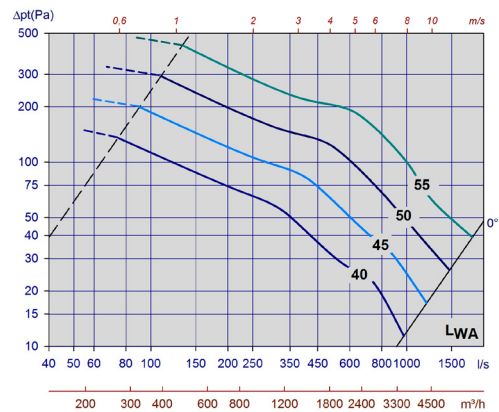


Diagram 20, Ø400 med kort lydtemper

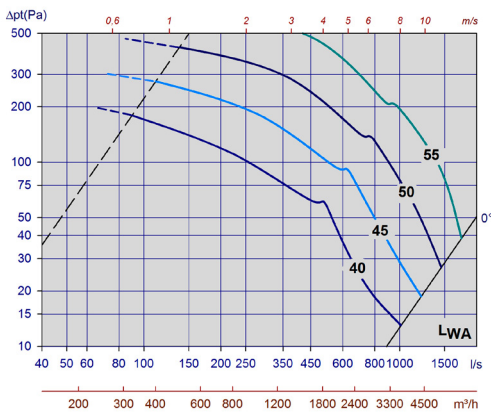


Diagram 21, Ø400 med lang lydtemper

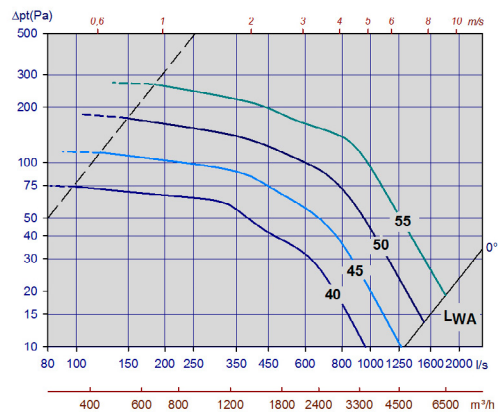
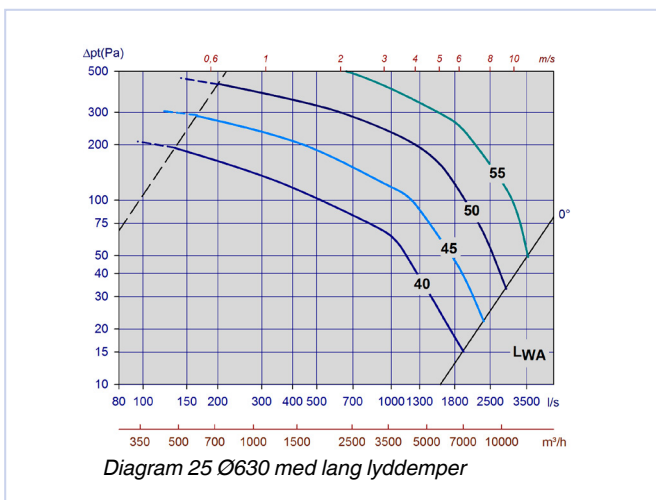
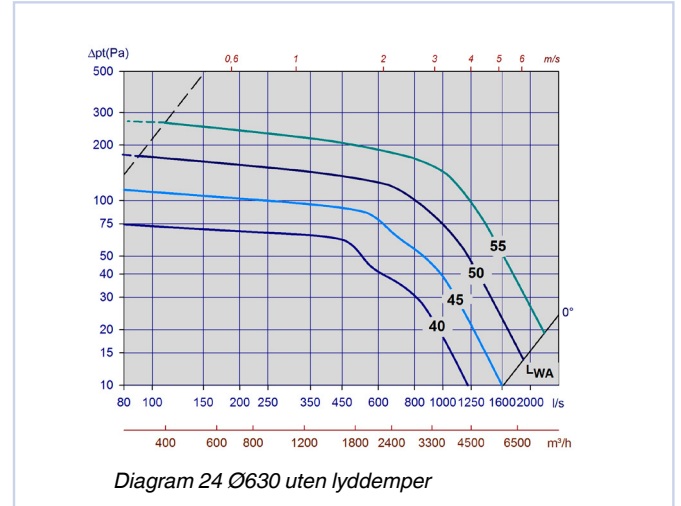
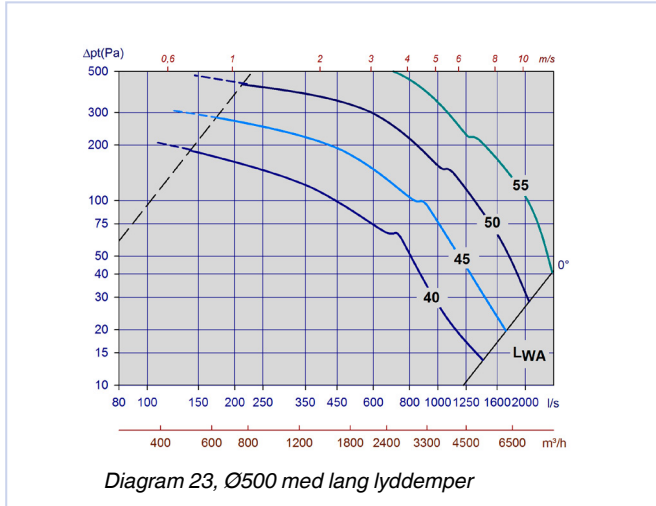


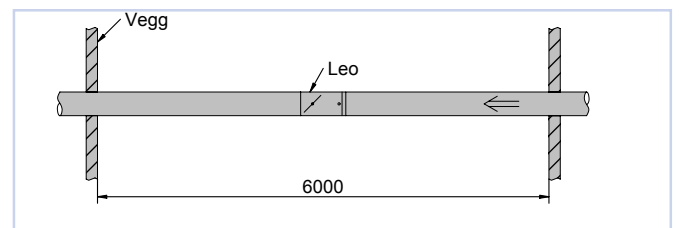
Diagram 22, Ø500 uten lydtemper

# Leo

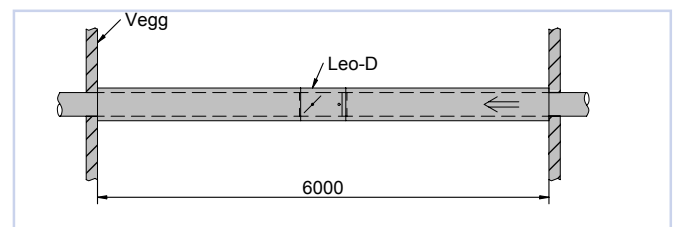


## FLANKESTØY

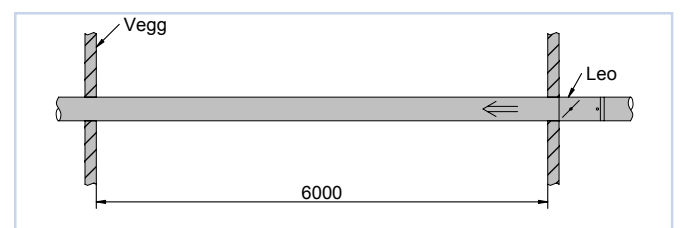
Diagram 26 viser VAV enhetens avstrålte flankestøy til omgivelsene som funksjon av luftmengde og trykktap over spjeldet (figur 7). Støyen er angitt som summert A-veid lydeffektnivå fra VAV enheten til rom,  $L_{WA}$ . Ved høye krav til beskyttelse mot flankestøy, f.eks. ved åpen montasje og høye strupetrykk over enheten, anbefales Leo VAV i kapslet og isolert utførelse sammen med tiltak på selve kanalnettet foran og bak enheten. For beskyttelse mot avstrålt støy må kanalen også isoleres eller mantles i hele lengden mot rommet. Ved å bruke dobbeltmantlede kanaler (figur 8) oppnås en støyreduksjon på 6 - 10dB. Montasje som vist i figur 9, gir en støyreduksjon på 3 - 6 dB.



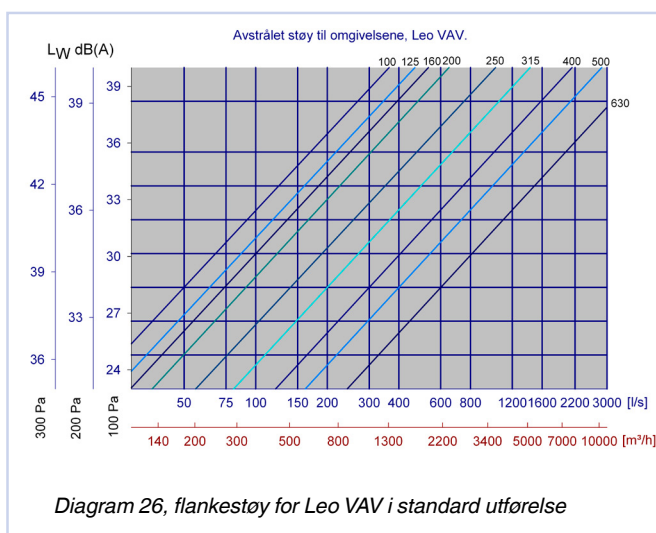
Figur 7



Figur 8



Figur 9



# Leo

Korreksjonsfaktor [KO], Leo - VAV uten lydtemper

Leo	KO [dB]															
	Venstre trykktapslinje (s)								Høyre trykktapslinje (å)							
	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ
100	17	0	-2	-2	-5	-13	-20	-24	18	10	2	-3	-12	-20	-27	-27
125	13	-1	-7	-4	-3	-12	-15	-19	19	8	2	-4	-8	-17	-19	-19
160	17	0	-1	0	-7	-20	-22	-18	17	8	0	-6	-5	-12	-15	-17
200	12	3	-1	0	-8	-19	-26	-25	16	9	2	-5	-7	-13	-20	-21
250	17	3	0	0	-9	-18	-18	-16	16	7	1	-4	-6	-12	-16	-14
315	12	0	-1	-1	-6	-12	-14	-14	14	6	-2	-5	-6	-8	-15	-14
400	12	5	1	-3	-7	-12	-13	-12	12	4	-3	-2	-6	-9	-16	-17
500	11	4	1	-3	-6	-11	-12	-12	11	3	-4	-2	-5	-8	-16	-16
630	9	3	0	-3	-6	-11	-12	-12	9	3	0	-3	-6	-11	-12	-12

Tabell 5

Korreksjonsfaktor [KO], Leo - VAV med kort lydtemper

Leo	KO [dB]															
	Venstre trykktapslinje (s)								Høyre trykktapslinje (å)							
	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ
100	22	7	2	-7	-9	-16	-16	-19	18	7	3	-3	-9	-17	-24	-25
125	19	7	-1	-8	-13	-13	-19	-7	20	6	2	-3	-10	-17	-18	-17
160	21	4	-4	-9	-13	-13	-7	-12	21	7	1	-4	-11	-18	-19	-16
200	18	3	-4	-5	-6	-9	-11	-13	21	7	1	-4	-11	-18	-19	-16
250	19	6	1	-4	-10	-13	-12	-12	15	8	2	-3	-9	-15	-16	-15
315	14	2	-1	-6	-9	-8	-8	-9	17	7	0	-3	-9	-12	-16	-14
400	9	4	1	-5	-8	-10	-9	-11	19	6	1	-4	-8	-12	-15	-13

