



Høgskulen
på Vestlandet

BACHELOROPPGAVE

Ventilasjon sin effekt på personsikkerhet i
saktevoksende branner

The effect of ventilation on personal safety in slow-
growing fires

203 Mads Gimre

209 Adrian Oliver Steinfjell

214 Roy Martin Adolfsen Stiberg Pettersen

Fakultet for teknologi, miljø- og samfunnsvitenskap

Institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniørfag

Intern veileder: Jon Arve Brekken

Ekstern veileder: Stefan Andersson

Innleveringsdato: 20.05.2025

Vi bekrefter at arbeidet er selvstendig utarbeidet, og at referanser/kildehenvisninger til alle kilder som er brukt i arbeidet er oppgitt, jf. Forskrift om studium og eksamen ved Høgskulen på Vestlandet, § 12-1.

Forord

Rapporten utgjør bacheloroppgaven ved Høgskolen på Vestlandet, campus Haugesund, våren 2025, og avslutter den treårige branningeniørutdanningen ved Institutt for sikkerhet, kjemi- og bioingeniør. Idéen til bacheloroppgaven ble fremmet av Norconsult, et ledende nordisk rådgivningsselskap innen ingeniørfag, arkitektur og digitalisering. Gjennom tett samarbeid har Norconsult bidratt med faglig veiledning og økonomisk støtte til anskaffelse av materialer og utstyr.

Særtrekket ved bacheloroppgaven er en detaljert analyse av ventilasjonsanleggets påvirkning på brannforholdene i startbranncellen – området med flest omkomne ved boligbranner. Gjennom kalibrerte simuleringer og fullskala forsøk i et 5 m × 2 m × 2,4 m (l × b × h) rom, dokumenteres hvordan ventilasjonsløsningene steng inne og trekk ut påvirker sikttap, røykspredning og gasskonsentrasjon. Det undersøkes også hvordan valg av ventilasjonsløsning kan forlenge rømningstid og redusere helsefare i et tidlig brannforløp.

Det rettes en varm takk til Stefan Andersson ved Norconsult for uvurderlig veiledning gjennom samtlige prosjektfaser. Hans bidrag har omfattet problemstillingens presisering, oppsett og kalibrering av simuleringer samt bistand under gjennomføring av de eksperimentelle forsøkene.

Videre takkes Lindab for å stille ventilasjonsanlegg med styringsenhet til disposisjon og for demonstrasjon ved Maersk, noe som var avgjørende for å unngå forenklete løsninger. Anita Meyer og Arjen Kraaijeveld takkes for hjelp ved utførelse av de kalde og varme forsøkene, mens Bjarne B. P. Husted anerkjennes for ekspertise i oppsett av parameterne i simuleringsprogrammet Pathfinder. RISE har bidratt med metodeinnspill for siktmåling og relevant rapportgjennomgang.

Takk rettes også til Jon Arve Brekken for språklig gjennomgang og konstruktive tilbakemeldinger, samt til ansatte ved biblioteket ved Høgskolen på Vestlandet for støtte i litteratursøk og kildehenvisninger.

Haugesund, 19.05.2025



Adrian Steinfjell



Mads Gimre



Roy Martin A. S. Pettersen

Sammendrag

Statistikk fra norske dødsbranner viser at røykforgiftning er hovedårsaken til tap av liv, og at om lag 90–94 % av omkomne finnes i startbranncellen. Særlig sårbare grupper (eldre, ruspåvirkede, psykisk syke) har ofte redusert evne til rask rømning, og trenger forlenget levelig tid. Valg av ventilasjonsløsning kan bidra til økt personsikkerhet for disse utsatte gruppene. Dette er i liten grad blitt belyst i tidligere studier. Noen mener at steng inne-løsningen er best på å ivareta relevante krav. Kan det likevel være slik at trekk ut-løsningen er bedre i noen situasjoner, hvor steng inne-løsningen er mindre egnet?

Bacheloroppgaven undersøker hvordan to ulike ventilasjonsløsninger – «trekk ut» vs. «steng inne» – påvirker personsikkerheten ved saktevoksende branner i små rom. Helt konkret handler det om å måle gasskonsentrasjoner (CO , CO_2 , O_2), sikt og temperatur i et $5 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ testrom, både ved FDS-simuleringer i PyroSim og i praktiske forsøk med «kalde» røykmaskiner og «varme» branner med trepellets og ekspandert polystyren (EPS).

På bakgrunn av tidligere studier og teori formuleres tre hypoteser:

- (i) Trekk ut-løsning vil gi lavere gasskonsentrasjoner og bedre sikt enn steng inne-løsning.
- (ii) Forskjellen mellom simulering og eksperimentelle forsøk vil være noe ulik på verdier, men begge viser samme prinsipp.
- (iii) Sammenhengen mellom sikt og gassnivå i forsøkene vil korrespondere med tabell 5 hentet fra SN/INSTA 950.

Studien avgrenser seg til røykutvikling og sikt i startbranncellen, og inkluderer ikke andre brannbeskyttende tiltak som sprinklersystemer eller materialers brannmotstand. Metodisk er arbeidet delt i tre hoveddeler: først et teori/litteraturstudie, der blant annet statistikk over dødsbranner i Norge dokumenterer at røykforgiftning er den ledende dødsårsaken. Deretter modelleres ulike brannscenarier i PyroSim i det planlagte testrommet med brennmaterialer som trepellets og ekspandert polystyren (EPS). Til slutt gjennomførtes praktiske forsøk i samme testrom, både med «kalde» røykmaskin- og «varme» brann forsøk.

Simuleringene viste at testrommet egnet seg for å sammenligne ventilasjonsløsningene. Trekk

ut-løsningen holdt lavere nivåer av branngasser og bedre sikt, mens steng inne-løsningen hadde høyere gasskonsentrasjoner og dårligere sikt.

Videre bekreftet de eksperimentelle forsøkene dette. Med steng inne-løsning steg CO/CO₂ raskt og O₂ falt brått, og rømningsskiltet forsvant etter 7–12 minutter, mens aktiv uttrekking senket gassnivåene og sikret synlighet i opptil 19 minutter. Temperaturene forble moderate (rundt 35 °C), noe som indikerer at sprinkleranlegget ikke ville blitt utløst.

Hypotese (i): Utredningen dokumenterer at trekk ut-løsningen gir vesentlig lavere gasskonsentrasjoner og bedre sikt enn steng inne-løsningen ved saktevoksende branner i små rom. Eksperimentene viste at tiden før sikten falt til 5 m kunne forlenges med flere minutter.

Hypotese (ii): Simuleringene og de praktiske forsøkene avviker noe i absolutte tall, men de bekrefter samme underliggende trend.

Hypotese (iii): Både simulering og eksperimentelle målinger viste liten eller ingen korrelasjon mellom sikt og gasskonsentrasjon i de studerte scenarioene.

På bakgrunn av statistikk for utsatte grupper i brann kommer det frem at det er en problematikk knyttet til rømning og redning. Det gjør at de ofte ikke klarer å rømme raskt, eller at de trenger å bli hentet ut ved brann. Det er derfor svært viktig at en opprettholder gode forhold i startbranncellen lenge ved brann.

I tilfeller med raskere voksende branner og at en har sprinkleranlegg så kan en forvente at det vil virke tilfredsstillende. Ved mindre eller saktevoksende branner vil derimot sprinklersystemet ikke alltid utløses, og da blir det avgjørende at ventilasjonsanlegget bidrar til å opprettholde trygge forhold i startbranncellen over lengre tid.

Studien konkluderer med at trekk ut-løsningen kan forlenge levelig tid og forbedre rømningsforhold vesentlig. Dette bør tas hensyn til ved valg av brannsikringsstrategi for ventilasjonsanlegg.

Abstract

Statistics from fatal residential fires in Norway show that smoke inhalation is the primary cause of death, and that approximately 90–94 % of victims are found within the room of fire origin. Especially vulnerable groups (the elderly, intoxicated persons, those with mental illness) often have a reduced ability to escape quickly and thus require an extended tenability period. The choice of ventilation strategy can help to improve life safety for these at-risk groups — an aspect that has been little explored in previous studies. Some experts argue that a “containment strategy” approach best meets the relevant safety requirements; yet it may be that in certain scenarios a “extraction strategy” solution is more appropriate, where “containment strategy” is less effective.

This bachelor thesis examines how two different ventilation strategies — “extraction strategy” versus “containment strategy” — affect occupant safety in slow-developing fires in small compartments. Specifically, gas concentrations (CO, CO₂, O₂), visibility, and temperature were measured in a 5 m × 2 m × 2.4 m test room, both through FDS simulations in PyroSim and through practical experiments using “cold” smoke generators and “hot” fires fueled.

Based on earlier studies and established theory, three hypotheses were formulated:

- i. The extraction strategy will result in lower gas concentrations and better visibility than the containment strategy.
- ii. Although absolute values may differ between simulation and experimental results, both will exhibit the same overall trend.
- iii. The relationship between visibility and gas concentrations in the experiments will correspond to Table 5 of SN/INSTA 950.

The study is limited to smoke development and visibility within the room of origin and does not consider other fire protection measures such as sprinkler systems or material fire resistance. Methodologically, the work is divided into three main phases:

1. A theory and literature review, documenting Norwegian fatal-fire statistics that identify smoke inhalation as the leading cause of death.
2. FDS modelling of various fire scenarios in the planned test room, using wood pellets

and EPS as fuels.

3. Practical fire tests in the same room, employing both “cold” smoke-machine trials and “hot” fires.

Simulation results confirmed that the test room was suitable for comparing ventilation strategies. The extraction strategy maintained lower levels of toxic gases and higher visibility, whereas the containment strategy produced higher gas concentrations and poorer visibility. Experimental trials corroborated these findings: under the containment strategy, CO and CO₂ levels rose rapidly and O₂ levels plummeted, obscuring the escape sign after 7–12 minutes; active extraction strategy ventilation, by contrast, kept gas levels down and ensured visibility for up to 19 minutes. Temperatures remained moderate (around 35 °C), suggesting that a sprinkler system would not have been triggered had one been installed.

Hypothesis (i): The results demonstrate that the extraction strategy yields lower toxic-gas concentrations and better visibility than the containment strategy in slow-growing fires in small rooms. In experiments, the time until visibility dropped below 5 m was extended by several minutes.

Hypothesis (ii): Although simulation and experimental absolute values differ, both methods confirm the same underlying trend.

Hypothesis (iii): Both simulation and experimental measurements showed little or no correlation between visibility and gas concentration in the scenarios studied.

Statistics on vulnerable groups in fires highlight significant challenges for evacuation and rescue: such occupants often cannot escape unaided and may need to be rescued by responders. Therefore, maintaining tenable conditions in the fire-origin room for as long as possible is critical. In cases of faster-developing fires with a working sprinkler system, one can expect satisfactory protection; however, in smaller or slower-developing fires, sprinklers may not activate, making it crucial for the ventilation system to sustain safe conditions in the room of origin over an extended period.

The study concludes that the extraction strategy can significantly prolong tenability and improve escape conditions. This finding should be considered when selecting fire-protection strategies for mechanical ventilation systems.

Innholdsfortegnelse

Forord	I
Sammendrag.....	III
Abstract	V
Innholdsfortegnelse	IX
Begrepsavklaring.....	XV
Notasjon	XIX
1. Innledning.....	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemdefinering.....	2
1.2.1 Hypoteser	2
1.3 Rapportens oppbygning.....	3
1.4 Avgrensninger	4
2. Teori/Litteraturstudie	5
2.1 Branner: Skader, omkomne og risikofaktorer	5
2.1.1 Antall omkomne	6
2.1.2 Skader på personer etter brann	6
2.1.3 Utsatte grupper	7
2.1.4 Dødsårsaker	9
2.1.5 Hvor omkomne ble funnet.....	9
2.1.6 Spesifikke utfordringer: elektriske branner og ulmebranner.....	10
2.1.7 Toksiske grenseverdier og helserisiko ved eksponering for branngasser	11
2.2 Ventilasjonsanleggs funksjon under brann	13
2.2.1 Prinsipper for ventilasjon stoppet under brann (Steng inne-løsning).....	14

2.2.2	Prinsipper for ventilasjon i drift under brann (trekk ut-løsning).....	14
2.2.3	Ventilasjonsanleggets påvirkning på rømningstid	14
2.3	Brannforløp: utvikling fra antennelsesfase til utbrenningsfase.....	15
2.3.1	Antennelsesfase	16
2.3.2	Vekstfasen	16
2.3.3	Fullt utviklet brann	17
2.3.4	Utbrenningsfasen.....	17
2.4	Brannodynamikk	17
2.4.1	Energiproduksjon	18
2.4.2	Røykproduksjon	19
2.5	Simuleringsverktøy	21
2.6	Regelverk	21
2.6.1	Regelverk for RIBr.....	22
2.6.2	Regelverk for RIV	24
2.6.3	Fravik	25
2.7	Tidligere forskning på ventilasjon og brann	25
2.7.1	BRAVENT-Prosjektene	25
2.7.2	Forskning på sikt i røyk fra Japan	26
3.	Metodikk	28
3.1	Metode – Teori/Litteraturstudie	28
3.2	Metode – Simulering.....	28
3.3	Metode – Eksperimenter i testrom	28
4.	Eksperimentelt oppsett	31
4.1	Preliminære forsøk	31
4.2	Eksperiment 1: Simulering.....	32

4.2.1	Utstyrliste.....	32
4.2.2	Prosedyre	32
4.3	Oppsett av testrom.....	32
4.3.1	Utstyrliste.....	32
4.3.2	Prosedyre	32
4.4	Eksperiment 2: Kalde forsøk.....	33
4.4.1	Utstyrliste.....	33
4.4.2	Prosedyre	33
4.5	Eksperiment 3: Varme forsøk	34
4.5.1	Utstyrliste.....	34
4.5.2	Prosedyre	34
5.	Resultat.....	38
5.1	Teori/Litteraturstudie	38
5.2	Simulering	38
5.2.1	Trepellets	40
5.2.2	EPS	43
5.3	Kalde forsøk	46
5.4	Varme forsøk.....	49
5.4.1	Trepellets	49
5.4.2	EPS	54
5.4.3	Skummadrass	58
6.	Diskusjon.....	62
6.1	Hypotesediskusjon	62
6.1.1	Hypotese i.....	62
6.1.2	Hypotese ii.....	63

6.1.3	Hypotese iii	64
6.2	Oppgavens gyldighet og pålitelighet.....	67
6.2.1	Statistikk.....	67
6.2.2	Testrom.....	67
6.2.3	Brannkilder.....	68
6.2.4	Eksperimentene	69
6.2.5	Repeterbarhet	70
6.3	Overførbarhet til virkelige scenarioer	70
6.4	Steng inne- vs Trekk ut-løsning	72
7.	Konklusjon	74
8.	Anbefalinger for videre arbeid	75
	Referanser.....	76
	Liste over figurer.....	80
	Liste over tabeller.....	83
Vedlegg A.	Konkalorimeter Trepellets.....	84
Vedlegg B.	Konkalorimeter EPS.....	85
Vedlegg C.	Utstyrsliste simulering.....	86
Vedlegg D.	Prosedyre Simulasjon FDS.....	87
Vedlegg E.	Utstyrsliste testrom.....	95
Vedlegg F.	Prosedyre testrom	98
Vedlegg G.	Utstyrsliste kalde forsøk.....	100
Vedlegg H.	Utstyrsliste varme forsøk	101

Begrepsavklaring

I bruk av generelle brannterminologiske begreper benyttes Kollegiet for Brannfaglig Terminologi (KBT), ved forklaring av begrep [1].