Tabell 6

Korreksjonsfaktor [KO], Leo - VAV med lang lydtemper

Leo	KO [dB]															
	Venstre trykktapslinje (s)								Høyre trykktapslinje (å)							
	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ
100	22	7	2	-7	-9	-16	-16	-19	18	6	3	-3	-9	-17	-23	-25
125	19	7	-1	-8	-13	-13	-9	-7	20	7	2	-3	-11	-18	-19	-17
160	20	7	-2	-8	-9	-11	-10	-11	21	8	2	-4	-11	-18	-19	-15
200	16	3	0	-9	-6	-8	-10	-14	17	9	3	-5	-8	-18	-22	-21
250	19	6	1	-4	-10	-13	-12	-12	19	8	0	-3	-9	-15	-17	-14
315	12	3	-3	-8	-8	-9	-7	-9	19	8	0	-4	-9	-13	-17	-15
400	11	5	0	-9	-10	-9	-7	-10	18	6	0	-3	-7	-13	-16	-15
500	11	4	1	-3	-6	-11	-12	-12	17	5	0	-3	-7	-12	-15	-14
630	8	3	-1	-9	-9	-8	-6	-9	16	5	0	-2	-6	-11	-14	-14

Tabell 7

Statisk egendemping for LEV, lengde 500 mm

Leo	Demping [dB]							
Dim.	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ
100	5	13	17	27	42	43	33	16
125	2	7	10	22	36	33	22	8
160	1	5	9	19	30	26	14	6
200	1	4	7	15	23	17	9	4
250	1	3	6	13	19	12	6	3
315	2	2	5	11	13	7	4	4
400	1	1	4	10	9	4	2	3

Tabell 8

Statisk egendemping for LEV, lengde 1000 mm

Leo	Demping [dB]							
Dim.	63	125	250	500	1κ	2κ	4κ	8κ
100	6	16	27	43	50	50	40	26
125	1	11	19	38	50	50	36	14
160	1	8	15	33	50	49	24	10
200	1	8	13	28	46	35	15	8
250	1	5	11	24	41	26	10	5
315	1	3	9	21	28	14	7	5
400	3	2	8	18	18	8	5	4
500	3	2	6	11	10	7	5	5
630	1	2	4	11	9	5	4	4

Tabell 9



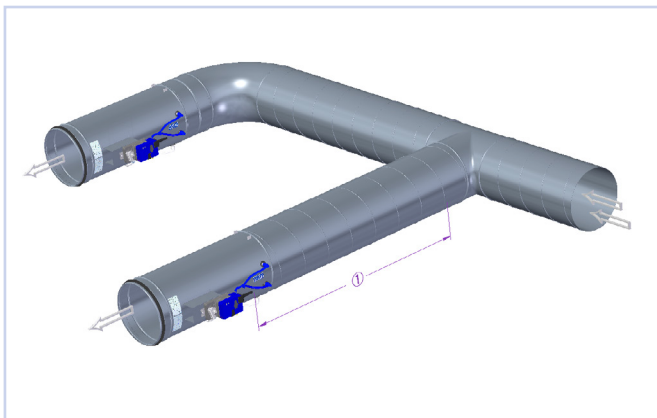
# Leo

## MONTERING

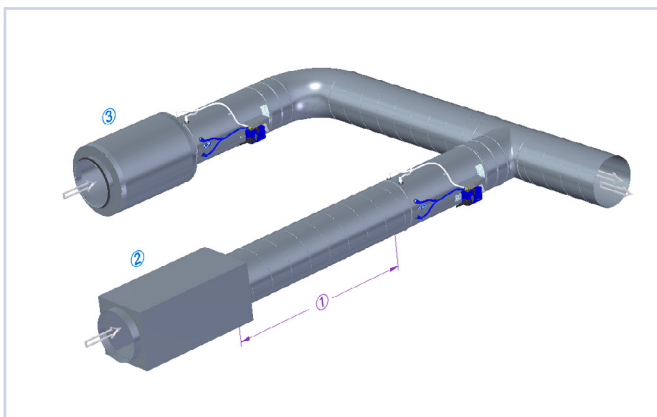
For å opprettholde enhetens målenøyaktighet er det viktig at den monteres med avstander som vist i figurene 10 og 11. Det anbefales å montere Leo med serviceavstand i henhold til figur 12.

**For tilluft:** Ved montasje i avgrening anbefales det min. 5xDia. avstand mellom avgrening og Leo. Leo kan monteres rett etter bend, uten at dette påvirker målenøyaktigheten.

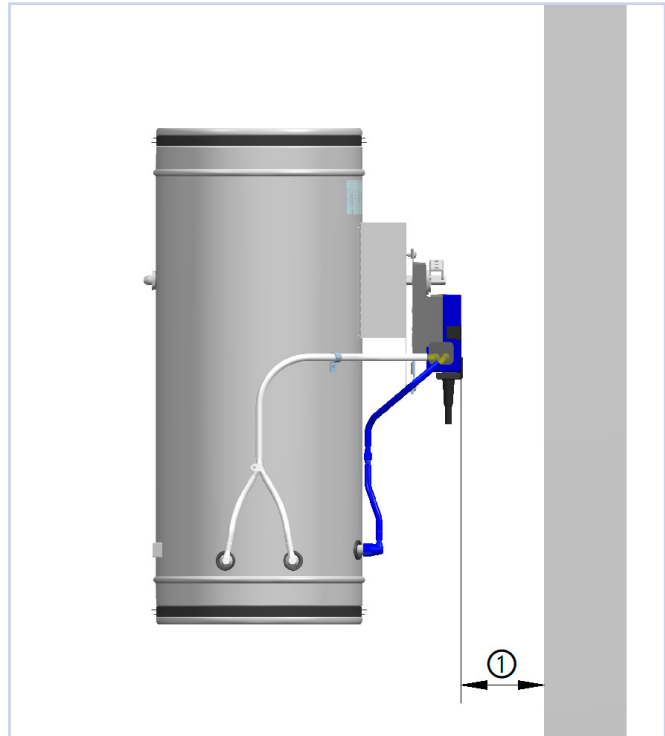
**For avtrekk:** Ved montasje sammen med lydtemper anbefales det min. 5xDia. avstand mellom lydtemper og Leo, hvis det brukes lydtemper med midtbaffel eller annen innsnevring av tverrsnittet. Ved bruk av lydtemper med fritt gjennomløp, så kan lydtemperen monteres rett på Leo. Som vist i figur 11.



Figur 10, montasje tilluft. ① Anbefalt 5 x Dia.



Figur 11, montasje avtrekk. ① Anbefalt 5 x Dia. ② Lydtemper med innsnevring. ③ Lydtemper uten innsnevring.



Figur 12, montasje. ① Serviceavstand min. 100 mm.

## INNREGULERING

Ved innregulering og service benyttes pc-programmet Belimo PC-Tool eller Siemens ACS941. Med disse serviceverktøyene kan regulatorne stilles inn til b.l.a. ønskede minimum og maksimum luftmengder, 0-10 V eller 2-10 V styresignal og Open-loop. Det kan også kjøres funksjonstester som kan vises grafisk for dokumentasjon av regulatorens funksjon. Det finnes også serviceverktøy som ikke krever PC, Belimo ZTH-VAV og Siemens AST20.

For mer informasjon, se [www.belimo.eu](http://www.belimo.eu) og [www.siemens.com](http://www.siemens.com) eller kontakt en av våre selgere.

## VEDLIKEHOLD

Det er ingen spesielle krav til vedlikehold

## MILJØ

Forespørsel vedrørende byggvaredeklarasjon kan rettes til en av våre selgere, eller finnes på vår hjemmeside: [www.trox.no](http://www.trox.no)

## TILBEHØR

For tilbehør, se under produktgruppe Automatikk.

Leo er utviklet og produsert av:

Retten til endringer forbeholdes.

# TVE

## VAV-regulator



- Reguleringsområde fra 0,5 til 13 m/s
- Dimensjoner fra Ø100 – Ø400
- Kan monteres direkte i bend og avgrening
- Ingen målekryss og slanger luftmengdemåling via spjeldblad og spjeldaksling

# TROX<sup>®</sup> TECHNIK

## Auranor

TROX Auranor Norge AS

Auranorvegen 6  
2770 Jaren

Telefon +47 61 31 35 00

e-post: [office-no@troxgroup.com](mailto:office-no@troxgroup.com)  
[www.trox.no](http://www.trox.no)





# TVE



## ANVENDELSE

TVE er en sirkulær volumregulator som fungerer uavhengig av kanaltrykket, og som regulerer til ønsket luftmengde i henhold til gitt setpunkt. Setpunktet for ønsket luftmengde kan eksempelvis gis analogt som et 0/2-10 V signal eller digitalt via Modbus. TVE er beregnet for bruk i komfortventilasjon, og kan leveres med både dynamisk sensor og statisk sensor. Statisk sensor benyttes typisk i situasjoner der det er stor konsentrasjon av forurensninger eller aggressive stoffer i luften.

## UTFØRELSE

TVE er en komplett måle- og reguleringsenhet for behovstyring av luftmengder i ventilasjonsanlegg. Luftmengden måles via trykkmåling i spjeldbladet og reguleringen og spjeldbevegelsen skjer i TROX VAV-regulatoren som er påmontert. Måletrykket overføres direkte til regulatoren via spjeldakslingen, så det er ingen utenpåliggende slanger eller kabler på produktet. VAV-regulatoren kan enkelt demonteres og monteres med et enhåndsgrep uten bruk av verktøy.

TVE overholder tetthetsklasse 3 (Ø100-Ø160) og 4 (Ø200-Ø400) med spjeldbladet i lukket stilling, og klasse C for lekkasje mot omgivelsene, i henhold til EN 1751. Hygieneegenskaper er i henhold til krav i VDI 6022. De tekniske egenskapene for TROX VAV-regulatorene som benyttes på TVE finnes i egne datablader. Regulatorene leveres for analog styring eller med Modbus RTU kommunikasjon. Begge varianter kan fås med dynamisk eller statisk trykksensor. TVE kan leveres i mantlet utførelse med isolasjon og stålkapsling.

TVE kan brukes sammen med lyddemper LEV. LEV er spesielt tilpasset VAV anlegg, og leveres i 500mm og 1000mm lengder. LEV har fullt tverrsnitt gjennom demperen, noe som gir lavt trykktap. For mer informasjon om LEV, se eget datablad.

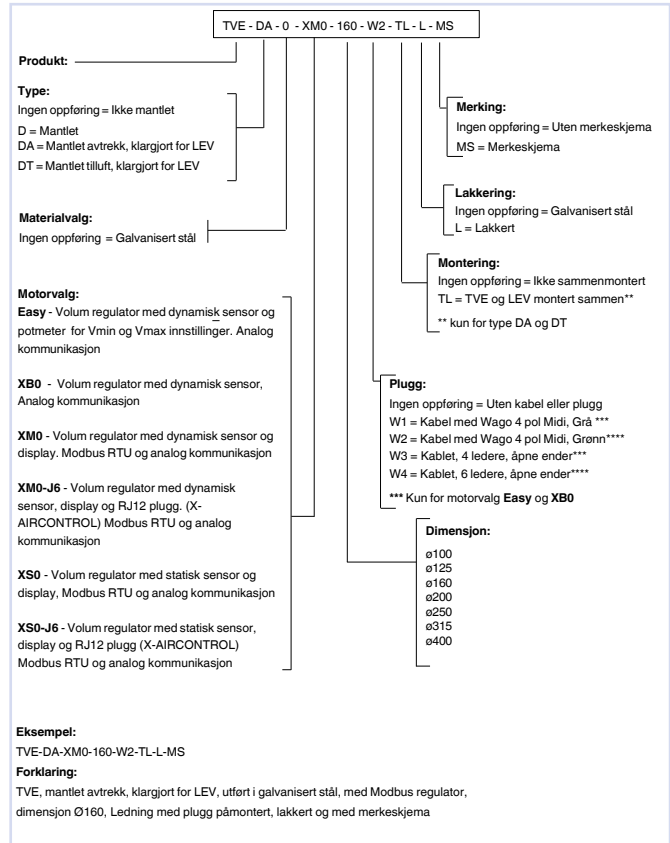
## FUNKSJON

TVE måler lufthastigheten via en måleanordning i spjeldbladet. Måletrykket overføres til spjeldmotoren igjennom kanaler i spjeldakslingen. Når det skjer en endring i kanaltrykket, for eksempel ved at andre volumregulatorer på grenen åpner eller stenger, vil TVE kompensere ved å justere på spjeldet inntil ønsket mengde igjen er oppnådd.

## MATERIALE OG OVERFLATEBEHANDLING

TVE har sarg produsert i galvanisert stål, korrosjonsklasse C3. Spjeldblad og spjeldaksling er i plast, PA6, UL94, flammehemmende (V-0). Pakningen på spjeldbladet er i plast, TPU, mikrobakterieresistent. Pakningen på anslutningen er i EPDM gummi. I mantlet utgave benyttes Ecoson polyesterisolasjon. TVE kan leveres i korrosjonsklasse C5 i materialene rustfritt, syrefast og Magnelis (gjelder ikke mantlet utførelse).

## BESTILLINGSKODE, TVE



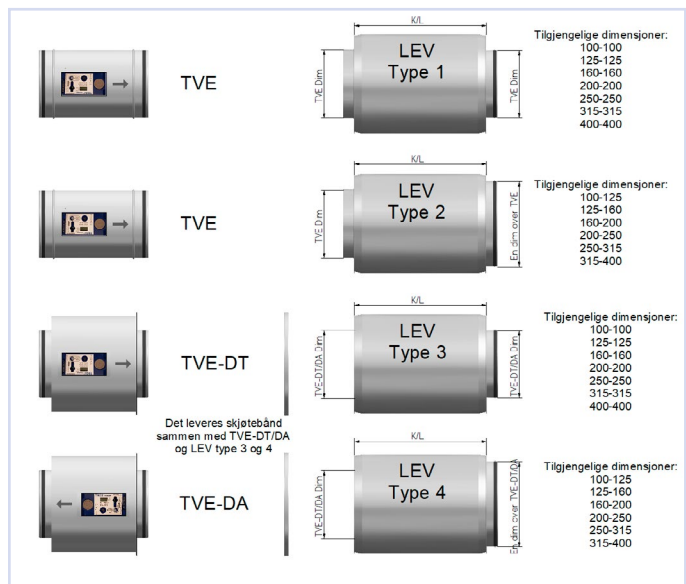
I bestillingskoden for TVE har man tre valg for mantlet utførelse. TVE-D, TVE-DA og TVE-DT.

TVE-DA er klargjort for LEV på avtrekksiden, og TVE-DT er klargjort for LEV på tilluftsliden.

Ønsker man TVE-DA eller TVE-DT montert sammen med LEV fra fabrikk, velger man TL under "montering" i bestillingskoden.

Skal TVE-DA/DT og LEV sendes hver for seg, leveres skjøtebånd og pakning med, for montering på byggeplass

Se figur 1 for forklaring.



Figur 1, TVE og LEV

# TVE



## MÅL OG VEKT, TVE

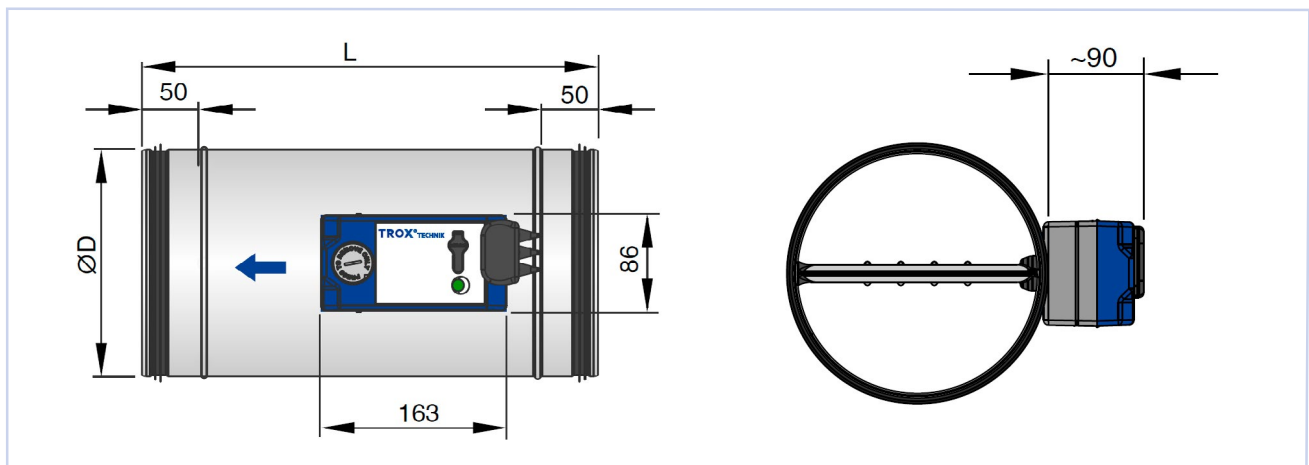
Dim.	L	ØD	Vekt
	mm	mm	kg
100	310	99	1,3
125	310	124	1,4
160	310	159	1,7
200	400	199	2,3
250	400	249	2,9
315	400	314	4,2
400	500	499	8

Tabell 1, Mål og vekt TVE

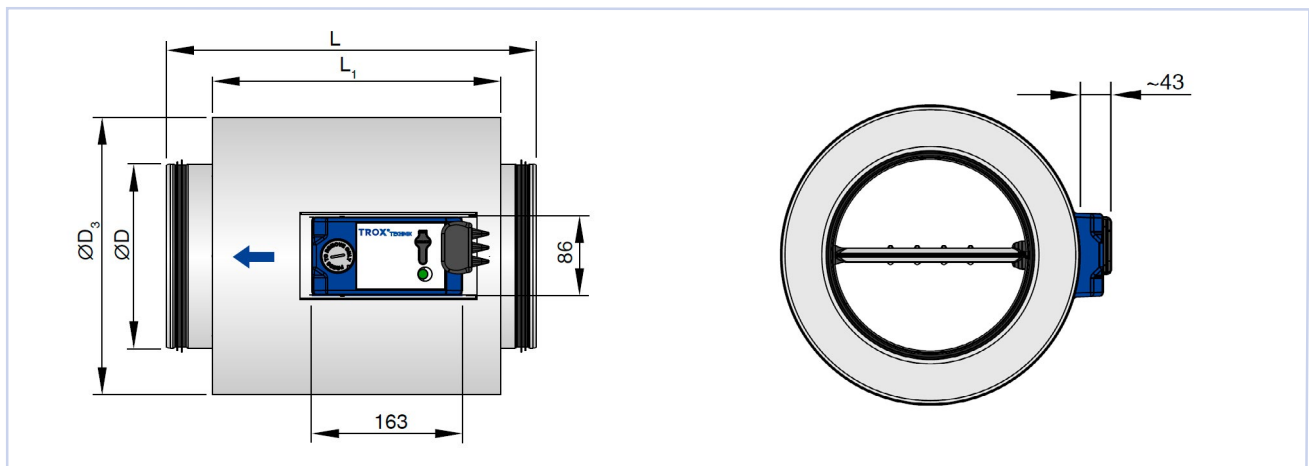
## MÅL OG VEKT, TVE-D

Dim.	L	L <sub>1</sub>	ØD	ØD <sub>3</sub>	Vekt
	mm	mm	mm	mm	kg
100	310	232	99	199	2,7
125	310	232	124	219	2,9
160	310	312	159	261	3,5
200	400	312	199	299	4,8
250	400	312	249	354	5,9
315	400	312	314	415	7,8
400	500	412	399	498	12,8

Tabell 2, Mål og vekt TVE-D (mantlet)



Figur 2, Målskisse TVE



Figur 3, Målskisse TVE-D

## TVE

 HURTIGVALG

Dim.	V		$\Delta P_{st} \text{ min}$	$\Delta V$
	l/s	m <sup>3</sup> /h	Pa	± %
100	4	14	1	18
	35	127	6	7
	67	241	22	5
	98	354	46	5
125	6	21	1	19
	58	207	6	7
	109	393	19	5
	160	579	41	5
160	10	35	1	18
	93	333	7	7
	175	631	22	5
	258	929	47	5
200	16	55	1	18
	150	541	6	7
	285	1027	19	5
	420	1513	40	5
250	25	87	1	18
	228	882	5	7
	433	1558	17	5
	636	2293	37	5
315	52	186	1	18
	359	1291	7	7
	665	2395	23	5
	972	3500	49	5
400	117	420	1	18
	541	1947	8	7
	965	3473	23	5
	1389	5000	47	5

Tabell 3. TVE - luftmengdeområde, differansetrykk og målenøyaktighet ved tilnærmet åpent spjeld.

# TVE

## AKUSTISK DOKUMENTASJON

### TVE, lydtrykknivå ved 150 Pa differansetrykk

Dim.	V	V	Generert støy til kanalen			Flankestøy	
			1	2	3	4	5
	l/s	m <sup>3</sup> /h	L <sub>PA</sub> dB(A)				
100	4	14	32	<15	<15	15	<15
	35	127	46	32	28	29	18
	67	241	51	37	33	34	23
	98	354	55	37	32	37	26
125	6	21	37	15	<15	20	<15
	58	207	48	34	28	31	20
	109	393	52	39	34	35	24
	160	579	56	41	37	40	29
160	10	35	42	24	15	22	15
	93	333	45	33	28	25	18
	175	631	50	38	34	31	24
	258	929	53	40	35	36	29
200	16	55	33	20	<15	<15	<15
	150	541	46	36	31	26	<15
	285	1027	49	38	34	32	17
	420	1513	53	43	40	38	23
250	25	87	40	29	22	24	<15
	228	882	46	37	32	32	17
	433	1558	47	39	34	36	21
	636	2293	52	45	41	43	28
315	52	186	40	30	25	24	<15
	359	1291	46	38	30	32	17
	665	2395	47	40	35	36	21
	972	3500	52	46	40	43	28
400	117	420	40	32	27	24	<15
	541	1947	46	40	32	32	17
	965	3473	47	42	37	36	21
	1389	5000	52	48	42	43	28

Tabell 4, 1. TVE  
 2. TVE med lyddemper LEV-500  
 3. TVE Med lyddemper LEV-1000  
 4. TVE  
 5. TVE-D