Begrep	Forklaring
<i>Arnested</i>	Sted der brannen har startet
<i>Backdraft</i>	Tilluftsantennelse med så rask forbrenning at volumøkningen av branngassene fører til at flammer presses ut av rommet
<i>BF 85</i>	Byggeforskrift 1985
<i>Branncelle</i>	Hel eller avgrenset del av byggverk hvor en brann fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre bygninger eller deler av byggverket i løpet av en fastsatt tid
<i>Brannscenario</i>	Kvalitativ beskrivelse av forløpet av en brann med hensyn til tid, med angivelse av spesifikke hendelser som karakteriserer den analyserte brannen og skiller den fra andre mulige branner
<i>Brannsikringstiltak</i>	Tiltak med formål å forebygge brann eller redusere konsekvensene av brann
<i>Brannspjeld</i>	Spjeld med brannmotstand som hindrer brannspredning i ventilasjonskanal. Spjeldet lukkes ved varme eller signal fra detektor
<i>BRAVENT rapporter</i>	Forskningsprosjekt utført hos RISE Fire Research med fokus på effektiv ventilasjon av røyk, spesielt i skoler.
<i>EPS</i>	Ekspandert polystyren (EPS) er en type isopor som ofte brukes som isolasjon, særlig i gulv.

Begrep	Forklaring
<i>FDS</i>	Fire Dynamics Simulator (FDS) er et avansert simuleringsverktøy, som i hovedsak simulerer brannutvikling og røykproduksjon.
<i>Flammebrann</i>	Forbrenningsprosess med åpen flamme, der brenselet er i gassfase
<i>Fullstendig forbrenning</i>	Forbrenning der alle forbrennings produktene er fullstendig oksidert
<i>Nullvisjon</i>	Norsk visjon/mål om at ingen skal omkomme som følge av brann [2]
<i>Nødvendig rømningstid</i>	Tiden fra brannstart til sikkert sted er nådd
<i>PBL</i>	Plan- og bygningsloven
<i>PPM</i>	Part per million
<i>Preakseptert ytelse</i>	Ytelse angitt av myndighet som vil oppfylle, eller bidra til å oppfylle, ett eller flere funksjonskrav
<i>Produkter</i>	Stoffer som blir produsert etter en kjemisk reaksjon. Oftest forbindes med høyresiden av pila til en kjemisk reaksjon
<i>Pyrolyse</i>	Irreversibel kjemisk spalting av et stoff under påvirkning av varme
<i>Reaktanter</i>	Stoffer som forbrukes i en kjemisk reaksjon. Forbindes ofte med venstresiden av pila til en kjemisk reaksjon
<i>RIBr</i>	Rådgivende ingeniør brann
<i>RIV</i>	Rådgivende ingeniør varme-, ventilasjons- og sanitærteknikk

Begrep	Forklaring
	(VVS)
<i>Røykeartikler</i>	Sigaretter, e-sigarett, sigar, askebeger, o.l.
<i>SAK 10</i>	Byggesaksforskriften
<i>Sosioøkonomisk</i>	Forholdet mellom sosiale og økonomiske forhold, ofte hvordan den økonomiske situasjonen til et menneske påvirker den sosiale hverdagen.
<i>Spontanantennelse</i>	Antennelse av et stoff med tilførsel av varme utenfra, men uten antennelseskilde
<i>TEK 17</i>	Byggteknisk forskrift (nyeste utgave), fra 2017.
<i>Termoelement</i>	Sensor som måler temperatur, og består av ulike metaller som er koblet opp sammen i én ende
<i>Tilgjengelig rømningstid</i>	Tid fra brannstart til ett eller flere kritiske forhold inntreffer
<i>Ufullstendig forbrenning</i>	Forbrenning der det ikke er tilstrekkelig oksygen og/eller ikke er høy nok temperatur til at alle kjemiske bindinger i brennstoffet kan brytes. Avgir CO (karbonmonoksid) og uforbrente hydrokarboner
<i>Ulmebrann</i>	Forbrenning i et fast materiale uten flamme og uten utsendelse av lys fra forbrenningssonen
<i>Varmetrådsanemometer</i>	Måleinstrument som måler luftstrøm og hastighet i væsker eller gass
<i>VTEK 17</i>	Veiledning til byggteknisk forskrift

Notasjon

Symbol	Beskrivelse	Enhet
$\dot{m}_j$	Produksjonsrate for aktuell gass	g/s
γ_j	Produksjonsfaktor for aktuell gass	-
$\dot{m}''$	Massetapsrate for brannen	g/(m ² · s)
A	Areal til brannen	m ²
$\dot{q}''_b$	Varmestrålingsfluks fra flammen	kW/m ²
$\dot{q}''_e$	Varmestrålingsfluks fra ekstern kilde	kW/m ²
$\dot{q}''_{ts}$	Tilbakestrålingsfluks fra brenseloverflaten til omgivelsene	kW/m ²
L_v	Fordampningsvarmen	kJ/g
$\dot{Q}$	Energiproduksjon	W
χ	Forbrenningseffektivitet	-
A_f	Areal til brensel	m ²
ΔH_c	Forbrenningsvarme	kJ/mol
V	Synlig avstand	m
k_1	Eksperimentell konstant for hver type nødbelysning/skilt	-
C_s	Optisk røyktetthet	m ⁻¹
k_2	Eksperimentell konstant for hver type nødbelysning/skilt	-
IC ₅₀	Konsentrasjon hvor 50% av testobjekter blir hemmede	ppm
LC ₅₀	Konsentrasjon hvor 50% av testobjekter omkommer	ppm

1. Innledning

I dette kapittelet presenteres bakgrunn for problemstillingen, problemdefinering med tilhørende hypoteser, rapportens oppbygning og avgrensninger. Hypotesene er utarbeidet på bakgrunn av teori/litteraturstudie, simulering og forsøkene som gjennomføres.

1.1 Bakgrunn

Branner utgjør en betydelig trussel mot både menneskeliv og samfunnsøkonomiske verdier. Hvert år rammes mennesker av alvorlige skader eller i ytterste konsekvens død som følge av brann. Røykforgiftning er identifisert som den fremste årsaken til død og skader i forbindelse med brann (se underkapittel 2.1.4).

I lys av de alvorlige konsekvensene kan optimal håndtering av røykutvikling gjennom valg av ventilasjonsløsninger være et avgjørende virkemiddel for å forbedre overlevelse og redusere skadeomfanget. Tradisjonelle brannsikringssystemer som sprinkleranlegg aktiveres ofte først ved høyere varmeutvikling, og er dermed mindre effektive ved saktevoksende branner. Derfor er det nødvendig å undersøke hvordan ulike ventilasjonsløsninger kan utvide tiden med levelige forhold.

I denne sammenhengen har BRAVENT-prosjektene, ledet av SINTEF og RISE Fire Research, gjennomført omfattende forskning på brann- og røykspredning i ventilasjonsanlegg. Prosjektet har blant annet utført 14 storskala branntester for å evaluere hvordan ulike ventilasjonsløsninger påvirker røykspredning og komponentenes motstandsevne under brann. Undersøkelsene konkluderer at steng inne-løsningen, med brannklassifiserte spjeld som lukker tillufts- og avtrekkskanaler, er den eneste godkjente løsningen etter gjeldende brannsikringskrav.

Kan det likevel tenkes at en trekk-ut-løsning egner seg bedre i visse situasjoner, selv om en steng-inne-løsning også kunne vært hensiktsmessig?

1.2 Problemdefinering

Basert på statistikk fra dødsbranner og retningslinjene i BRAVENT sin «Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg» [3], er det av interesse å se på hvordan ventilasjon faktisk påvirker personsikkerheten i et rom. Ved store eller raskt voksende branner er sprinkleranlegg ofte svært effektive, men har begrenset effekt ved mindre eller saktevoksende branner. Ventilasjon som forblir aktiv under en brann kan bidra til å utsette tidspunktet for når risikoen for røykskader blir kritisk.

Ventilasjonsløsninger kan ha en viktig rolle i personsikkerhet ved røykutvikling i et rom. Valget mellom trekk ut- og steng inne-løsning for ventilasjon kan ha stor betydning for hvordan røyk beveger seg i startbranncellen, og hvordan dette påvirker rømningsforholdene. Effektive ventilasjonsløsninger er nødvendige for å sikre at rømningsveiene forblir trygge og røykfrie, noe som er avgjørende for å forhindre forgiftning og desorientering under evakuering [4]. Spesielt vil en saktevoksende brann, der et sprinkleranlegg ikke vil utløses og slukke brannen, kunne utvikle og oppføre seg forskjellig avhengig av ventilasjonsløsning.

Det er behov for å undersøke hvordan valg av ventilasjonsløsning påvirker den nødvendige rømningstiden. Fokuset bør ligge på ventilasjonens funksjon under brann, fremfor detaljer om spesifikke komponenter. Konsentrasjonen og eksponering av forskjeller gasser og sikt vil kunne påvirke rømningstiden. Dette vil særlig påvirke de utsatte gruppene, som eldre og personer med nedsatt mobilitet, som kan ha større utfordringer når det kommer til rask evakuering.

Denne bacheloroppgaven vil undersøke i hvilken grad valg av ventilasjonsløsning vil påvirke personsikkerheten i en saktevoksende brann, med fokus på gasskonsentrasjoner og siktforhold.

1.2.1 Hypoteser

I antennesfasen av en brann, kan en trekk ut-løsning være mer effektiv for å forhindre røykspredning og forbedre rømningstid sammenlignet med en steng inne-løsning. Dette skyldes at trekk ut-løsningen aktivt fjerner røyk fra startbranncellen, noe som kan redusere røykopphepning og forbedre sikten for evakuering. Basert på litteraturstudie, simulering og forsøkene som gjennomføres, har det blitt opprettet tre hypoteser:

- i. *Trekk ut-løsning vil gi lavere gasskonsentrasjoner og bedre sikt enn steng inne-løsning.*

Forurensninger fjernes direkte fra rommet ved benyttelse av en trekk ut-løsning, noe som forhindrer opphopning i rommet. Dette gir en fordel for personer som befinner seg i startbranncellen. Steng inne-løsning kan derimot føre til akkumulering av gasser og redusert sikt, siden forurensningene ikke fjernes effektivt.

- ii. *Forskjellen mellom simulering og eksperimentelle forsøk vil være noe ulik på verdier, men begge viser samme trend.*

Simuleringer tar hensyn til de viktigste variablene og kan derfor gi resultater som ligger nært opp til virkeligheten. Simulering tar utgangspunkt i variabler som er lagt inn av brukeren, og brensløst vil brenne konstant. I realistiske forsøk er det begrenset med brensel, og visse detaljer eller uforutsette faktorer kan skape avvik. Dette kan være at testrommet ikke er like tett som modellen i simulering.

- iii. *Relasjonen mellom sikt og gasskonsentrasjon i forsøkene har en sammenheng med Tabell 2 hentet fra SN/INSTA 950.*

Utfra Tabell 2 hentet fra SN/INSTA 950 [5] er det en direkte korrelasjon og/eller en viss likhet mellom økende konsentrasjoner av branngasser og redusert sikt. Spesielt fremhever tabellen; «toksisitet trenger ikke å beregnes når sikten overstiger fem meter» [5], noe som indikerer at ved siktnivåer under fem meter kan konsentrasjonen av farlige kjemiske stoffer ha nådd skadelig eller dødelig nivåer.

1.3 Rapportens oppbygning

I denne rapporten gjennomføres først et litteraturstudie med fokus på brannskadestatistikk, dødsbranner, ventilasjonsløsninger (steng inne vs. trekk ut), branndynamikk, relevant lovverk og tidligere forskning på sikt under brann. Deretter benyttes PyroSim til å simulere brannutviklingen i et tenkt testrom for å avgjøre dimensjonering og ventilasjonsløsning, før det bygges et fysisk testrom basert på disse resultatene. Til slutt utføres kalde forsøk med røykmaskin og varme forsøk med trepellets, EPS og skummadrass for å sammenligne de to ventilasjonsstrategiene, og resultatene drøftes opp mot teori og litteratur.

1.4 Avgrensninger

Denne bacheloroppgaven tar sikte på å belyse hvordan ulike ventilasjonsløsninger påvirker personsikkerheten ved brann. Det legges spesielt vekt på å undersøke forskjellen mellom to løsninger: 1) Ventilasjon som går ved brann «trekk ut-løsning», og 2) ventilasjon som stenges «steng inne-løsning».

Studien avgrenser seg til å analysere ventilasjonens effekt på gasskonsentrasjoner og siktforhold, og vurderer ikke andre brannbegrensende tiltak som sprinkleranlegg eller bygningsmaterialers- og ventilasjonskomponenters brannmotstand. Studien avgrenser også bruksområdet til startbrannceller i bolig. Saktevoksende branner nevnes som en utfordring, men detaljert analyse av spesifikke branntyper ligger utenfor bacheloroppgavens omfang.

2. Teori/Litteraturstudie

Samfunnet står overfor store risikoer knyttet til brann, både med tanke på menneskeliv, helse og økonomiske tap. I Norge forårsaker branner hvert år betydelige skader og tap av menneskeliv. Faktorer som alder, nedsatt funksjonsevne, røyking og rusmisbruk har stor betydning for utfallet av en brann, ettersom de kan øke risikoen for at personer ikke kommer seg til sikkerhet sted i tide. For å bedre forstå omfanget av disse utfordringene, vil dette kapittelet undersøke årsakene til branner og presentere statistikk som belyser hvor utbredt disse problemene er i Norge, se delkapittel 2.1.

Videre i kapittelet belyses det hvordan ventilasjonsanlegg påvirker brannutviklingen, enten gjennom steng inne-løsningen som hindrer spredning av røyk og gasser, eller ved trekk ut-løsningen som fjerner røyk. Brannforløpet i en rombrann gjennomgås fra antennelsesfasen til utbrenningsfasen, og de fysiske prosessene i branndynamikk, som energiproduksjon og varmetransport. I tillegg presenteres simuleringsverktøy - FDS og PyroSim, som kan benyttes til å modellere både brannforløp og røykspredning. Disse verktøyene gir et solid grunnlag for videre arbeid, inkludert bygging av testrom, se delkapitlene 2.2, 2.3, 2.4 og 2.5 for mer informasjon.

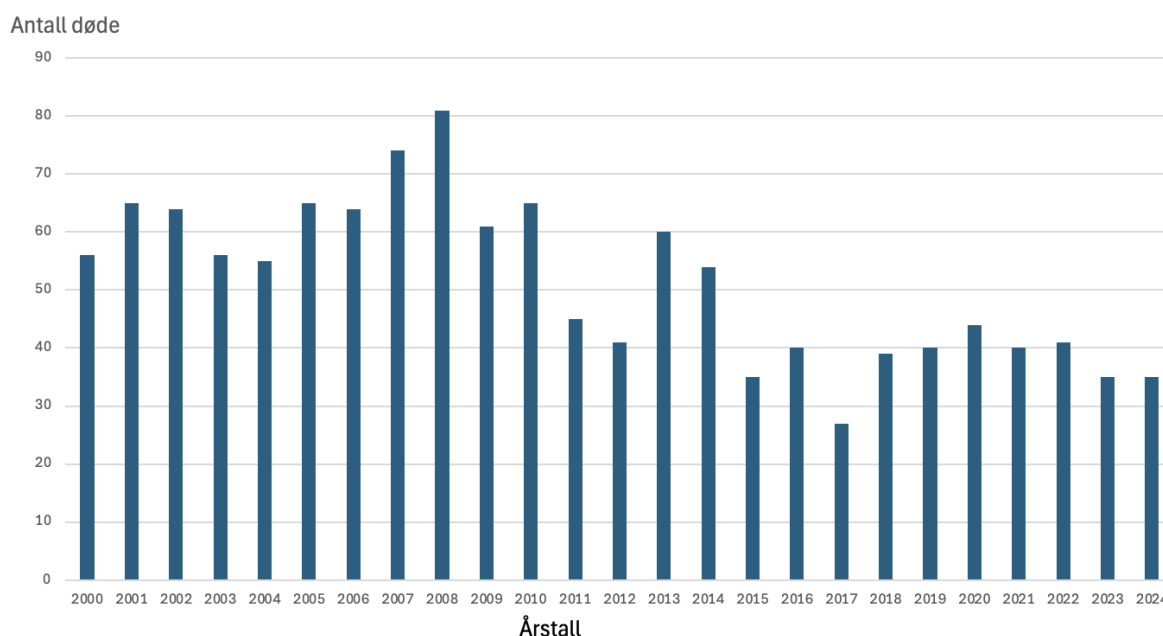
Til slutt gir kapittelet en oversikt over regelverket som styrer brannsikkerhet, samt tidligere forskning på temaene ventilasjon- og sikt under brann. Denne helhetlige tilnærmingen gir et viktig grunnlag for å vurdere hvordan ulike ventilasjonsløsninger fungerer i møte med en saktevoksende brann. For mer detaljer se delkapitlene 2.6 og 2.7.

2.1 Branner: Skader, omkomne og risikofaktorer

Brann i Norge utgjør en risiko for menneskeliv, helse og økonomiske verdier i samfunnet. Hvert år er det flere skader og tap av menneskeliv, og årsakene til disse er basert på flere ulike faktorer. Faktorer som alder og nedsatt funksjonsevne er noen av disse. For å kunne forstå problemstillingen til bacheloroppgaven, er det viktig å se på statistikk som underbygger problematikken med dødsbranner.

2.1.1 Antall omkomne

Registrering av antall omkomne i brann er dokumentert siden 1979 av Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap (DSB), og gjennomsnittet ligger på 59 omkomne hvert år [6]. Siden 2000-tallet har gjennomsnittet vært på 51 omkomne hvert år, og i perioden 2015-2024 viser statistikken at det har vært en reduksjon i antall omkomne i gjennomsnitt. Statistikken viser at gjennomsnittet på antall omkomne har sunket gradvis de senere årene. Norge har en nullvisjon for drepte og skadde i brann, og ønsker at denne statistikken skal gå nærmere mot null over årene [2]. Figur 2.1 viser statistikken over antall dødsbranner i Norge i perioden 2000-2024.

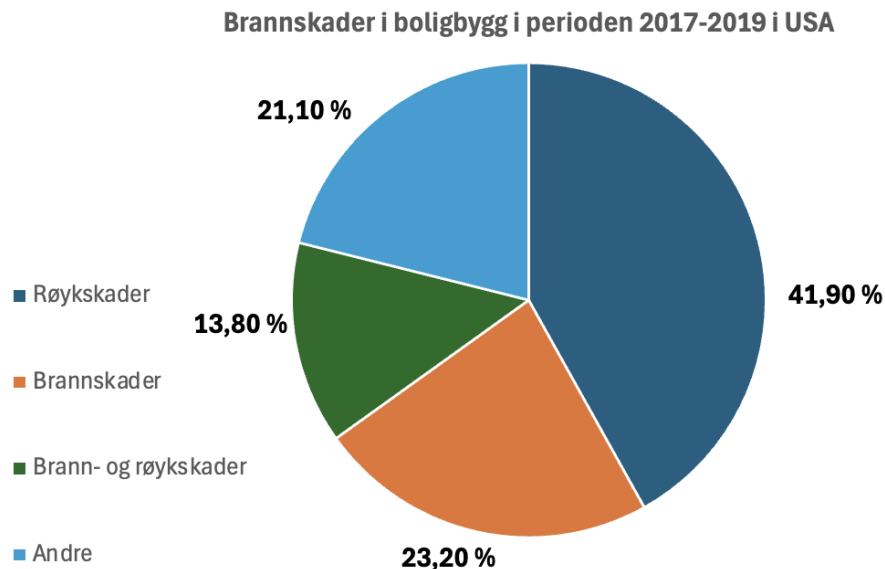


Figur 2.1: Antall dødsbranner i Norge 2000-2024. Tall hentet fra [6].

2.1.2 Skader på personer etter brann

Det er lite statistikk i Norge over hvor mange som blir skadet ved brann, og hvordan det har påvirket de skadde i ettertid. Det har vist seg å være vanskelig å dokumentere dette da flere kan ha overlevd en boligbrann, men senere omkommet på sykehuset etter alvorlige brannskader. «I Norge registreres de som dør innen tre måneder etter brannen som direkte følge av brannen. I Sverige er denne tidsperioden kun én måned» [7]. En rapport om brannskader i boligbygninger i USA i perioden 2017-2019 har derimot sett nærmere på dette [8]. Rapporten konkluderte med at røykskader er den mest fremtredende skaden av registrerte skader, etterfulgt av brannskader

og en kombinasjon av brann- og røykskader. Figur 2.2 viser til statistikk som er hentet fra rapporten. I feltet «andre» er det en samling av andre skader, som blant annet pustevansker og tungpustethet.



Figur 2.2: Brannskader i boligbygg i perioden 2017-2019 i USA. Tall hentet fra [8].

2.1.3 Utsatte grupper

Blant antall omkomne i brann, er utsatte grupper overrepresenterte i statistikken. Faktorer som alder, røyking, rusmidler og nedsatt funksjonsevne går ofte igjen som årsaker til brannutbrudd og kan øke risikoen for dødsfall. Personer med nedsatt funksjonsevne har allerede et dårligere utgangspunkt i å kunne evakuere seg selv, noe som antas å forverres ved brann.

Alder

Ifølge statistikk fra flere land er eldre personer oftest overrepresenterte i dødsbranner [9], [10], [11]. RISE sin analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005-2014 viser at ved en økende alder, så ville det øke sjansen for å omkomme i en eventuell brann [7]. DSB har også funnet ut at «personer over 70 år har fire til fem ganger høyere risiko for å omkomme i brann sammenlignet med resten av befolkningen» [6].

En studie angående brannstatistikk i Spania har sett nærmere på hvorfor det er flere eldre som omkommer i dødsbranner, og har kommet frem til mulige årsaker [11]:

- Nedsatt fysisk helse
- Pågående psykisk lidelse (demens eller tvangsmessig hamstringsadferd)
- Sårbarhet for brannskader
- Sosial isolasjon
- Utbredelse av lav sosioøkonomisk status, og eksisterende sykdommer
- Bruk av gamle, og dårlig standardiserte elektriske apparater
- Nødvendigheten av å varme opp husholdningen i flere timer per dag.

Røyking, rusmidler, nedsatt funksjonsevne og kultur

I analysen av dødsbranner i Norge i perioden 2005-2014 ble det avdekket at 13 prosent av dødsbrannene var forårsaket av røyking [7]. En årlig rapport i 2021 fra Britisk Columbia ble det avdekket at 22 prosent av dødsbranner for brann i boligkonstruksjoner ble forårsaket av røykeartikler [9]. Norge har en relativt lav prosentandel når det kommer til dødsbranner på grunn av røyking, sammenlignet med andre land [9], [10], [12], men det er fortsatt en stor årsak til dødsbranner.

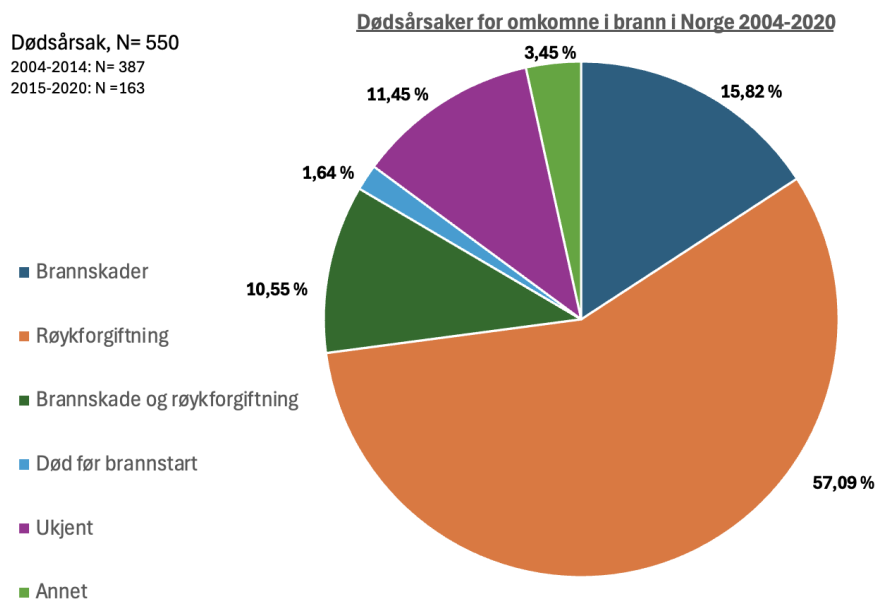
Rusavhengige er blant de utsatte gruppene, fordi evnen til å oppdage og begrense en brann blir svekket betydelig. En australsk studie om ikke-påsatte branner undersøkte bruk av narkotiske stoffer i 65 prosent av dødsbrannene fra 2010-2012, hvor 44 prosent ble rapportert som positiv [10]. Studien viste at blant de 156 overlevende var det 3 personer som innrømte å være påvirket av narkotiske stoffer [10].