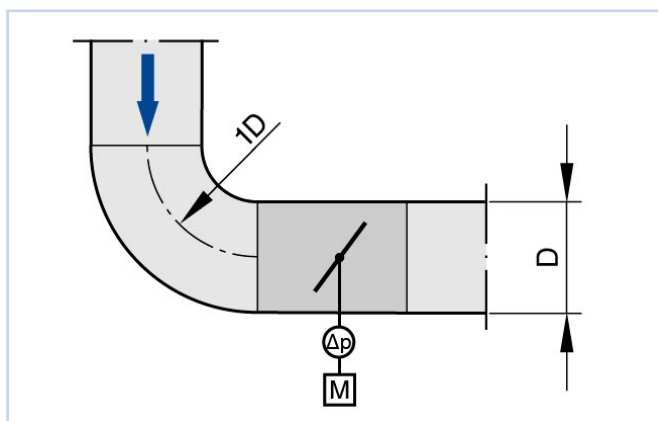
Easy Product Finder (EPF) kan brukes for data ved andre luftmengder og/eller differansetrykk. EPF finnes på våre nettsider: [www.trox.no](http://www.trox.no)

# TVE

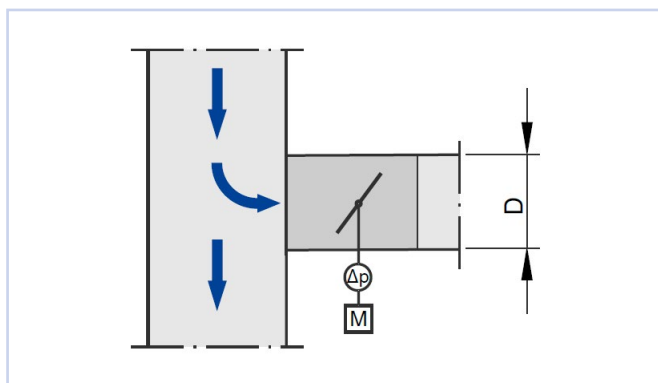
## MONTERING

TVE kan monteres direkte i bend og avgreining uten at dette påvirker målenøyaktigheten. For å begrense støy og gi best mulig regulering bør spjeldblad/spjeldaksling følge (være parallell med) retningsendringen i bend eller avgreining. Se figur 4 og figur 5.

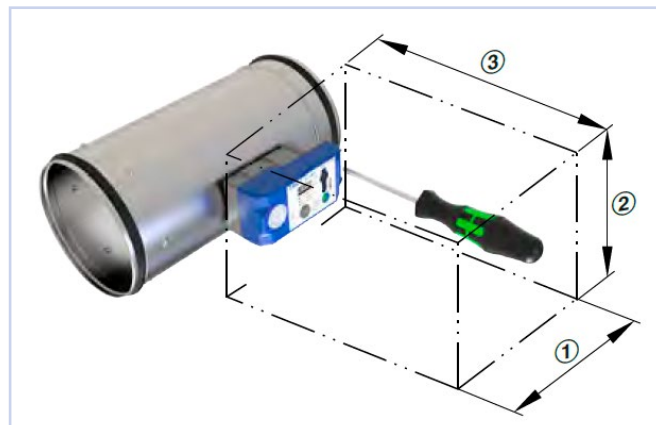
Tilstrekkelig serviceavstand må avsettes for igangkjøring og vedlikehold. Det anbefales å montere TVE med minimum serviceavstand i henhold til figur 6 og tabell 5. Ved behov må inspeksjonsluke monteres.



Figur 4, TVE montert direkte i bend.



Figur 5, TVE montert direkte i avgreining.



Figur 6, serviceavstand

Plassbehov, kontrollkomponent på den ene siden

Tilbehør	①	②	③
Aktuator: Easy, XB0, XM0, XM0-J6, XS0, XS0-J6	250	200	300

Tabell 5. TVE - serviceavstand

## INNREGULERING

Innregulering og service kan utføres direkte på VAV-regulatorens display (Easy og Modbus-regulatorer), eller ved hjelp av serviceverktøyet GUV3-M.

## VEDLIKEHOLD

Under normale forhold krever ikke TVE særskilt vedlikehold, da konstruksjon og materialer ikke er utsatt for slitasje.


## MILJØ

Forespørsel vedrørende byggvaredeklarasjon kan rettes til en av våre selgere, eller finnes på vår hjemmeside: [www.trox.no](http://www.trox.no)



Retten til endringer forbeholdes.

## Vedlegg D - Funksjonsbeskrivelse ventilasjon


System:=360.001_VAV				
Systemnummer	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
Bygg	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
Dato	28.06.22	Plassering	Testhall	

# Funksjonsbeskrivelse

## Sintef testhall

### Ventilasjon 360.001 VAV




System:=360.001_VAV				
<b>Systemnummer</b>	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
<b>Bygg</b>	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
<b>Dato</b>	28.06.22	Plassering	Testhall	

# INNHALDSFORTEGNELSE

<b>Systeminformasjon</b> .....	<b>3</b>
Ventilasjon .....	3
VAV .....	3
<b>Driftsinformasjon</b> .....	<b>4</b>
Styring lokalt .....	4
Sekvensstyring .....	5
Forriglinger .....	5
<b>Indikeringer</b> .....	<b>6</b>
Driftsignaler .....	6
Alarmer .....	6
<b>Temperaturregulering</b> .....	<b>7</b>
Følere .....	7
Settpunkter til SD-anlegget .....	7
Fast Tilluftstemperatur .....	7
Trykk i kanal .....	7
Regulering VAV .....	7
Regulering .....	8
Strømbrudd .....	8
Kortslutning/Overbelastning .....	8



System:=360.001_VAV				
<b>Systemnummer</b>	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
<b>Bygg</b>	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
<b>Dato</b>	28.06.22	Plassering	Testhall	

# Systeminformasjon

## Ventilasjon

Anlegget består av roterende varmegjenvinner.

### **Tilluftsvifte -JV401:**

Start og hastighet av vifte styres av frekvensomformer –LR401, hastigheten reguleres etter høy/lav trykksettpunkt i programmet.

### **Avtrekksvifte -JV501:**

Start og hastighet av vifte styres av frekvensomformer –LR501, hastigheten reguleres etter høy/lav trykksettpunkt i programmet.

### **Varmebatteri –LV401:**

Varmebatteri med 3-veis ventil –SB401 og sirkulasjonspumpe –JP401, temperatur reguleres etter tilluftstemperatur –RT404

### **Kjølebatteri:**

Varmebatteri med 3-veis ventil –SB402 og temperatur reguleres etter tilluftstemperatur –RT404

### **Varmegjenvinner –LR001:**


Hastighet av varmegjenvinner styres av frekvensomformer –LR001, hastigheten reguleres etter tilluftstemperatur –RT404

## VAV

### **10 stk VAV av type TROX**

6 stk VAV på BACNET MSTP kommunikasjon

4 stk VAV på MODBUS kommunikasjon

System:=360.001_VAV				
Systemnummer	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
Bygg	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
Dato	28.06.22	Plassering	Testhall	

# Driftsinformasjon

## Styring lokalt

### Ventilasjonsaggregat styres via vender XS001 i tavlefront med pos.:

#### AV/RESET-PÅ:

- AV/RESET = Ventilasjonsaggregat stopper / PRI1 alarm resettes  
 PÅ = Ventilasjonsaggregat går kontinuerlig utifra UR.

### Luftmengde for VAV kan styres via vender XS002 i tavlefront med pos.:

#### MIN-AUTO-MAX:

- MIN = All VAV går til MIN luftmengde.  
 AUTO = All VAV følger vanlig regulering utifra temp/CO2 fra romfølere.  
 MAX = All VAV går til MAX luftmengde.

### Fast spjeldposisjoner samt sep. Avtr. Vifte styres via vender XS003 i tavlefront med pos.:

#### BYPASS(2)-AUTO(1)-VIFTE(3):

- BYPASS(2) = KA401, KA501, KA502 ÅPNE mens KA503, KA504, KA505 STENGT.  
 AUTO(1) = KA401, KA501, KA503, KA503 ÅPNE mens KA504, KA505 STENGT.  
 VIFTE(3) = KA401, KA503, KA505 ÅPNE mens KA501, KA502, KA504 STENGT. JV501 stopper og JV502 starter.

### Brannsignal styres via vender XS004 i tavlefront med pos.:


#### AUTO-BRANN:

- AUTO = Systemet følger brannsignal fra brannsentral.  
 BRANN = Systemet kjøres direkte i brannmodus.

### VAV'er for Lite Rom styres via vender XS005 i tavlefront med pos.:

#### Lite Rom-Korridor:

- LiteRom = SQ405 og SQ505 er styrende mens SQ404 og SQ504 er i 100% åpning.  
 Korridor = SQ404 og SQ504 er styrende mens SQ405 og SQ505 er i 100% åpning.

System:=360.001_VAV				
Systemnummer	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
Bygg	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
Dato	28.06.22	Plassering	Testhall	

## Sekvensstyring

### Startsekvens:

Spjeldmotor -KA501 for avtrekkspjeld åpner.

Avtrekksviften -JV501 starter etter avtrekkspjeldet har avgitt tilbamelding om full åpen.

Varmegjenvinner -LR001, får lov til å regulere etter settpunkt mot tilluftsføler -RT404.

Spjeldmotor -KA401 for inntaksspjeld åpner.

Tilluftsviften -JV401 starter etter tilluftspjeldet har avgitt tilbamelding om full åpen.

### Stoppsekvens:

Tilluftsvifte -JV401 og Avtrekksvifte -JV501 stopper. Spjeld -KA401 og -KA501 stenger.

Gjenvinner -LR001 stopper.

### Brannsekvens utløses ved detektert røyk i tilluftskanal.:

Ved utløst røykføler i tilluft skal aggregatet stanse momentant ved bryterstilling AUTO eller PÅ og driftstatus. VAV vil gå til 100% prosjektert luftmengde.

Utløst røykføler gir servicealarm til brannsentral.

Aggregat forblir stengt inntil bruker resetter anlegget.

### Brannsekvens utløses ved detektert røyk i avtrekkskanal.:

Ved utløst røykføler i avtrekk skal aggregatet koble ut frost/sikkerhetsfunksjoner.

Utløst røykføler gir servicealarm til brannsentral.

Aggregat går tilbake til forrige tilstand når røykføler blir normal.

### Brannsekvens utløses ved brannsentral.:

Ved utløst brann fra bygget skal aggregatet starte ved bryterstilling AUTO eller PÅ og normal.

Aggregatet vil gå opp til fulle prosjekterte luftmengder mens VAV går opp til maks luftmengde.

Gjenvinner vil øke til 100% pådrag uavhengig av reguleringsmodus.

Aggregat går tilbake til forrige tilstand når brannsignal fra sentral blir normal.


Dersom røykføler i tilluft utløser før brannsignal skal aggregat stoppe og forbli inntil bruker resetter anlegget.

## Forriglinger

### Ventilasjonsaggregat

Viftene er software-forriglet over:

1. Feilsignal fra frekvensomformervifter -JV401 og -JV501.
2. Feilsignal fra temp. føler tilluft -RT404.

System:=360.001_VAV				
Systemnummer	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
Bygg	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
Dato	28.06.22	Plassering	Testhall	


# Indikeringer

## Driftsignaler

- 360.001-JV401 Simluert driftsignal tilluftsvifte på SD-anlegg.  
 360.001-JV501 Simulert driftsignal avtrekksvifte på SD-anlegg.