Personer med nedsatt funksjonsevne innebærer nedsatt hørsel, syn, førlighet, kognitiv evne, og rusmisbruk. I analysen av dødsbranner i Norge i perioden 2005-2014 ble det avklart at over halvparten av de omkomne i pensjonistalderen hadde nedsatt førlighet [7]. For den yngre aldersgruppen av de omkomne, hadde halvparten et kjent rusmisbruk.

Norge er et flerkulturelt samfunn som består av mennesker med mange forskjellige bakgrunner [13], [14]. Selv om disse gruppene nødvendigvis ikke har god forståelse av nordisk eller engelsk språk, ble det konkludert i begge analysene av dødsbranner i Norge [7], [15] at det ikke hadde en høyere risiko for død i brann. Derimot kan menneskers holdninger til brannsikkerhet bidra til å øke sannsynligheten for at en brann oppstår [7].

2.1.4 Dødsårsaker

Figur 2.3 viser fordeling av dødsårsakene for omkomne i brann i Norge (2004-2020), og tallene er hentet fra analyser av dødsbranner i Norge [7], [15]. Røykforgiftning er absolutt den største årsaken til dødsbranner i Norge, etterfulgt av brannskader og deretter en kombinasjon av brannskader og røykforgiftning.



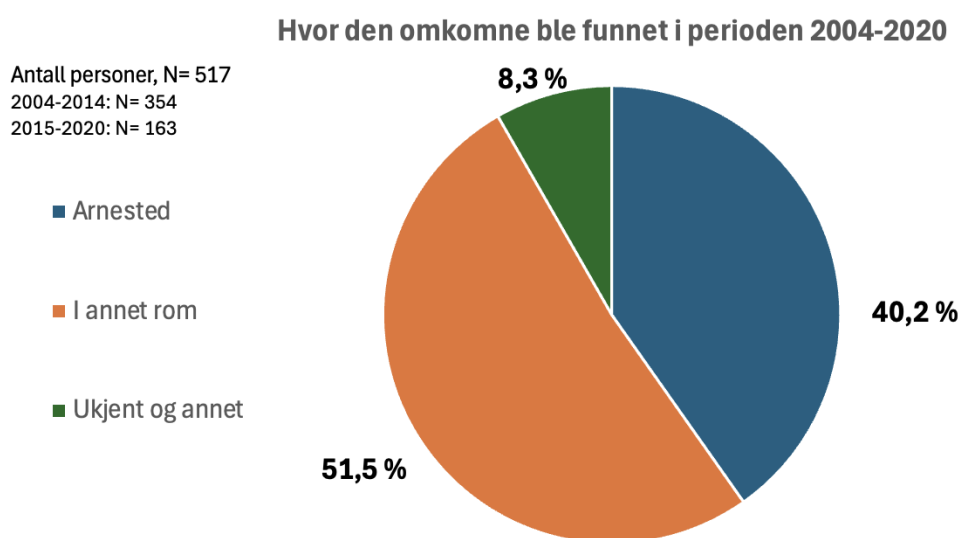
Figur 2.3: Dødsårsak for omkomne i brann i perioden 2004-2020. Tall hentet fra [7], [15].

Typer møbler og madrasser kan bidra til at en brann blir dødelig. I følge Sintef sin rapport om «Hvor brannsikre er stoppete møbler og madrasser?», så fremkommer det at madrasser og stoppete møbler har vært antennelseskilder i forbindelse med dødsbranner [16]. Antennelsen har ofte skjedd i tilknytning til røyking.

2.1.5 Hvor omkomne ble funnet

Figur 2.4 viser oversikt over hvor omkomne i brann ble funnet i perioden 2004-2020, hvor det ble registrert at de fleste omkommer ved arnestedet eller i et annet rom i branncellen. Tallene er hentet fra analyser av dødsbranner i Norge [7], [15], hvor de har blitt samlet til et sirkeldiagram. I feltet «I annet rom» er det blitt skrevet mer nøyaktig i analysen fra 2004-2014,

hvor det har blitt tatt hensyn til naborom til arnestedet og annet rom i boenheten. I analysen fra 2015-2020 ble dette feltet samlet til kun «et annet rom», og det er usikkert om dette omfavner naborom til arnestedet og eventuelt andre rom i startbranncellen. I feltet «Ukjent og annet» er det en blanding av der omkomne ble funnet utenfor boenheten, ukjent arnested eller hvor omkomne ble funnet.



Figur 2.4: Fordeling over hvor omkomne ble funnet i dødsbranner i perioden 2004-2020. Tall hentet fra [7], [15].

2.1.6 Spesifikke utfordringer: elektriske branner og ulmebranner

I analysene over dødsbranner i Norge, har det blitt konkludert med at omtrent 99 prosent av ulike typer branner har vært flammebrann, og cirka én prosent har vært ulmebrann [7], [15]. Dette har derimot vært vanskelig å kunne konkludere med, da det er vanskelig å vite om en brann har startet som ulmebrann, og deretter utviklet seg til en flammebrann. Når brannvesenet har ankommet stedet, har brannen som regel blitt ganske stor, med spredningsfare til andre rom [7]. Det er antatt at flere boligbranner starter som ulmebrann, men det er vanskelig eller umulig å kunne bevise når det blir en flammebrann [7]. Det er derfor vanskelig å vite om personene omkom på grunn av de giftige gassene i en ulmebrann, eller ved et senere tidspunkt når det har utviklet seg over til en flammebrann.

Ulmebrann

Ulmebrann er en forbrenning i et fast materiale som ikke produserer flammer, men utvikler mye røyk med lik temperatur som omgivelsene. En ulmebrann bruker tid før røykkonsentrasjonen blir giftig og dødelig, og fargen til røyken vil ligne på en lys, grå farge. Siden temperaturen til røyken fra en ulmebrann er tilnærmet omgivelsestemperaturer, vil de termiske kreftene ikke kunne gi oppdrift til røyken som produseres [17, s. 97]. Dette kan sørge for at reaksjonstiden til detektorer vil være lange, avhengig av type detektorer. Varmedetektorer vil med høy sannsynlighet ikke utløse på grunn av liten varmeproduksjon, mens røykdetektorer vil reagere når røykpartiklene forstyrrer strålen (optisk). Dette kan ta tid, da røyken vil legge seg på gulvnivå.

Elektriske branner

12 prosent av brannårsaker for dødsbranner i Norge i perioden 2015-2020 var av elektriske årsaker, og 13 prosent var på grunn av feil bruk [15]. Feil bruk kan for eksempel være bruk av skjøteledning, komfyr eller ladning av telefon om natten. Norges bebyggelse består av en god del gamle trehus som ofte har gammel elektrisk installasjon som ikke er oppgradert til dagens krav, og derfor kan det bli overbelastning på anlegget. Eldre bygg ble konstruert med elektronikk som har en toleranse i henhold til enkel belysning og oppvarming av vann. I dagens samfunn blir det benyttet en større mengde med elektrisk utstyr, som ikke nødvendigvis tar hensyn til et gammelt elektrisk anlegg.

2.1.7 Toksiske grenseverdier og helserisiko ved eksponering for branngasser

Røyk inneholder en stor mengde av giftige og irriterende gasser, og består som regel av oksygen (O_2), karbonmonoksid (CO) og karbondioksid (CO_2). For å kunne forstå når de ulike konsentrasjonene er hemmende og dødelig, henvises det til Tabell 1 for å ha en grenseverdi. Tabellen tar utgangspunkt i de oppgitte gassene, og har grenseverdier til hvor høy konsentrasjonen er for at det blir dødelig og hemmende. IC_{50} er konsentrasjonen til gassen som sørger for at 50 prosent av testsubjekter blir hemmet, og LC_{50} er konsentrasjonen til gassen som sørger for at 50 prosent av testsubjekter dør. Testsubjektene er som regel forsøksdyr, og verdiene har ikke blitt bekreftet på mennesker.

Tabell 1: Oversikt over grenseverdier. Tall hentet fra [18].

Gass	IC ₅₀ [ppm]	LC ₅₀ [ppm]
CO	1400-1700	4600 5500 8300 3000 2500-4000
CO ₂	100 000	146 000
O ₂		75 000

Generelt

I henhold til Folkehelseinstituttets Helsebiblioteket «Branngasser - behandlingsanbefaling ved forgiftning» [19] presenteres anbefalinger for eksponering og forgiftning ved inhalasjon av typiske branngasser. Forbrenningsprosesser omfatter en rekke komplekse kjemiske og fysiske reaksjoner, og røykens sammensetning varierer med brenseltype, ventilasjonsgrad, temperatur og andre omstendigheter. Som følge av dette vil gass- og partikkelfordelingen endre seg både over tid og på ulike stadier av brannforløpet [19].

På samme bibliotek eksisterer det en anbefaling om CO-eksponering «Karbonmonoksid - behandlingsanbefaling ved forgiftning» [20], den er spesielt knyttet opp mot utsatte grupper. Det kommer frem at kortvarig eksponering av CO over 100 ppm ikke er anbefalt. Dette kan i ytterste konsekvens føre til alvorlig forgiftning, som kan medføre til død. CO er et spesielt farlig stoff ettersom små mengder kan medføre til alvorlig helsemessige konsekvenser. En konsekvens som også er vanskelig å få frem i statistikken er ettervirkningene som kan komme etter eksponering for CO, hvor personer som blir utsatt for CO vil kunne utvikle hjerneskade. De vanligste symptomene er kognitive svekkelser og personlighetsendringer. Disse kalles persisterende nevrologiske senskader (PNS). Slike nevrologiske skader kan oppstå direkte i tilknytning til det akutte forgiftningsforløpet. Alternativt kan skadene først vise seg etter en

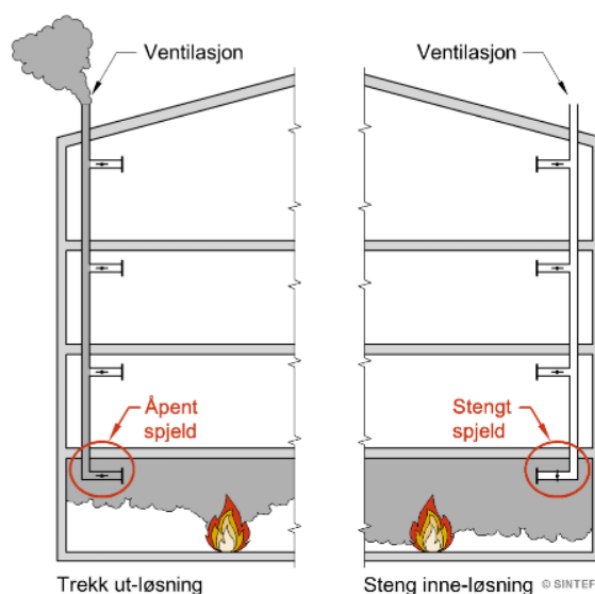
tilsynelatende symptomfri periode på omtrent 20 dager. Dette betegnes som forsinkede nevrologiske senskader (DNS) [20].

Ved forbrenning dannes en kompleks og til dels usynlig sammensetning av giftige gasser. Enkelte komponenter må opptre i svært høye konsentrasjoner for å medføre umiddelbare livstruende skader. Likevel kan de gjennom interaksjoner med andre brannprodukter, utgjøre en betydelig helserisiko også ved lave doser. For eksempel vil forhøyede verdier av CO₂ medføre til økt pustefrekvens. I et slikt scenario vil en puste inn mer av de av farlige stoffene som er i rommet [21].

2.2 Ventilasjonsanleggs funksjon under brann

Et ventilasjonsanlegg skal forsyne et bygg med frisk luft, samtidig som det trekker ut den brukte luften fra bygget. Et standard ventilasjonsanlegg består av luftinntak med tilhørende ventiler som tar inn frisk uteluft, luftavkast med tilhørende ventiler som trekker ut brukt luft, kanalnett som transporterer luften og et ventilasjonsaggregat eller vifte [11, s. 18].

Når det kommer til brann og røykventilering, skiller en mellom ulike løsninger. Det skilles mellom separate ventilasjonsanlegg for hver enkelt branncelle, trekk ut-løsning og steng inne-løsning. Figur 2.5 beskriver forskjellen på trekk ut-løsning og steng inne-løsning under brann [23].



Figur 2.5: Forskjell på trekk ut-løsning og steng inne-løsning. Illustrasjon hentet fra Byggforskserien 520.352, SINTEF [24].

2.2.1 Prinsipper for ventilasjon stoppet under brann (Steng inne-løsning)

Steng inne-løsningen gjør at ventilasjonsanlegget stenges ved en eventuell brann, dette ved hjelp av et brannspjeld som kan åpnes og stenges. Dette gjør at røyken fra brannen ikke kan spres til andre deler av bygget, og kun holder seg i den branncellen den har oppstått. Det må være installert brannspjeld for at steng inne-løsningen skal hindre røyken i å spre seg. Brannkrav til brannspjeldene må tilfredsstille minimum det samme som brannskillet. Steng inne-løsningen skal aktiveres ved utløst brannalarm, og da skal brannspjeld stenges og røyken unngå å spres [25].