## Alarmer

- 360.001-JV401 Ved utløst feil på frekvensomformer, registreres feilmelding i undersentral samt at aggregat går til posisjon stans. Må først resettes ved å gjøre frekvensomformer strømløs og deretter resettes via systemvender i tavlefront til AV og deretter tilbake til AUTO.
- 360.001-JV501 Ved utløst feil på frekvensomformer, registreres feilmelding i undersentral samt at aggregat går til posisjon stans. Må først resettes ved å gjøre frekvensomformer strømløs og deretter resettes via systemvender i tavlefront til AV og deretter tilbake til AUTO.
- 360.001-LR001 Ved utløst feil på frekvensomformer, registreres feilmelding i undersentral. Gjenvinner går i 0% helt til feilen er rettet opp.
- 360.001-RT401 Feilsignal sendes SD-anlegg når inntaksføler måler verdi utenfor måleområdet til temperaturføleren.
- 360.001-RT404 Feilsignal sendes SD-anlegg når tilluftsføler måler verdi utenfor måleområdet til temperaturføleren. Feilsignalet stanser aggregat.
- 360.001-RD401 Feilsignal filtervakt tilluft på SD-anlegg  
 RESET: Automatisk ved skifting av filter.  
*Trykkdifferansegiver for filter 1 alarmgrense.*
- 360.001-RD501 Feilsignal filtervakt avtrekk på SD-anlegg  
 RESET: Automatisk ved skifting av filter.  
*Trykkdifferansegiver for filter 1 alarmgrense.*
- 360.001-RD402 Feilsignal viftevakt tilluft på SD-anlegg eller lav trykk
- 360.001-RD502 Feilsignal viftevakt avtrekk på SD-anlegg eller lav trykk
- Det kan innstilles 2 alarmgrenser for lav luftmengde. Ved utløst alarm på laveste grense Lav luftmengde -feil i aggregat stopper tilluft- /fraluftvifte. Denne alarm må tilbakestilles lokalt i fordeling.  
 Ved alarm på høyeste grense avgis kun alarmsignal Lav luftmengde – høy grense. Ved avslått aggregat og ved oppstart er alarmer blokkert.
- 360.001-RY401 **Røykdetektor** i tilluftskanal avgir alarmsignal og stopper tilluftvifte etter innstilt forsinkelsestid. Etter at røykdetektor er i normal status (ikke røyk) skal alarm fra røykdetektor tilbakestilles fra bilde. Reset av røykdetektor skal utføres fra tavlefront ved å sette driftsvender i "AV posisjon" i 5 sekunder.

System:=360.001_VAV				
Systemnummer	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
Bygg	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
Dato	28.06.22	Plassering	Testhall	

360.001-RY501      **Røykdetektor** i avtrekkskanal avgir alarmsignal og kobler ut frost/sikkerhetsfunksjoner. Aggregat går tilbake til forrige tilstand når røykføler blir normal.

**RESET** : Når feil er rettet, resettes systemet ved å sette vender -S1 i "AV posisjon" i 5 sekunder.

# Temperaturregulering

## Følere

- RT404 Temperaturføler i tilluft.
- RT401 Temperaturføler i inntak.
- RT501 Temperaturføler i avtrekk.
- RT402 Temperaturføler etter varmegjenvinner
- RT502 Temperaturføler i avkast

## Settpunkter til SD-anlegget

### Fast Tilluftstemperatur

Et fast settpunkt styrer gjenvinner fra 0-100% ved varmebehov. Ved synkende varmebehov går gjenvinner 100-0%

Settpunkt er innstillbart fra SD.

### Trykk i kanal

360.001-RP401 SP Lav/høy      Settpunkt for konstant trykk i tilluft. Settpunktet veksler mellom høy og lav utifra utetemperatur (Innstillbart fra SD).


360.001-RP501 SP Lav/høy      Settpunkt for konstant trykk i avtrekk. Settpunktet veksler mellom høy og lav utifra utetemperatur (Innstillbart fra SD).

## Regulering VAV

### Regulering VAV etter romfølere:

- SQ401, -SQ403, -SQ501 og -SQ502 reguleres utifra romføler -RT/RY601
- SQ404, -SQ405, -SQ504 og -SQ505 reguleres utifra romføler -RT/RY602
- SQ405 og -SQ504 reguleres utifra romføler -RT/RY603

Alle romfølere har settpunkt for temperatur og CO2, innstillbart fra SD.

System:=360.001_VAV				
<b>Systemnummer</b>	=360.001	Anleggsbetegnelse	Ventilasjon	
<b>Bygg</b>	Bygg +01	Betjener	Korridor pluss rom	
<b>Dato</b>	28.06.22	Plassering	Testhall	

## Regulering

### **Regulering ventilasjon etter utekompensering:**

Fast settpunkt mot tilluftstemperaturen -RT404

Ved varmebehov økes pådraget gjenvinner -LR001

### **Spjeld optimizer funksjon**

Alle VAV spjeld leser av sin posisjon i %. Den høyeste posisjonen blir videresendt til undersentral som endrer settpunktet for trykket utifra en Min settpunkt og Maks settpunkt.

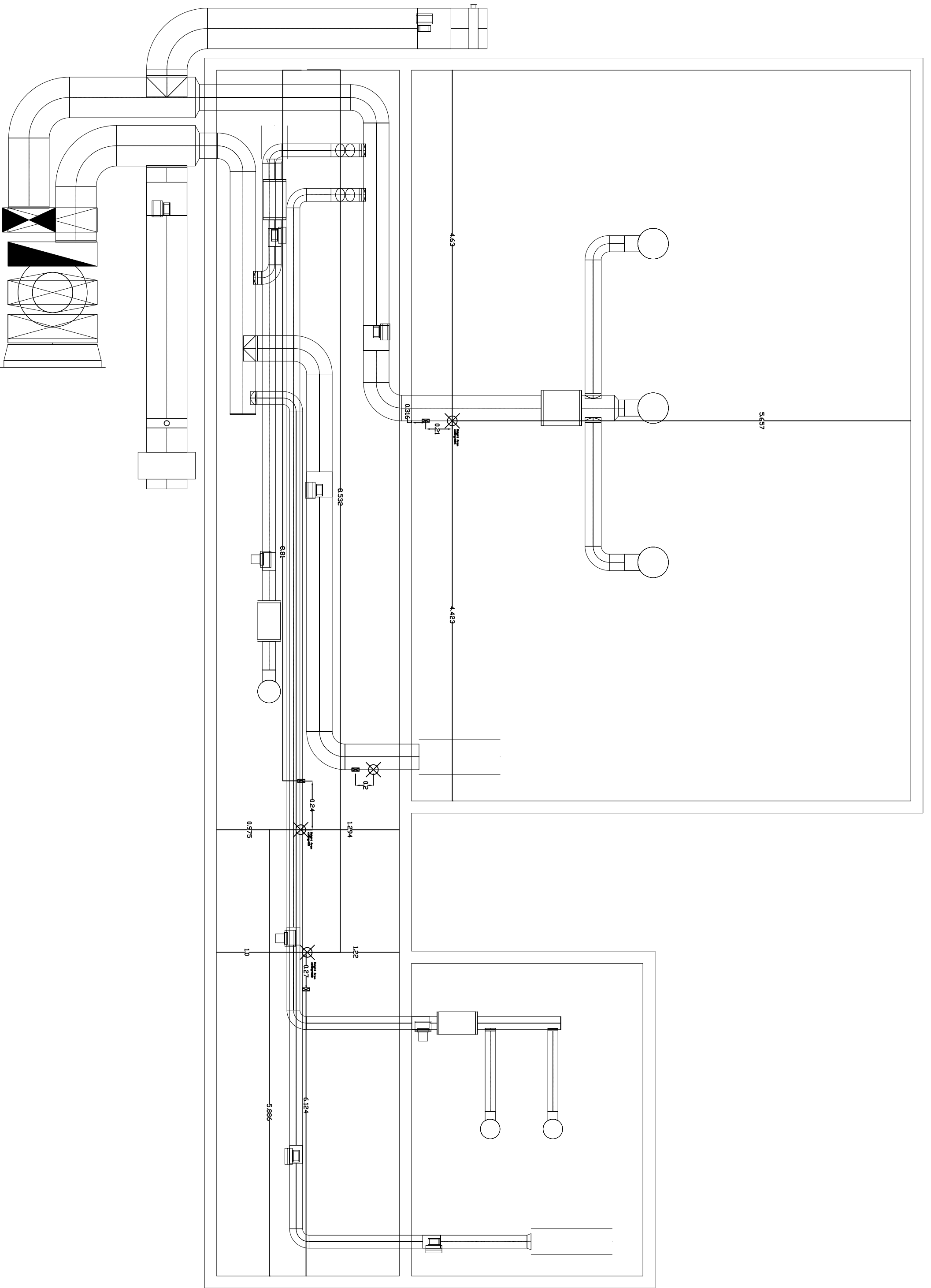
## Strømbrudd

ETTER STRØMBRUDD starter systemet automatisk opp.

## Kortslutning/Overbelastning

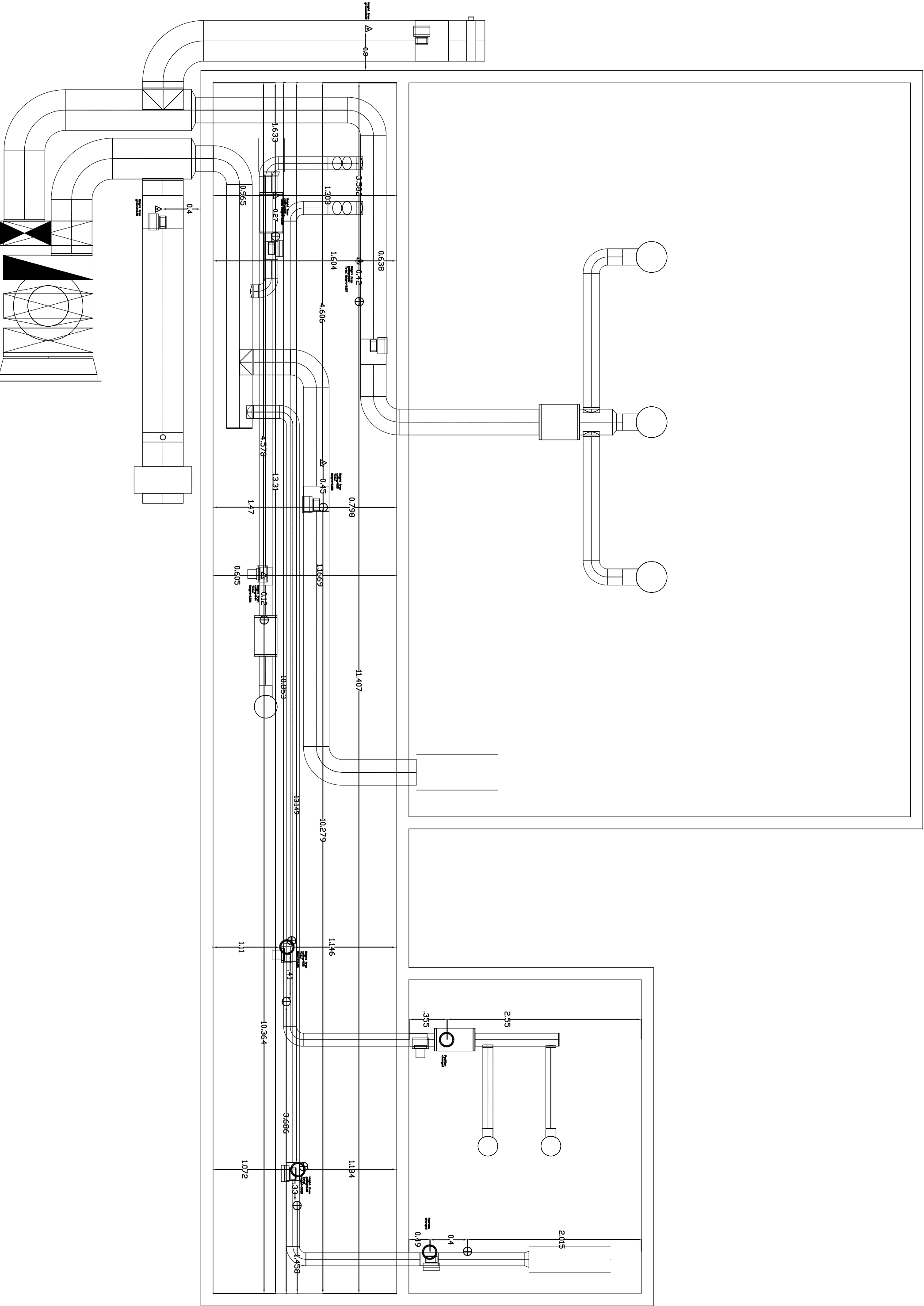
MOTORVERNBYTER/SIKRING skal slå ut ved overbelastning og må tilbakestilles manuelt.

## Vedlegg E - Bidireksjonale prober og gassmålinger

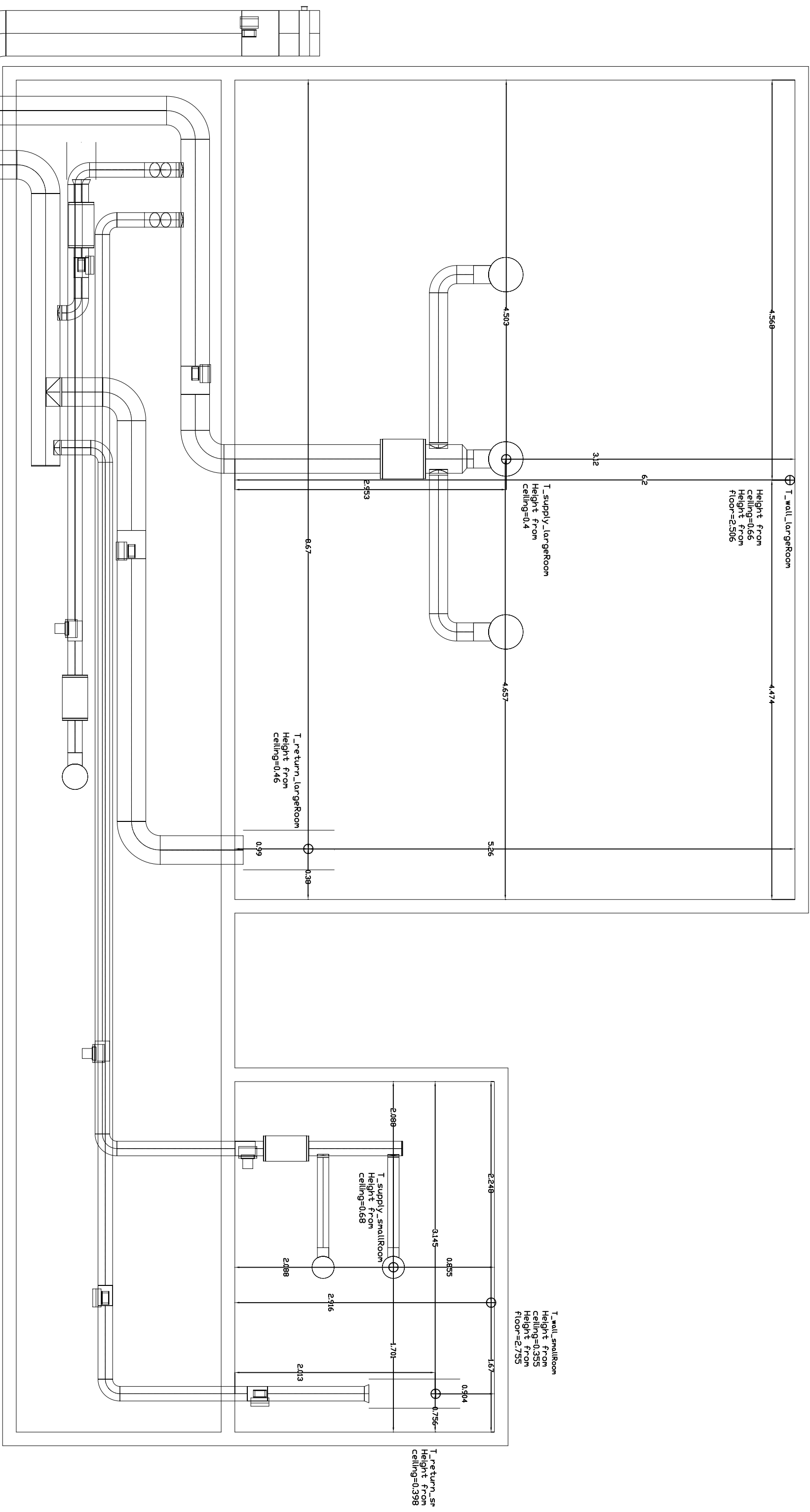




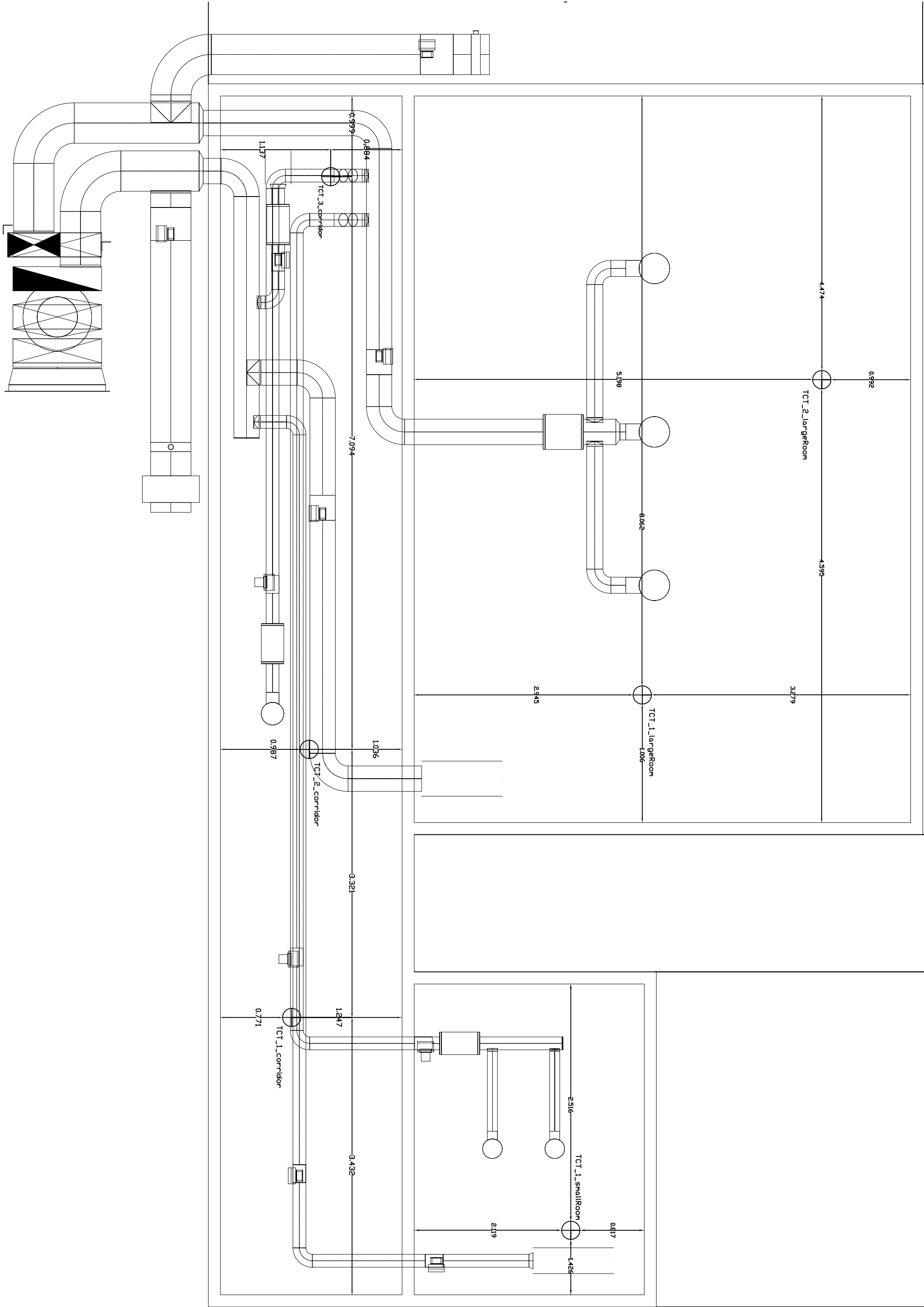
## Vedlegg F - Spjeldposisjoner



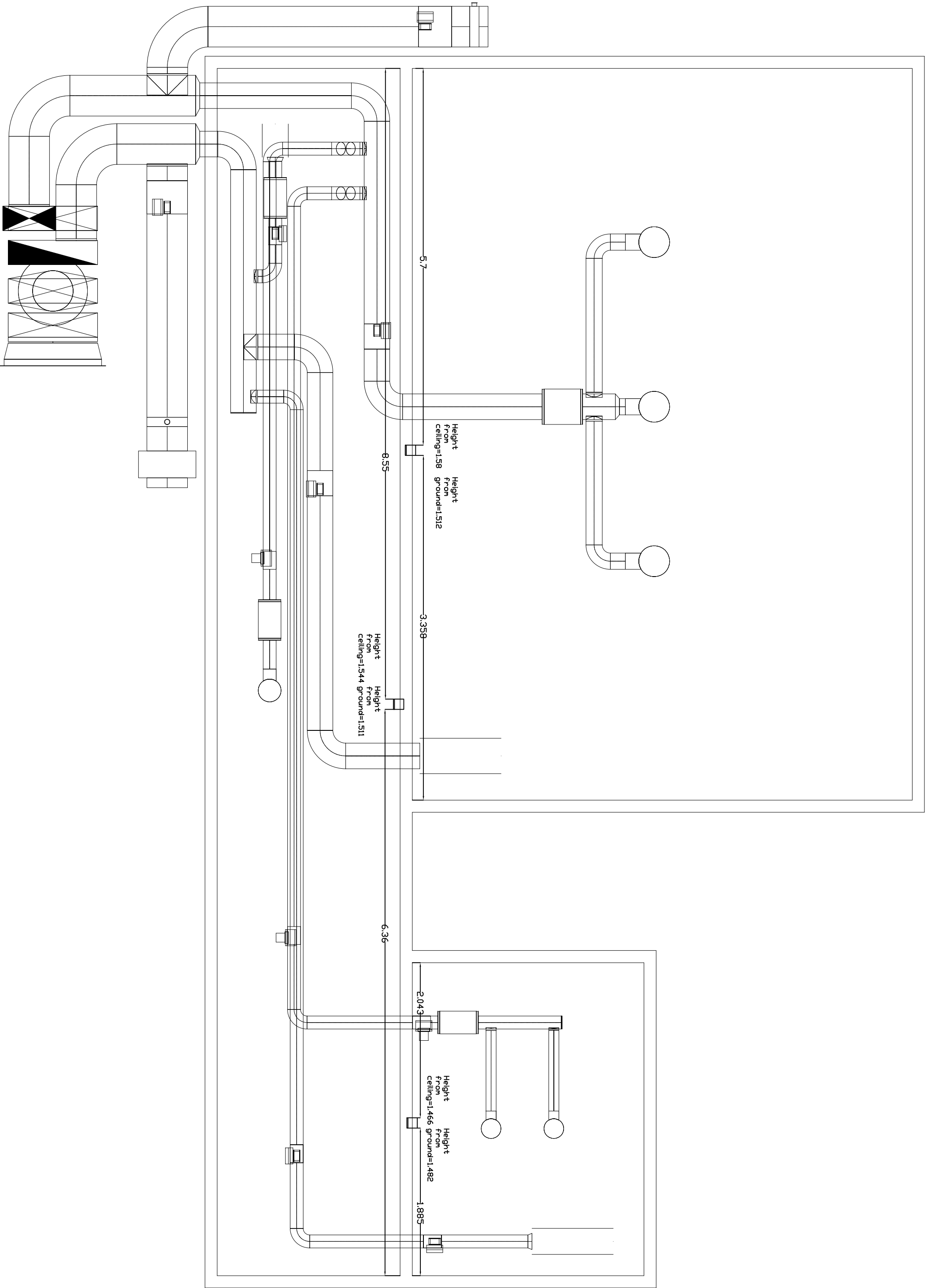
## Vedlegg G - Temperaturmålinger ventilasjon