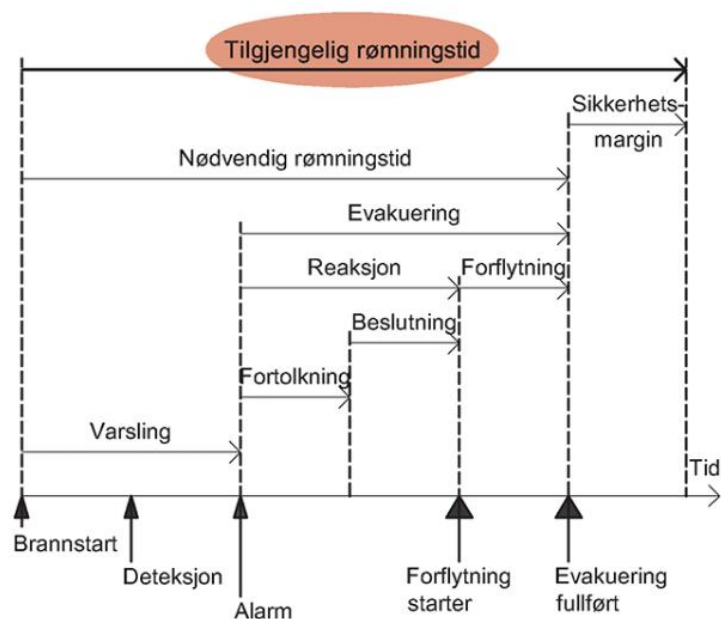
2.2.2 Prinsipper for ventilasjon i drift under brann (trekk ut-løsning)

Trekk ut-løsningen baserer seg på at ventilasjonsanlegget skal trekke ut røyken fra startbranncellen, og ut av bygningen. Dette vil gjøre at røyken trekkes ut i det fri, i tillegg til at røyken ikke spres til andre deler av bygget. Et ventilasjonsanlegg som skal være i drift under brann, må kunne fungere uten at faren for røyk- og/eller brannspredning øker. Et ventilasjonsanlegg som skal driftes under brann består av røykkontrollspjeld (bypass) som skal åpnes for å trekke røyken ut i en separat kanal, dette for å ikke ødelegge varmevekslere eller tette filtre. Tilhørende vifte/avtrekk, maskiner og andre deler må tåle sot og høye temperaturer under drift [24], [14, s. 292].

For at et ventilasjonsanlegg skal kunne driftes under brann, må anlegget ha tilstrekkelig med strøm, bypass, avtrekksvifte og motor som tåler høye temperaturer [14, s. 292].

2.2.3 Ventilasjonsanleggets påvirkning på rømningstid

Ventilasjonsanlegget i et bygg kan bidra til å hindre brann- og røykspredning. For at sikker rømning skal tilfredsstilles, må tilgjengelig rømningstid være lengre enn nødvendig rømningstid. Se Figur 2.6 [25], [26].



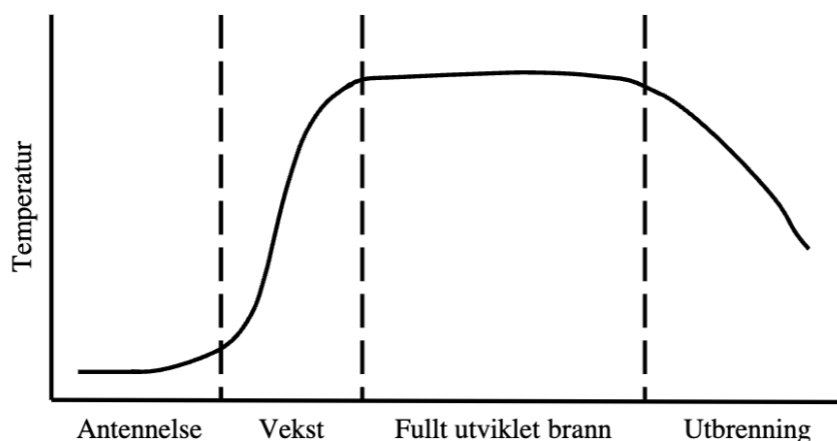
Figur 2.6: Fasene i tilgjengelig rømningstid. Illustrasjon hentet fra Byggforskserien 520.387, SINTEF [26].

De ulike ventilasjonsløsningene vil kunne påvirke rømningstiden på forskjellige måter ved en brann. Steng inne-løsningen vil kunne hindre at røyken sprer seg videre til andre brannceller eller andre deler av bygget [24], som gjør at den tilgjengelige rømningstiden øker i bygget utenfor startbranncellen. Denne løsningen vil kunne øke den nødvendige rømningstiden dersom en må evakuere fra startbranncellen da røyk, temperatur og sikt forlenger evakueringstiden.

Trekk ut-løsning vil spre røyken i ventilasjonskanalene og tilfører frisk luft [24]. For å kunne benytte seg av trekk ut-løsning, må dette dokumenteres at det tilfredsstillende tilgjengelig tid for rømning og redning [3]. Litteraturen sier ingenting om at trekk ut-løsning gir bedre vilkår for personsikkerhet i startbranncellen, men dette er noe som har blitt diskutert i tilknytning til BRAVENT-prosjektene [27]. I kapittel 2.6.3 blir det diskutert nærmere om hvordan dette dokumenteres.

2.3 Brannforløp: utvikling fra antennelsesfase til utbrenningsfase

Brannutviklingen i et rom blir hovedsakelig påvirket av mengde med brennbart materiale, tilstrekkelig varme og oksygen. Figur 2.7 viser en normal korrelasjon mellom temperatur og tid i en rombrann. Rombranner utvikler seg i ulike faser, avhengig av tilgjengeligheten og mengden av de tre faktorene som er nevnt. En fritt voksende brann vil gå gjennom antennelsesfase, vekstfase, fullt utviklet brann og en utbrenningsfase [7], [28, s. 15].



Figur 2.7: Illustrerer de forskjellige fasene i en rombrann [21, s. 15]

2.3.1 Antennelsesfase

En brann oppstår når et fast stoff, en væske eller en gass blir antent. Antennelsen kan skyldes flere ulike faktorer, som uforsiktig bruk av ild, feil på elektriske anlegg, selvantennelse eller bevisst handling. I de fleste tilfeller utvikler antennelsen seg gradvis, noe som gir personer tilfredsstillende tid til å evakuere eller slukke brannen. Et unntak er når brennbare gasser eller væsker antennes, da disse ofte utvikler seg raskt og kan drastisk endre rommets forhold på svært kort tid [28, s. 19].

Ventilasjon har en avgjørende rolle i utviklingen av brannens antennelsesfase. Ved utilstrekkelig ventilasjonsgjennomstrømning vil brannen enten slukke av seg selv eller brenne svært sakte, begrenset av oksygentilgangen. Dette kan skape et scenario som kan føre til *backdraft* [29, s. 351].

Siden sprinkleranlegget ikke utløses før omgivelsestemperaturen rundt sprinklerhode er omkring 70 grader celsius [30], så har ikke dette en stor påvirkning på antennelsesfasen.

2.3.2 Vekstfasen

Etter antennelse vil brannen i teorien ha to mulige utfall: Den vil enten vokse eller avta. Hvis brannen ikke sprer seg, vil den avta, forbli brenselkontrollert og til slutt kunne slukke av seg selv. Dette kan være et typisk resultat ved bruk av steng inne-løsning i ventilasjon. I en voksende brann kan flammene varme opp nærliggende materialer, noe som fører til pyrolyse

og antennelse av disse. En typisk trekk ut-løsning kan tillate at brannen fortsetter å utvikle seg. Flammene gir også stråling tilbake til det brennende materialet, noe som øker både massetapsraten og forbrenningsraten. Så lenge produksjonen av brennbare gasser øker, og det er tilstrekkelig tilgang på oksygen, vil brannen fortsette å vokse. Vekstfasen er spesielt kritisk for sikkerheten ved rømning, da rommets trykk kan øke betraktelig i denne fasen [28, s. 20–21].

I denne fasen vil omgivelsestemperaturen rundt sprinklerhodet nærme seg utløsningstemperaturen. Når denne terskelen nås, aktiveres sprinklerhodet og sprinkler vann over brannen, noe som bidrar til å dempe eller slukke den [30].

2.3.3 Fullt utviklet brann

I overgangen mellom vekstfasen og en fullt utviklet rombrann kan det oppstå overtenning. Overtenning er et fenomen som kjennetegnes ved at hele, eller store deler av rommets brennbare overflater antennes, samtidig som røyklaget når temperaturer på mellom 500 og 600 grader celsius. Etter overtenningen går brannen inn i fasen som omtales som en fullt utviklet brann, der energifrigjøringen og temperaturen er på sitt høyeste. I denne fasen kan temperaturen i rommet ligge mellom 700 og 1200 grader celsius. Brannen vil ikke kunne vokse ytterligere uten å spre seg til andre rom. Hvor lenge brannen opprettholder denne fasen, avhenger av oksygentilførselen, og brannen betegnes derfor som ventilasjonsstyrt [28, s. 21–22].

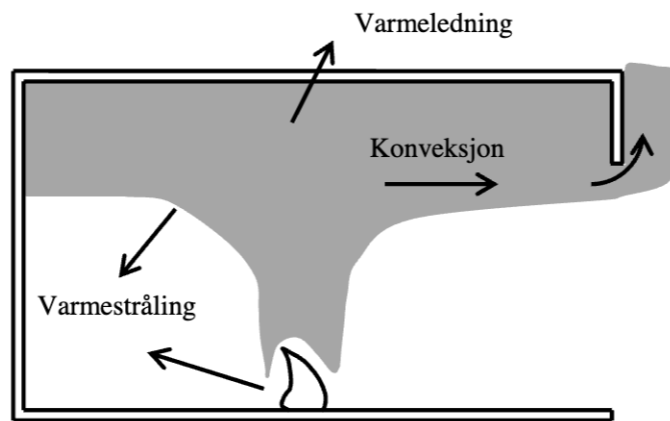
2.3.4 Utbrenningsfasen

Brannen går inn i utbrenningsfasen når mengden brennbare gasser reduseres, slik at brannen ikke lenger kan opprettholde sitt omfang. Denne fasen omtales også som avkjølingsfasen, ettersom den beskriver temperaturens gradvise reduksjon i startbranncellen [28, s. 22–23].

2.4 Brannodynamikk

I en liten rombrann er det flere faktorer som spiller en rolle, eksempelvis energiproduksjon, røyk og temperatur. Energiproduksjon viser til hvor mye energi som blir avgitt til omgivelsene. Røyk inneholder flere giftige gasser, og temperaturen i et rom kan øke betraktelig på grunn av

energien som blir frigitt av brannen i form av varmeledning, konveksjon eller varmestråling. Varmeledning er brannspredning via et material som leder større mengder med energi til andre steder [28, s. 43]. Konveksjon er når eksempelvis varm røyk transporterer så mye energi til omgivelsene, at brennbare materialer i området vil antennes [28, s. 44]. Varmestråling kommer som regel fra brann eller røyklaget, og er stråling som forårsaker spontanantennelse [28, s. 44]. Figur 2.8 illustrerer hvordan de tre varmetransportene kan ses i sammenheng med en rombrann, og hvordan røyklaget kan se ut.



Figur 2.8: Varmetransport som følge av brann. Figur hentet fra [28, s. 33].

2.4.1 Energiproduksjon

I en forbrenningsprosess, vil det bli produsert en total varmeproduksjon per tidsenhet ($\dot{Q}$). Den totale mengden av energi ved en forbrenning er avhengig av valg av material, forbrenningseffektivitet (χ), massetapsrate ($\dot{m}''$), arealet til brensløt (A_f) og forbrenningsvarme (ΔH_c). Måten en kan finne ut av energiproduksjonen, er å benytte formel 1:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c \quad (1)$$

Når væske eller et fast materiale brenner, må det først omdannes til gassform. Hvor rask denne prosessen kan være, avhenger av blant annet type material, størrelsen på overflaten og om materialet blir påvirket av noe ekstern stråling. Når materialet blir omdannet til gassform vil den miste masse, og kan dermed bli direkte oversatt til massetapsrate eller forbrenningshastighet [28, s. 164–165]. Det er mulig å finne massetapsraten ved brannforsøk, bruk av konkalorimeter, eller ved å benytte formel 2:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{q}''_b + \dot{q}''_e + \dot{q}''_{ts}}{L_v} \quad (2)$$

Hvor:

$\dot{m}''$ = massetapsrate pr areal ($\text{g}/\text{m}^2\text{s}$)

$\dot{q}''_b$ = varmestrålingsfluks fra flammen (kW/m^2)

$\dot{q}''_e$ = varmestrålingsfluks fra ekstern kilde (kW/m^2)

$\dot{q}''_{ts}$ = tilbakestrålingsfluks fra brenseloverflaten til omgivelsene (kW/m^2)

L_v = fordampningsvarmen (kJ/g)

Hvor mye energi av et brensel som blir frigjort i en forbrenningsprosess, blir omtalt som forbrenningsvarme. Hvordan en kan finne ut av forbrenningsvarmen, kan enten gjøres ved å benytte formler eller bruk av konkalorimeter. Konkalorimeter er egnet hvis det er flere produkter og reaktanter i en forbrenningsprosess, fordi det vil være tidskrevende å regne ut dette for hånd. Konkalorimeter «benytter forhold mellom forbrukt oksygen og produsert energimengde for å finne forbrenningsvarmen til en reaksjon» [28, s. 163]. Konkalorimeter tar også hensyn til forbrenningseffektiviteten.

2.4.2 Røykproduksjon

I underkapittel 2.1.4 ble det nevnt at røykforgiftning er den største og vanligste årsaken til dødsbranner i Norge i perioden 2004-2020. For å kunne forstå hvorfor røykforgiftning er den største årsaken for dødsbranner, er det viktig å se på hvilke stoffer røyk består av og hvordan den produseres og opptrer.

I følge KBT er røyk definert som «blandingen av gasser og aerosoler, inkludert partikler og innblandet luft, som dannes ved forbrenning eller pyrolyse i en brann» [1]. Røyk kan være forbrenningsproduktene fra brannen, men det kan også være en blanding av forbrenningsprodukt og luft som blandes inn i røyksøylen [28, s. 203]. Forbrenningsprodukter kan være blant annet sotpartikler, karbonmonoksid (CO), karbondioksid (CO₂) og vanndamp (H₂O). Når luft blandes inn i røyken og forbrenningsproduktene, er det ofte på grunn av

turbulens i røyksøylen. Mengden luft som er blandet inn i røyken er avhengig av varmeproduksjonen til brannen, og vil påvirke størrelsen på røyken og spredning av den.