## Vedlegg H - Temperaturmålinger i rom

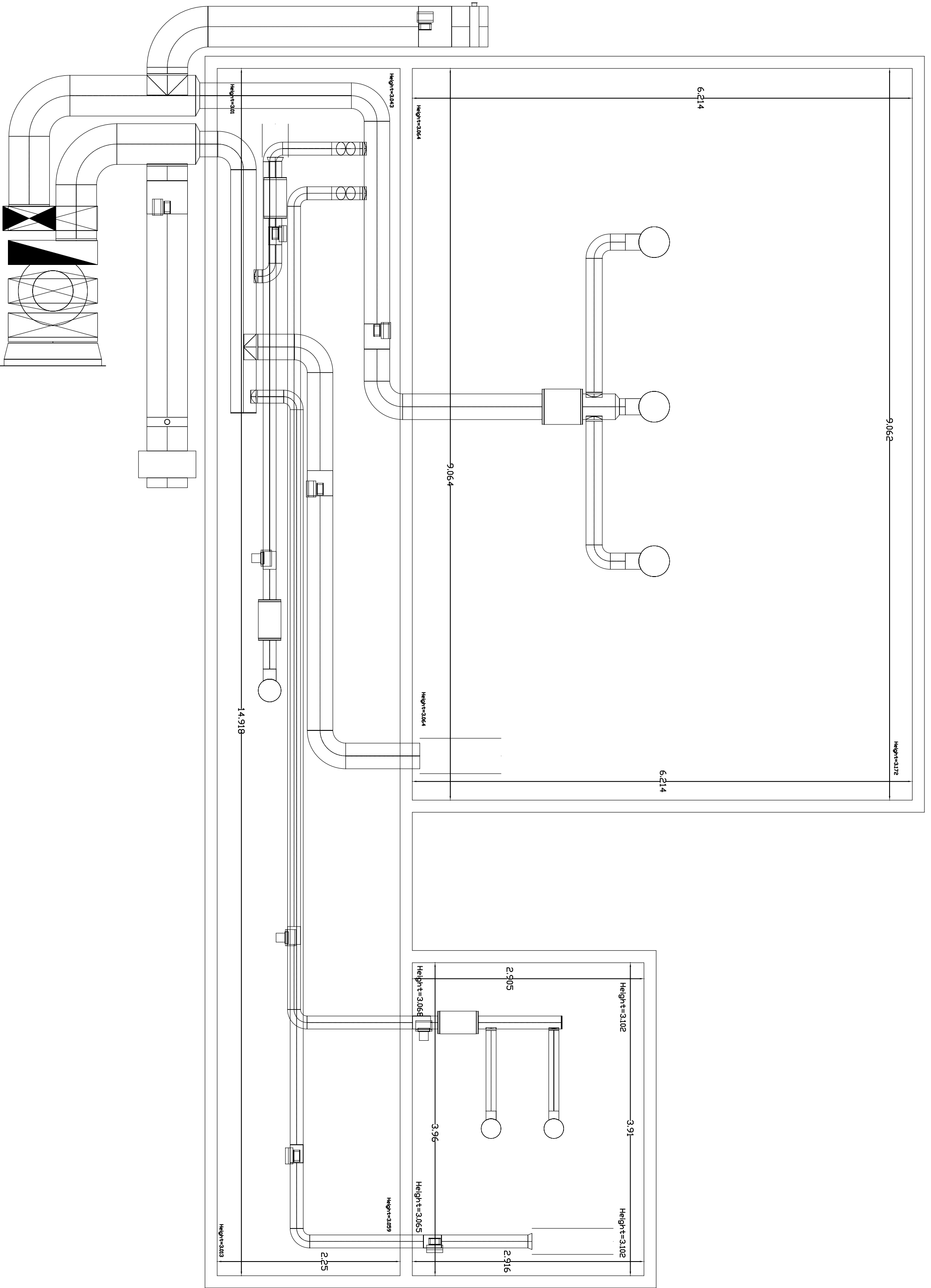


## Vedlegg I - Veggmonterte sensorer





## Vedlegg J - Dimensjoner bygg

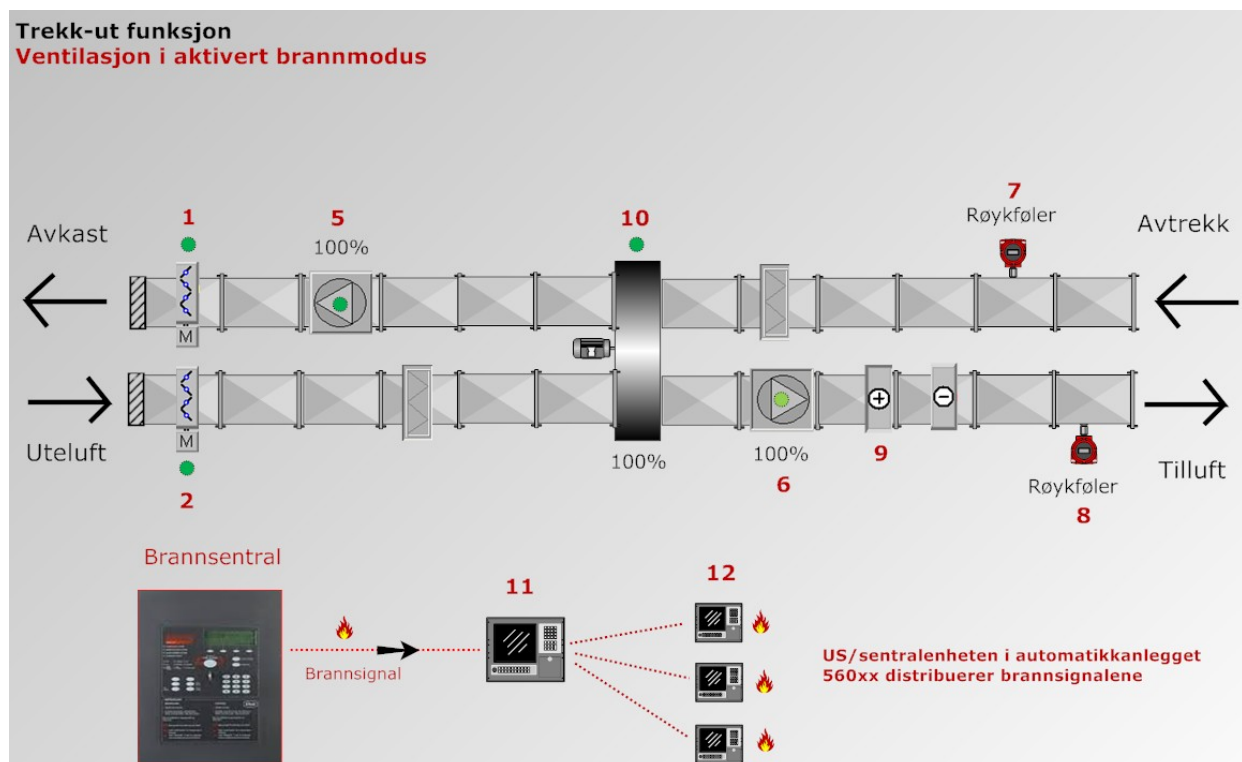


## Vedlegg K - Brannstrategi ventilasjon der hovedkravet om Steng inne ikke er mulig

## 1 Brannstrategi ventilasjon der hovedkravet om «Steng inne» ikke er mulig

For eksisterende byggverk/eldre anlegg der hovedkravet om «Steng inne» ikke er mulig, så er funksjonsløsningene for brannstrategiene er forklart her. Hvilken brannstrategi som skal benyttes, bestemmes i hvert enkelt prosjekt iht. Prosedyre ID 499 «Tekniske og FDV begrunnende krav», «NOTAT brann og automasjon 07.02.2020» og «Veileder for brannsikkerhet versjon 1.3».

### 1.1 Trekk ut



#### Utløst brannsignal

- Samtlige aggregater skal momentant starte/fortsette i drift med 100% kapasitet (prosjekttert) ved utløst brannsignal uavhengig av tid/ferieprogram/kalender og posisjon til SD-vender.
- Gjenvinnere (10) skal starte/øke til 100% pådrag.
- Varmebatterier (9) skal starte/fortsette i normal drift.
- Avkast- (1) og inntaksspjeld (2) åpner.
- Tilluft (6) og avtrekksvifter (5) starter parallelt etter åpning av avkast- (1) og inntaksspjeld (2) og uten sekvensstart (forsinket tilluft) dersom aggregatet er i AV-modus (utenfor driftstid).
- Eventuelle VAV-systemer får signal om 100% prosjekterte luftmengder.
- Hvis røykføler (8) i tilluft er aktivert før brannsignal blir utløst skal aggregatet fortsatt stå.
- Hvis tavlevender står i posisjon "AV" skal aggregatet fortsatt stå.

#### Røykføler avtrekk (7)

- Adresserbare røykføler overvåket av brannsentralen
- Aktivert røykføler utløser ikke brannalarm, kun signal (servicealarm) til brannalarmsentral og automatikk, samt visning på SD-anlegg.