Hvilke type forbrenningsprodukt som blir produsert i en brann er avhengig av tilgangen på oksygen til forbrenningssonen [28, s. 206]. Ved en fullstendig forbrenning er det vanlig at karbondioksid, vanndamp og energi blir forbrenningsproduktene, mens i en ufullstendig forbrenning er det vanlig at karbonmonoksid, vanndamp, energi, og andre røykskader blir produsert. Fullstendig forbrenning krever høy temperatur og tilstrekkelig lufttilførsel, mens ufullstendig forbrenning oppstår når temperaturen er for lav eller når mengden brennbart materiale er for høy i forhold til tilgjengelig oksygen [17, s. 61]. Ufullstendig forbrenning produserer store mengder røyk, som ofte er svart, og forekommer oftest ved branner innendørs.

Karbonmonoksid er den vanligste årsaken for dødsbrann [28, s. 204], og blir produsert som følge av en ufullstendig forbrenning. «CO virker kvelende ved at CO tar oksygenets plass i blodets røde blodlegemer» [17, s. 59]. Karbondioksid er en gass som ofte fremheves i litteraturen, og spiller en sentral rolle i både flammebranner og ulmebranner, sammen med karbonmonoksid. Karbondioksid er ikke direkte giftig i lavere konsentrasjoner, men det vil påvirke pusten slik at en kan hyperventilere, og dermed puste inn mer av de giftige røykgassene [17, s. 61].

Det er mulig å beregne produksjonen av karbonmonoksid og karbondioksid ved å ta utgangspunkt i massetapsbrenselet fra brensel, og benytte formel 3 [28, s. 208–209]:

$$\dot{m}_j = \gamma_j \cdot \dot{m}'' \cdot A \quad (3)$$

hvor:

$\dot{m}_j$ = produksjonsrate for aktuell gass (g/s)

γ_j = produksjonsfaktor for aktuell gass

$\dot{m}''$ = massetapsrate for brannen (g/m² · s)

A = areal til brannen (m²)

Det er også mulig å finne ut av røykproduksjon, toksisitet og sikt til røyk ved matematiske formler, men dette kan være vanskelig på grunn av svingninger og vilkår til bruk av disse

formelen. Det er derfor vanlig å bruke gassmålere, FDS modeller eller konekalorimeter for å finne ut av relevante verdier innenfor brann og røyk.

2.5 Simuleringsverktøy

I underkapittel 2.4.2 ble det nevnt at det kan være vanskelig å bruke håndberegninger til å finne ut av røykegenskaper som sikt, toksisitet og røykproduksjon. Dette kan forenkles ved å benytte FDS modeller, som eksempelvis PyroSim [31].

PyroSim er et avansert simuleringsverktøy for modellering av brannutvikling og røykspredning i bygninger og åpne områder. Programmet er et grafisk brukergrensesnitt (GUI) for Fire Dynamics Simulator (FDS), og en brannsimuleringsmotor utviklet av NIST (National Institute of Standards and Technology) [31]. PyroSim forenkler prosessen med å bygge komplekse 3D-modeller, definere brannscenarier og analysere hvordan varme, røyk og giftige gasser sprer seg over tid.

Ved hjelp av numeriske beregninger basert på væskedynamikk (CFD – Computational Fluid Dynamics), gir PyroSim realistiske simuleringer av brannforløp, noe som er nyttig for brannsikkerhetsanalyse, rømningsplanlegging og evaluering av ulike brannstrategier. Brukeren kan definere materialegenskaper, antennelseskilder, ventilasjonsforhold og brannbelastninger, samt analysere effekten av sprinkleranlegg og andre brannverntiltak. Programmet gir detaljert innsikt i hvordan en brann kan utvikle seg, noe som bidrar til bedre forståelse av risiko og effektive tiltak for å beskytte liv og eiendom.

2.6 Regelverk

TEK17 er regelverket som branningeniører må følge ved planlegging av nye bygg eller oppgradering av eksisterende bygg. TEK17 fastsetter minstekravene som må oppfylles for at et bygg skal bli godkjent for bruk [32]. Eksisterende bygg oppført før 1985 må tilfredsstille kravene i BF85 [33], hvis bygget er bygd etter 1985 skal det benyttes nærmeste reviderte lovverk.

TEK17 er et funksjonsbasert lovverk og inneholder forskriftskrav som må tilfredsstilles. Dette kan enten gjøres ved å følge de preaksepterte løsningene gitt i VTEK17 [34]. Hvis det ikke benyttes preaksepterte løsninger må prosjekteringsansvarlig dokumentere en alternativ løsning gjennom analyse og dokumentasjon, se underkapittel 2.6.3.

2.6.1 Regelverk for RIBr

Rådgivende ingeniør brann (RIBr) må forholde seg til lover, forskrifter og standarder som regulerer brannsikkerhet i bygg. Regelverket stiller krav til prosjektering, dokumentasjon og utførelse for å sikre et tilfredsstillende sikkerhetsnivå.

Dette underkapittelet ser nærmere på hvordan ulike punkter i forskrift og lovverk relaterer seg til brannsikring av ventilasjonsanlegg.

TEK17 § 11-10 Tekniske installasjoner

TEK17 § 11-10 med tilhørende veiledning gir ingen konkrete løsninger per i dag for å forhindre brannspredning gjennom ventilasjonskanaler. Forskriften med veiledning uttrykker kun generelt at løsningen ikke skal medføre til økt risiko for brann- og røykspredning [32], [34].

Forskrift

- (1) «Tekniske installasjoner skal prosjekteres og utføres slik at installasjonene ikke øker faren vesentlig for at brann oppstår eller at brann og røyk sprer seg» [32].

Veiledning

1. «Ventilasjonskanal som føres gjennom en brannskillende bygningsdel, må utføres slik at bygningsdelens brannmotstand blir opprettholdt.»
2. «Innfesting og oppheng for kanaler og ventilasjonsutstyr må utføres slik at forutsatt funksjonstid og brannmotstand blir opprettholdt» [34].

For å benytte sertifiserte løsninger uten behov for analyse, må en følge Byggforsk sine detaljbladanvisninger, som inneholder godkjente løsninger [24]. Anvisningene som blir beskrevet er følgende:

- Separat ventilasjonsanlegg i hver branncelle
- Steng inne-løsning
- Trekk ut-løsning

Disse løsningene er beskrevet mer i detalj på delkapittel 2.2.

TEK17 § 11-11 Generelle krav om rømning og redning

For å sikre at personer kan evakuere trygt ut fra en brann er det et krav at den tilgjengelige rømningstiden ivaretas. Den tilgjengelige rømningstiden blir ivaretatt med å stille krav til overflate, brannmotstand, bæreevne og stabilitet. Dette innebærer at hverken røykgasser eller varme sprer seg i rømningsveier i den tid som skal være tilgjengelig for rømning [34].

Forskrift

- (5) « I den tiden en branncelle eller rømningsvei skal benyttes til rømning av personer, skal det ikke kunne forekomme temperaturer, røykgasskonsentrasjoner eller andre forhold som hindrer rømning.» [32].

Veiledning

«Hensikten med bestemmelsen er at mennesker som oppholder seg i eller på byggverket under brann, kan rømme eller bli reddet til sikkert sted uten at de får alvorlige helseskader» [34].

For å finne mer spesifiserte krav i henhold til forskriften er det laget diverse akseptkriter i standarden SN-INSTA/TS 950:2014, se Tabell 2. Disse akseptkriteriene følges ofte ved evaluering av tilgjengelig rømningstid [5].

Tabell 2: Viser akseptkriteriene for krav ved rømning [5].

Parameter	Criteria	
Visibility	Visibility no less than 3 m in the primary fire compartment at area of $\leq 100 \text{ m}^2$. Visibility no less than 10 m at height of 2 m in escape routes and compartments of areas $> 100 \text{ m}^2$. As an alternative to determine visibility, a smoke-free height of $1,6 \text{ m} + 0,1 \times H$.	
Thermal ^a	Continuous radiation intensity of maximum 2.5 kW/m^2 and, a short-term radiation intensity of maximum 10 kW/m^2 if the maximum radiant dose is less than 60 kJ/m^2 .	
Temperature	Gas temperature not higher than $80 \text{ }^\circ\text{C}$.	
Toxicity ^b	CO CO ₂ O ₂	< 2 000 ppm < 5 % > 15 %
^a In addition to the energy from background radiation.		
^b Toxicity does not need to be calculated when the visibility surpasses 5 m.		

Tabell 5 (Tabell 2 i rapportens notasjon) - Tenable conditions when evaluating the available safe egress time (NKB, 1994 and adaptation by INSTA) fra SN-INSTA/TS 950:2014 er gjengitt av N.N. til bruk i bacheloroppgaven «Ventilasjon sin effekt på personsikkerhet ved saktevoksende branner» med tillatelse fra Standard Online AS februar 2025. Standard Online er ikke ansvarlig for eventuelle feil i gjengitt materiale. Se www.standard.no.

2.6.2 Regelverk for RIV

Rådgivende ingeniører innen VVS (RIV) har ansvar for prosjektering av innvendige vann- og avløpssystemer, ventilasjonsanlegg, inkludert røykventilasjon, i samsvar med gjeldende lover og forskrifter [35].

Ventilasjon

I brannceller der mennesker oppholder seg over lengre tid, er det avgjørende med tilstrekkelig tilførsel av frisk uteluft for å opprettholde god luftkvalitet. Det er tenkelig at i eldre boliger skjedde dette mer naturlig ettersom utettheter i konstruksjonen sikret tilstrekkelig lufttilførsel. Dagens energieffektive boliger, der bygningene er langt tettere, har behovet for kontrollerte ventilasjonsløsninger økt.

TEK17 § 13-2 stiller krav om at boenheter må ha et ventilasjonssystem som sikrer frisklufttilførsel [32].

Forskrift

- (1) Boenheter skal ha ventilasjon som sikrer en gjennomsnittlig frisklufttilførsel på minimum $1,2 \text{ m}^3$ per time per m^2 gulvareal når boenheten er bebodd.
- (2) Soverom skal tilføres minimum 26 m^3 friskluft per time per planlagt sengeplass når rommet er i bruk.

2.6.3 Fravik

Et fravik innebærer en dokumentert alternativ løsning i stedet for de preaksepterte ytelsene beskrevet i lovverket. TEK17 fastsetter forskrifter som må følges, og en avvikelse fra disse betegnes som et avvik. For å oppfylle forskriftene finnes det standardiserte, preaksepterte ytelser, som er beskrevet i VTEK17. Dersom en velger en annen løsning enn de preaksepterte, regnes dette som et fravik, og det må dokumenteres gjennom grundige analyser og vurderinger. Byggforskserien inneholder anvisninger for hvordan fravik fra de preaksepterte ytelsene i VTEK17 skal dokumenteres [36].

Ved utarbeidelse av fravik henvises det til fremgangsmåtene vist i standardene NS 3901 og SN-INSTA/TS 950 [5], [37].

2.7 Tidligere forskning på ventilasjon og brann

For å se på hvordan ventilasjonsløsninger påvirker et brannforløp er det avgjørende med forskningsbasert innsikt i hvordan både ventilasjonssystemer og røykpåvirkning påvirker brannutvikling. I dette delkapittelet presenteres to sentrale studier: BRAVENT-prosjektet, som har sett på effekten av ventilasjonssystemer under realistiske brannscenarier i skolebygg, og Dr. Tadahisa Jins pionerarbeid fra Japan på 1970-tallet, som gir en kvantitativ forståelse av hvordan røyk påvirker synlighet og evakueringssikkerhet. Samlet gir disse studiene viktig kunnskap for videre forskning innenfor bacheloroppgavens problemstilling.

2.7.1 BRAVENT-Prosjektene

BRAVENT er et forskningsprosjekt som har undersøkt hvordan ventilasjonssystemer kan brukes for å effektivt håndtere røyk fra små branner i skolebygg. Prosjektet ble gjennomført i

perioden 2021-2024 og ble ledet av RISE Fire Research, med deltakelse fra partnere som SINTEF Community, Oslobygg KF, Bergen Kommune, GK Norge og TROX Auranor Norge [3], [4].

I prosjektet ble 14 storskala branntester utført i et kontrollert testmiljø, der forskerne undersøkte hvordan ikke-brannklassifiserte komponenter, som spjeld og filtre, reagerte under brann. Testene inkluderte ulike typer brensel og simulerte realistiske brannscenarier i skolebygg. Resultatene ga innsikt i hvordan ventilasjonssystemene fungerte i praksis. Ett av hovedfunnene var at ikke-brannklassifiserte spjeld ofte mistet funksjonaliteten innen 30-60 minutter etter at brannen startet, noe som førte til ukontrollert røykspredning til andre deler av bygget. I tillegg ble det observert at brannpåvirkning kunne føre til elektriske feil, som for eksempel ødelagte strømforsyninger og sikringer, som resulterte i tap av kontroll over ventilasjonssystemet. Testene viste også at sot kunne akkumuleres i ventilasjonssystemet ved bruk av røykuttak, noe som kunne forverre inneklimate etter brannen.

Basert på disse funnene konkluderte BRAVENT-prosjektet med at bruk av komfortventilasjonsanlegg (trekk ut-løsning) uten brannklassifiserte komponenter for røykventilering ikke bør benyttes i skolebygg. For å sikre effektiv røykkontroll og brannsikkerhet anbefales det å benytte ventilasjonsløsninger som er brannteknisk tilpasset. Dette understreker viktigheten av å vurdere ventilasjonssystemers ytelse under brannforhold, særlig i bygninger som skoler, hvor sikkerheten til elever og ansatte er avgjørende.

2.7.2 Forskning på sikt i røyk fra Japan

På 1970-tallet gjennomførte Dr. Tadahisa Jin banebrytende eksperimenter i Japan for å undersøke hvordan røyk påvirker menneskers syn under en brann. Målet med disse studiene var å etablere en kvantitativ forståelse av synsreduksjon i røykfylte miljøer, noe som har vært avgjørende for utformingen av effektive evakueringsstrategier og sikkerhetstiltak [38].

Formålet med Jins forskning var å etablere en kvantitativ sammenheng mellom røyktetthet og synlig avstand. Dette er essensielt for å designe effektive rømningsveier og nødutganger, da redusert synlighet i røykfylte miljøer kan hindre rask og sikker evakuering.

Eksperimentene ble utført i et kontrollert kammer hvor røyk ble introdusert for å simulere

brannforhold. Forsøkspersonene ble plassert ved et vindu utenfor kammeret og ble bedt om å observere Landolts ringer, som er en standardisert måte å måle visuell skarphet.

Resultatene fra studiene viste at synlig avstand (V) er omvendt proporsjonal med den optiske røyktettheten (C_s). Dette forholdet kan uttrykkes matematisk som formel 4:

$$V = \frac{k_1}{C_s} + k_2 \quad (4)$$

Hvor k_1 og k_2 er eksperimentelle konstanter spesifikke for hver type nødbelysning eller skilt. Videre ble det identifisert forskjellige proporsjonalitetskonstanter (K) for ulike skilttyper:

Belyste skilt: $K = 8$

Reflekterende skilt eller bygningskomponenter i reflektert lys: $K = 3$

Disse funnene understreker viktigheten av belyste skilt fremfor reflekterende for å opprettholde bedre synlighet under brannforhold.

Ved å kvantifisere hvordan røyk påvirker synlighet, har disse studiene bidratt til å forbedre plasseringen og utformingene av nødutganger og rømningsveier, noe som øker sjansene for sikker evakuering under brann.

Samlet sett gir Dr. Tadahisa Jins eksperimenter en vitenskapelig forståelse av utfordringene knyttet til synlighet i røykfylte miljøer. Innsiktene er avgjørende for å utvikle effektive sikkerhetstiltak og for å redusere risikoen forbundet med brann i bygninger.

3. Metodikk

Problemstillingen kan tilnærmes på flere måter, men i denne rapporten er det valgt å fokusere på tre metoder: teori/litteraturstudie, simulering og eksperimentell metode. Disse metodene bygger på hverandre og skal samlet legge til rette for en mer helhetlig og presis besvarelse av problemstillingen.

3.1 Metode – Teori/Litteraturstudie

I denne rapporten er det gjennomført et teori/litteraturstudie for å oppnå en teoretisk forståelse av problemstillingen og etablere et solid grunnlag for videre arbeid. Kilder som lovverk, fagbøker, rapporter og vitenskapelige artikler er benyttet for å gi en dypere innsikt i tematikken. Studien fokuserte spesielt på en sammenligning av ventilasjonsløsningene trekk ut og steng inne, samt lovverk knyttet til brannsikkerhet og ventilasjon, brannndynamikk og statistikk rundt dødsbranner i Norge.

3.2 Metode – Simulering

For å forstå forskjellen mellom steng inne- og trekk ut-løsning innen ventilasjon, er det ofte ikke tilstrekkelig med et rent teoretisk grunnlag. For å identifisere vesentlige forskjeller er det derfor hensiktsmessig å utvikle en modell i et simuleringsprogram som kan gjenskape et mulig brannscenario. Simuleringsprogrammet danner også grunnlaget for å designe eksperimenter og gjennomføre forsøk med reelle branner. Simulering gir også muligheten til å teste ulike brannscenarioer før bygging av et testrom, slik at en på forhånd kan vurdere om det planlagte testoppsettet vil fungere optimalt. Denne bacheloroppgaven vil benytte simuleringsprogrammet PyroSim, som kan modellere brannforløp i 3D og tar hensyn til en rekke avanserte parametere.

3.3 Metode – Eksperimenter i testrom

Eksperimentene bygger videre på simuleringsresultatene og gir en mer konkret forståelse av forskjellen mellom ventilasjonsstrategiene. Branneeksperimenter gir en realistisk metode for å teste ventilasjonsløsninger, løsningene tar hensyn til omgivelsene i stedet for kun matematiske modeller. Ved å sammenligne eksperimentelle data med simuleringen kan hypotesen enten

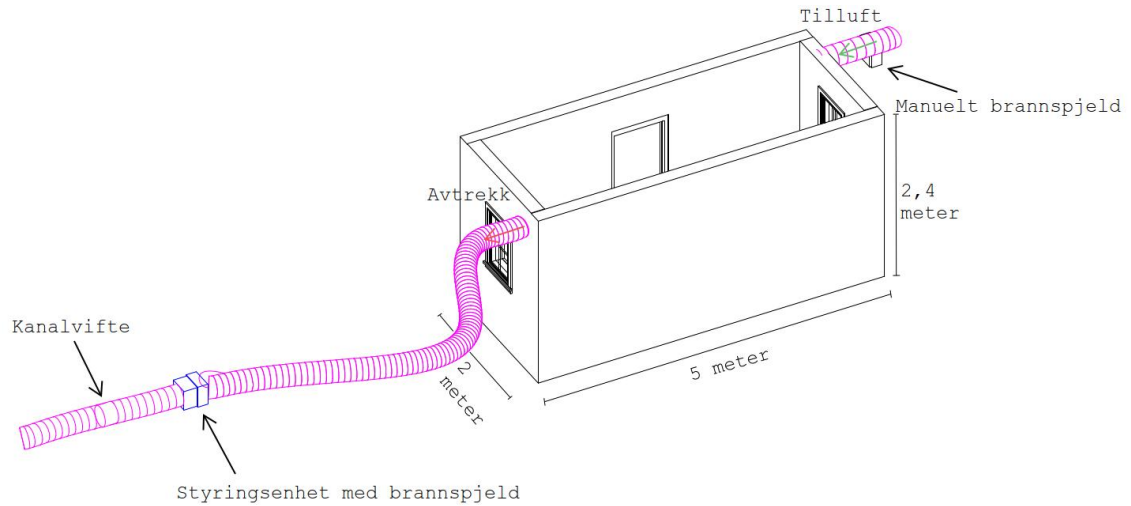
styrkes, svekkes eller avkreftes.

Før hovedforsøkene gjennomføres, vil preliminnære tester i brannlaboratoriet identifisere egnede brennmaterialer som produserer mye røyk, men minimal flamme, og samtidig er reproducerbar. Det vil også bli benyttet konkalorimeter for å få relevante brannegenskaper til produktene som blir valgt ut. Hoved eksperimentene deles deretter i kalde og varme forsøk;

- Kalde forsøk benytter en røykmaskin for å muliggjøre gjentatte tester uten skade på testrommet.
- Varme forsøk gjennomføres med ett til to brennbare materialer, der det settes søkelys på ett som gir lys grå røyk og ett som produserer svart røyk. Hvis det er tid, er det mulig å utføre forsøk med skummadrass som representerer et realistisk scenario. Ved disse forsøkene brukes ulike måleinstrumenter, som termoelementer for å måle temperaturen langs taket og gassmålere for å måle nivået av CO (karbonmonoksid), CO₂ (karbondioksid) og O₂ (oksygen) i enden av testrommet.

I både kalde og varme forsøk vurderes siktførhold ved hjelp av siktskiver og lommelykter, som måler sikten av avstander fra én til fem meter i henhold til Tabell 2.

Eksperimentene vil bli utført i et testrom som er 5 m × 2 m × 2,4 m (l × b × h). Testrommet vil bestå av gipsplater og er utstyrt med ventilasjon. Figur 3.1 er skissen over hvordan planlagt testrom med ventilasjonsanlegg skal se ut. Figur 3.1 og Figur 3.2 viser hvordan testrommet vil se ut etter en har fulgt prosedyren, se underkapittel 4.3.2. Brannkildene vil bli puttet i et brannkar, eller en lukket boks med hull oppå. Brannkilden i en lukket boks med hull oppå er inspirert av forsøkene gjort i Sintef sine forsøk på ulmebrann og deteksjon [39].



Figur 3.1: Skisse av testrom med tilhørende ventilasjon, tegnet i Revit.



Figur 3.2: Innsiden av testrommet og montering av ventilasjonsanlegget



Figur 3.3: Bilde av tilluftsventil. Trekk ut-løsning til venstre, og steng inne-løsning til høyre.

4. Eksperimentelt oppsett

Det ble valgt å utføre eksperimentelle forsøk i tre ulike stadier. Det gjennomførtes simuleringer i PyroSim for å modellere brannutvikling i det planlagte testrommet, som skal bygges i Hall of Flame – Høgskulen på Vestlandet (HVL) sin brannhall på Maersk sitt treningsområde. Testrommet har dimensjonene $5\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2,4\text{ m}$ ($l \times b \times h$). På testrommet ble det montert et ventilasjonsanlegg som både kunne kjøres på steng inne- og trekk ut-løsning. Her ble det gjennomført kalde forsøk med røykmaskin, i tillegg til varme forsøk med brensel (trepellets, EPS og skummadrass).

4.1 Preliminære forsøk

Valg av brensel til forsøkene krevde innledende testing, da det var vanskelig å finne relevante verdier i litteraturen eller på nettet. Derfor ble det gjennomført innledende tester i forkant, slik at brensel kunne velges basert på røykproduksjon, som var den mest interessante parameteren i henhold til underkapittel 2.1.4.

Trepellets og EPS var materialene som i hovedsak ble testet. Det ble utført ulike varianter med forskjellig vekt, antennelseskilde og opptenningstid. Testene ble gjennomført på brannlaboratoriet ved campus Haugesund, HVL. Etter ti forsøk med hvert materiale ble det konkludert med følgende:

- Trepellets: En vekt på 1000-2000 gram, gassbrenner som antennelseskilde og en opptenningstid på to og et halvt minutt med bomulldotter på toppen. Dette resulterte i en stabil røykproduksjon med usynlige flammer.
- EPS: En vekt på 60-100 gram, lighter som antennelseskilde og en opptenningstid på noen få sekunder. Dette ga en hurtig røykproduksjon med synlige flammer.

Konkalorimeteret ble også benyttet for å få detaljert informasjon om egenskapene til trepellets og EPS, som ble anvendt i FDS-programmet PyroSim, se «Vedlegg A: Konkalorimeter Trepellets» og «Vedlegg B: Konkalorimeter EPS».

På Hall of Flame ble det gjennomført enkle tester med røykmaskin, trepellets, EPS og skummadrass for å finne tidspunktet da brannvarsleren ble utløst. Det ble gjennomført tre tester for hvert materiale, og gjennomsnittstiden ble benyttet som referansepunkt for stenging av brannspjeldet.

4.2 Eksperiment 1: Simulering

Før testrommet ble bygget opp og fysiske eksperimenter ble gjennomført, ble det ansett som hensiktsmessig å simulere et brannscenario for å spare tid. Dette gjorde det mulig å oppdage eventuelle feil eller svakheter før oppbygging av testrommet, samt å teste ulike endringer i modellen. Når modelleringen ga tilfredsstillende resultater, gikk en videre til praktiske tester og sammenlignet til slutt resultatene.

4.2.1 Utstyrliste

Se «Vedlegg C: Utstyrliste simulering».

4.2.2 Prosedyre

Se «Vedlegg D: Prosedyre Simulasjon FDS».

4.3 Oppsett av testrom

Hvis en følger utstyrlisten og prosedyren for oppsett av testrommet, vil utseendet bli seende ut som Figur 3.1 og Figur 3.2

4.3.1 Utstyrliste

Se «Vedlegg E: Utstyrliste testrom».

4.3.2 Prosedyre

Testrommet besto av fire vegger, bestående av konstruksjonsvirke, vindsperre, gipsplater, dør og vindu av plexiglass. Rommet ble bygget i dimensjonene 5 m × 2 m × 2,4 m (l × b × h). Først ble selve rammeverket bygget, med vinduer og dør. Deretter ble vindsperre og gipsplater festet innvendig. Etter at rommet var ferdig bygget, ble termoelementer, siktmålingsskiver, rømningsskilt og lommelykter installert inne i rommet. I tillegg ble ventilasjonsanlegget

montert, med tillufts- og avtrekksventiler, kanaler, brannspjeld og tilhørende styringsenhet.

Se «Vedlegg F: Prosedyre testrom» for nøyaktig prosedyre.

4.4 Eksperiment 2: Kalde forsøk

For å se forskjell på ventilasjon sin effekt ved røykspredning, uten å bruke reelle flammer, ble det benyttet en røykmaskin. Resultatene ble sammenlignet med verdiene fremstilt i Tabell 2.

4.4.1 Utstyrliste

Se «Vedlegg G: Utstyrliste kalde forsøk»

4.4.2 Prosedyre

For å undersøke hvordan røyk sprer seg i et testrom under kontrollerte forhold, ble det gjennomført seks eksperimentelle forsøk med røykmaskin. Prosedyren var nøye planlagt for å sikre systematiske målinger og pålitelige resultater.

Før eksperimentene kunne starte, var det avgjørende at nødvendig utstyr var på plass. Sikkerhetsutstyret ble gjort klart for å redusere risikoen under forsøkene, og røykmaskinen ble fylt med tilstrekkelig mengde røykvæske for å sikre en jevn fordeling av røyk gjennom hele forsøket.