- Aktivert røykføler kobler ut aggregatets frost/sikkerhetsfunksjoner

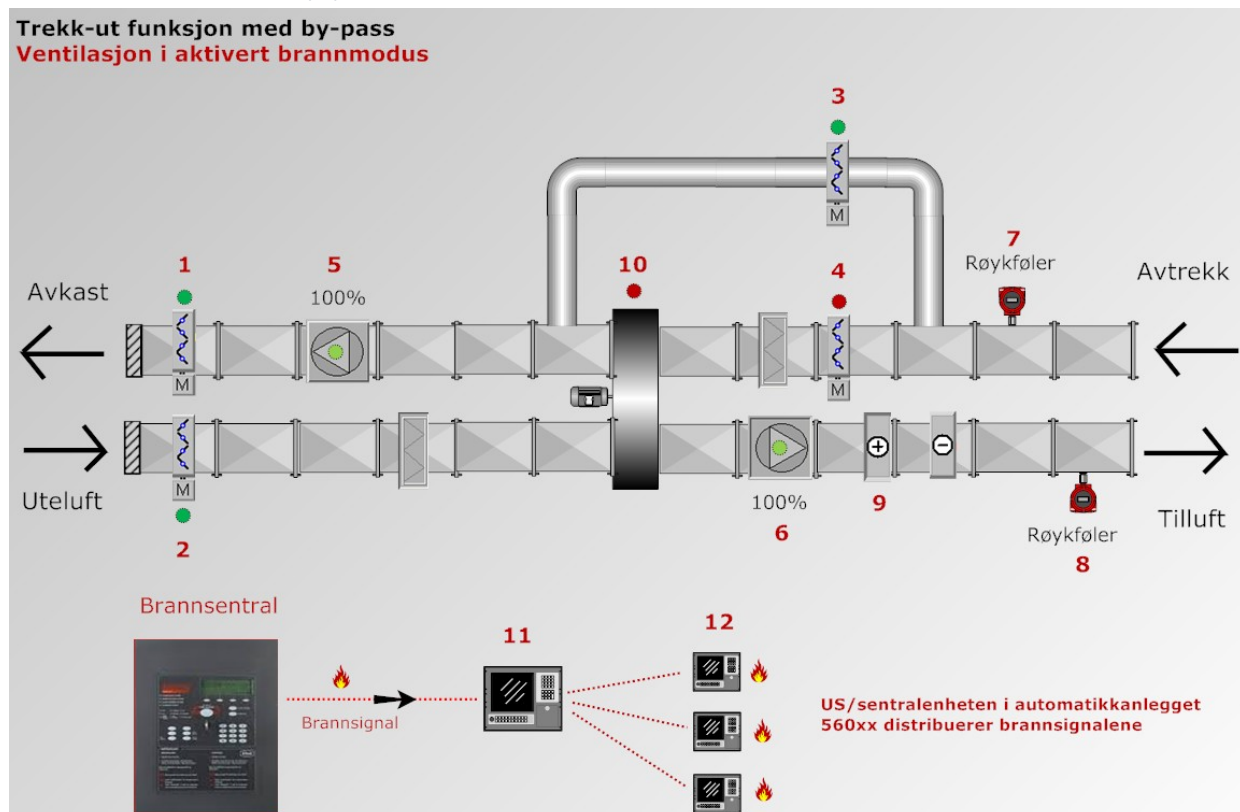
**Røykføler tilluft (8)**

- Adresserbare røykføler overvåket av brannsentralen
- Aktivert røykføler utløser ikke brannalarm, kun signal (servicealarm) til brannalarmsentral og automatikk, samt visning på SD-anlegg.
- Aktivert røykføler stopper aggregatet. Denne funksjonen bortfaller hvis røykføler (7) i avtrekk og samtidig aktivt brannsignal er utløst først.

**Brannsentral**

- Brannsentralens styresignal til ventilasjon kobles som hardware (digital inngang DI) mot automasjonsanlegget i undersentral US (11) "master" (kun 1 pkt.)
- Signalet videresendes fra "master" US (11) til resterende US (12) for ventilasjon.

## 1.2 Trekk ut med by-pass

**Utløst brannsignal**

- Samtlige aggregater skal momentant starte/fortsette i drift med 100% kapasitet (prosjektert) ved utløst brannsignal uavhengig av tid/ferieprogram og posisjon til SD-vender.
- Gjenvinnere (10) skal starte/øke til 100% pådrag.
- Varmebatterier (9) skal starte/fortsette i normaldrift.
- Spjeld (4) foran filter i avtrekk stenger og bypass-spjeld (3) åpner.
- Avkast- (1) og inntaksspjeld (2) åpner.
- Tilluft (6) og avtrekksvifter (5) starter parallelt etter åpning av avkast- (1) og inntaksspjeld (2) og uten sekvensstart (forsinket tilluft) dersom aggregatet er i AV-modus (utenfor driftstid).

- Eventuelle VAV-systemer får signal om 100% prosjekterte luftmengder.
- Hvis røykføler (8) i tilluft er aktivert før brannsignal blir utløst skal aggregatet fortsatt stå.
- Hvis tavlevender står i posisjon "AV" skal aggregatet fortsatt stå.

**Røykføler avtrekk (7)**

- Adresserbare røykføler overvåket av brannsentralen.
- Aktivert røykføler utløser ikke brannalarm, kun signal til brannalarmsentral og automatikk, samt visning på SD-anlegg.
- Aktivert røykføler kobler ut aggregatets frost/sikkerhetsfunksjoner.

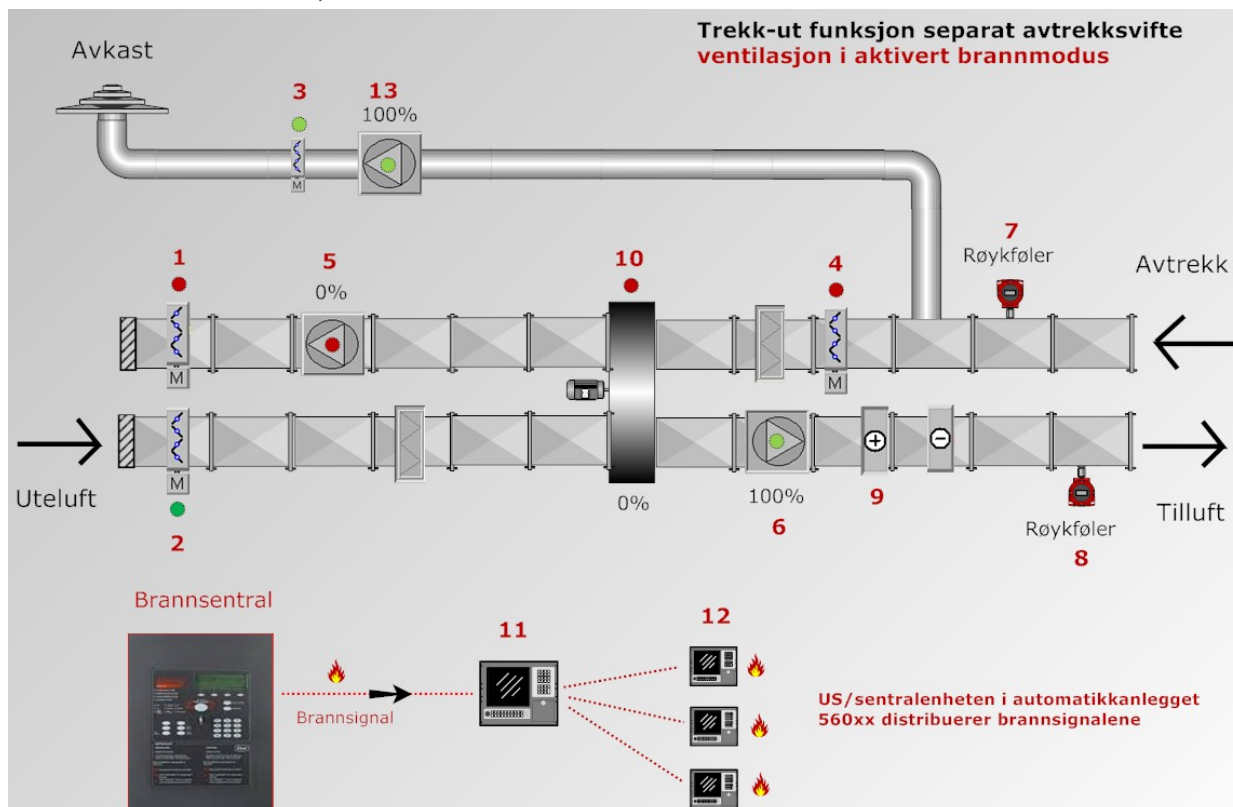
**Røykføler tilluft (8)**

- Adresserbare røykføler overvåket av brannsentralen
- Aktivert røykføler utløser ikke brannalarm, kun signal til brannalarmsentral og automatikk, samt visning på SD-anlegg.
- Aktivert røykføler stopper aggregatet. Denne funksjonen bortfaller hvis røykføler (7) i avtrekk og samtidig aktivt brannsignal er utløst først.

**Brannsentral**

- Brannsentralens styresignal til ventilasjon kobles som hardware (digital inngang DI) mot automasjonsanlegget i undersentral US (11) "master" (kun 1 pkt.)
- Signalet videresendes fra "master" US (11) til resterende US (12) for ventilasjon.

1.3 Trekk ut med separat avtrekksvifte



## Utløst brannsignal

- Samtlige aggregater skal momentant starte/fortsette i drift med 100% kapasitet (prosjektert) ved utløst brannsignal uavhengig av tid/ferieprogram og posisjon til SD-vender.
- Gjenvinnere (10) skal starte/øke til 100% pådrag.
- Varmebatterier (9) skal starte/fortsette i normaldrift.
- Spjeld (4) foran filter i avtrekk stenger, bypass-spjeld (3) åpner og brannavtrekksvifte (13) starter med 100% pådrag.
- Avtrekksvifte (5) stopper, avkastspjeld (1) stenger og inntaksspjeld (2) åpner.
- Tilluftsviften (6) starter etter åpning av inntaksspjeld (2) uten sekvensstart (forsinket tilluft) dersom aggregatet er i AV-modus (utenfor driftstid).
- Eventuelle VAV-systemer får signal om 100% prosjekterte luftmengder.
- Hvis røykføler (8) i tilluft er aktivert før brannsignal blir utløst skal aggregatet fortsatt stå.
- Hvis tavlevender står i posisjon "AV" skal aggregatet fortsatt stå.

## Røykføler avtrekk (7)

- Adresserbare røykføler overvåket av brannsentralen.
- Aktivert røykføler utløser ikke brannalarm, kun signal til brannalarmsentral og automatikk, samt visning på SD-anlegg.
- Aktivert røykføler kobler ut aggregatets frost/sikkerhetsfunksjoner.

## Røykføler tilluft (8)

- Adresserbare røykføler overvåket av brannsentralen.
- Aktivert røykføler utløser ikke brannalarm, kun signal til brannalarmsentral og automatikk, samt visning på SD-anlegg.
- Aktivert røykføler stopper aggregatet. Denne funksjonen bortfaller hvis røykføler (7) i avtrekk og samtidig aktivt brannsignal er utløst først.

## Brannsentral

- Brannsentralens styresignal til ventilasjon kobles som hardware (digital inngang DI) mot automasjonsanlegget i undersentral US (11) "master" (kun 1 pkt.).
- Signalet videresendes fra "master" US (11) til resterende US (12) for ventilasjon.

**RISE – Research Institutes of Sweden**  
ri.se / info@ri.se / post@risefr.no / (+47) 464 18 000 / risefr.no  
Postboks 4767 Torgarden, 7465 TRONDHEIM

RISE Fire Research  
RISE Rapport: 2024:37  
ISBN: 978-91-89896-94-9