Eksperimentene startet med at avtrekksviften ble aktivert for å kontrollere ventilasjonsforholdene i brannhallen. Deretter ble røykmaskinen plassert midt i rommet, hvor de seks forsøkene ble utført. Etter at maskinen var på plass, forlot observasjonspersonene rommet og inntok posisjon ved observasjonsvinduet for å overvåke røykutviklingen. Det ble gjennomført tre forsøk med både steng inne- og trekk ut-løsning.

For å sikre en kontrollert og jevn spredning av røyken, ble røykmaskinen aktivert med intervaller på mellom ett og et halvt minutt. Dette forhindret overmetning av væske i luften og sørget for at røyken ble sluppet ut i konsistent mengde. Under forsøket ble faktorer nøye observert og registrert, blant annet tidspunktet da de ulike siktpunktene forsvant og når

rømningsskiltet ikke lenger var synlig. I tillegg ble røyken analysert med hensyn til hvordan den fordelte seg i rommet – om den la seg langs gulvet eller spredte seg jevnt.

4.5 Eksperiment 3: Varme forsøk

For å evaluere ventilasjonsløsningene under realistiske brannforhold, ble varme forsøk utført med trepellets, EPS og skummadrass som brensel.

4.5.1 Utstyrliste

Se «Vedlegg H: Utstyrliste varme forsøk».

4.5.2 Prosedyre

Før oppstart

Før forsøket startet, ble alt av nødvendig sikkerhetsutstyr og påkledning med verneutstyr tatt i bruk. Datamaskin, videokamera og loggesystemet for måleinstrumentene ble startet opp for å kunne sikre registrering av måledata gjennom hele forsøket.

Materialene som ble benyttet i forsøkene var trepellets, EPS og skummadrass. For å sikre en standardisert forbrenning, veides alle typer brensel nøyaktig.

Ved oppstart av hvert varme forsøk ble avtrekksviften i brannhallen aktivert med 80 prosent kapasitet for å ventilere ut røykgasser. Deretter ble loggesystemet startet, opptak av videokamera skrudd på, og observasjonspersonene benyttet gassmasker for å unngå inhalering av giftige gasser.

Prosedyre trepellets

Trepellets med en vekt på 2000 gram ble plassert i et brannkar med dimensjonene 20 cm × 20 cm × 15 cm (l × b × h). For å sikre antenning ble det brukt to bomullsdotter med en total vekt på 3,5 gram, se Figur 4.1.

Ved antenning av trepellets, ble materialet tent på under avtrekksviften med gassbrenner i to og et halvt minutter, hvor til slutt to bomullsdotter ble plassert på toppen for å sikre forbrenning.

Når flammene ble usynlige og trepelletsene kun ulmet, ble brannkaret løftet inn i testrommet og plassert på vekta. Da karet ble plassert på vekta, nullstiltes vekta og logging av massetap og temperatur startet.

Underveis i forsøket ble gasskonsentrasjon ved to meters høyde målt hvert tiende minutt. Hvert forsøk ble avsluttet etter 45 minutter. Det ble gjennomført totalt tre forsøk hver med steng inne- og trekk ut-løsning.



Figur 4.1: Trepellets med bomulldotter.

Prosedyre EPS

EPS-platen ble kuttet opp i åtte biter med dimensjonene $10\text{ cm} \times 15\text{ cm} \times 5\text{ cm}$ ($l \times b \times h$), med en totalvekt på 100 gram. Deretter ble bitene plassert i et brannkar med dimensjonene $20\text{ cm} \times 20\text{ cm} \times 15\text{ cm}$ ($l \times b \times h$). For å sikre antenning på EPS, ble det benyttet tre bomullsdotter med en total vekt på 5,25 gram, se Figur 4.2.

Antenning av EPS forgikk inne i testrommet, direkte på vekta. De tre bomullsdottene ble plassert mellom EPS-bitene og tent med en lighter. Det var ikke plass til alle åtte bitene av EPS i karet, slik at observasjonspersonen som antente materialet måtte legge på de to siste bitene underveis i forbrenningen. Da alle bitene var plassert i karet, ble vekta nullstilt og logging av massetap og temperatur startet.

Underveis i forsøket ble gasskonsentrasjon ved to meters høyde målt hvert to og et halvt minutt. Forsøket ble avsluttet etter 16 minutter. Det ble gjennomført totalt tre forsøk hver med steng inne- og trekk ut-løsning.



Figur 4.2: Oppsett av EPS

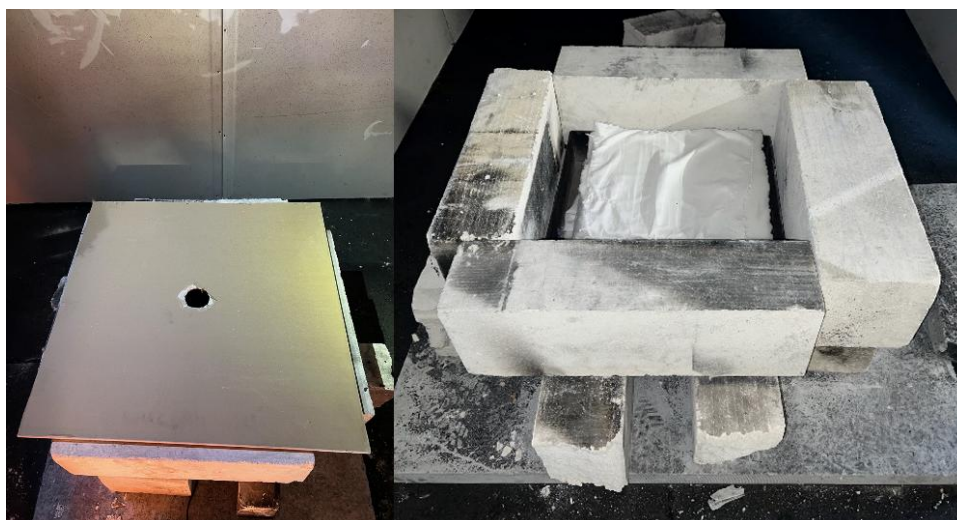
Skummadrass

Skummadrassen ble kuttet opp i biter på $40\text{ cm} \times 35\text{ cm} \times 7\text{ cm}$ ($l \times b \times h$) og plassert i et brannkar med dimensjonene $40\text{ cm} \times 40\text{ cm} \times 10\text{ cm}$ ($l \times b \times h$). Det ble brukt 0,5 desiliter heptan for å sikre antenning, som ble helt over madrassen, se Figur 4.3.

Til forsøket med skummadrass ble det bygget en plattform med betongklosser for å sikre tilgang

på oksygen fra undersiden, og for å få plass til vekten. Deretter ble gipsplaten med hull plassert på toppen av brannkaret, se Figur 4.3. Ved antenning ble både skummadrassen og heptanet tent på inne i rommet. Gipsplaten ble lagt over karet før antenningen. Etter antenning ble vekten nullstilt, og loggingen startet.

Gassmålinger ble gjort underveis i forsøket, både i to meters høyde og ved 0,7 meters høyde, for å representere hodehøyden til sengeliggende personer. Forsøket ble avsluttet etter 20 minutter. Det ble gjennomført ett forsøk hver med steng inne- og trekk ut-løsning.



Figur 4.3: Skummadrass med plate

Generelt for varme forsøk

Under forsøkene ble flere ulike parametere registrert. Tidspunktet for når de ulike siktmålingspunktene forsvant ble notert, sammen med observasjoner av hvordan røyken oppførte seg i rommet. Dersom det oppsto behov for justeringer i vekten eller antennelsestiden, ble dette vurdert før neste forsøk. Videre ble tidspunktet for aktivering av brannalarmen registrert.

Fem termoelementer var plassert langs taket, og temperaturen ble målt gjennom hele forsøket. Når forsøket var ferdig, ble loggesystemet stoppet, og resultatene lagret i en datafil eller på en minnebrikke for videre analyse. Dersom det fortsatt ble produsert røyk, ble en stein lagt over brannkaret. Lommelyktene ble satt på ladning for å sikre tilstrekkelig lyskapasitet til neste forsøk.

5. Resultat

Her presenteres resultatene fra både teori/litteraturstudie, simulering og praktiske forsøk. Målet er å gi en detaljert oversikt over funnene.

Teori/litteraturstudie avdekket et behov for å sammenligne steng inne-løsning med trekk ut-løsning, se delkapittel 5.1.

Simulering ga en større innsikt i hvordan saktevoksende branner utvikler seg, i det tiltenkte testrommet som skulle bygges. Simuleringene avdekket flere interessante funn som ga et verdifullt kunnskapsgrunnlag før de praktiske forsøkene startet, se delkapittel 5.2.

I de praktiske forsøkene ble kunnskapsgrunnlaget fra teori/litteraturstudie og simulering brukt for å bygge og preparere til forsøk i testrommet. Reelle brannforløp ble prøvd ut i testrommet for så å analyseres med diverse instrumenter som testrommet var utstyrt med. Resultatene var svært interessante og viste en klar forskjell mellom de to ventilasjonsløsningene, se delkapittel 5.3 og 5.4.

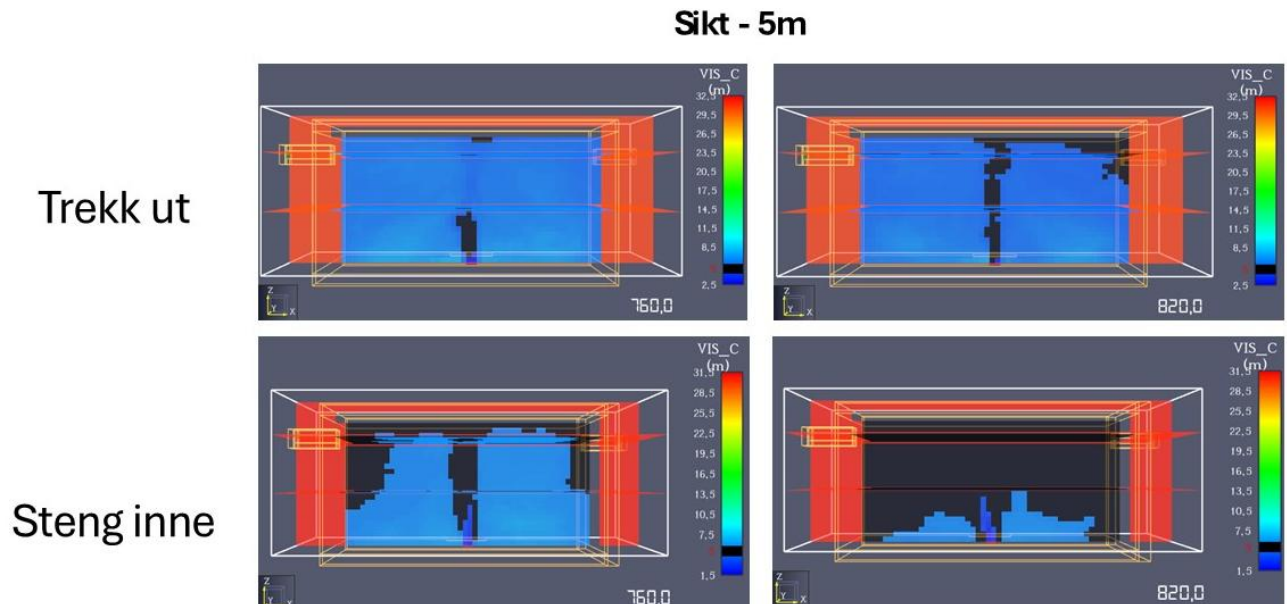
5.1 Teori/Litteraturstudie

Basert på teori/litteraturstudien har det framkommet et behov for en grundigere undersøkelse av forskjellene mellom steng inne- og trekk ut-løsningene i ventilasjonssystemer for brannsikring. Underkapittel 2.7.1 hvor BRAVENT-prosjektene konkluderte med at steng inne-løsningen, hvor ventilasjonssystemet lukkes for å begrense røykspredning, er den eneste preaksepterte ventilasjonsløsningen for brannsikring. Samtidig viser funnene at flesteparten av de omkomne blir funnet i samme branncelle som brannen startet, se underkapittel 2.1.5. Det antas at ved steng inne-løsning vil personsikkerheten går ned med tanke på høye gasskonsentrasjoner og dårlig sikt. Det er derfor nødvendig med videre undersøkelser for å kartlegge hvordan de ulike ventilasjonsløsningene påvirker rømning, røykspredning og personsikkerheten til personer i startbranncellen.

5.2 Simulering

Det ble valgt furu som brensel, og verdiene ble hentet fra biblioteket i PyroSim. Det ble valgt

en energiproduksjon per areal (HRRPUA) på 100 kW/m^2 , hvor det var stor forskjell på tid til sikten forsvant. Simuleringen bekreftet at planlagt romdimensjon på $5 \text{ m} \times 2 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ ($l \times b \times h$) var relevant og gjennomførbart, siden det ga forskjeller mellom steng inne og trekk ut prinsippet på både sikt og gasskonsentrasjoner. Figur 5.1 viser forskjellen på sikt.



Figur 5.1: Forskjellen på sikt ved simulering. Området markert med svart er hvor sikten er fem meter

Simuleringsmodellen ble anvendt videre i prosjektet for å kunne gi en indikasjon på hvordan de varme forsøkene ville bli. Modellen ble også brukt for å kunne teste ut forskjellige brannscenarier og størrelse på en brann, men fokuserte mest på brann med liten energiproduksjon. Etter preliminare forsøk ble trepellets og EPS valgt som brensel til de varme forsøkene, og i ettertid ble skummadrass valgt som siste testmateriell. Simuleringsmodellen ble kun brukt til å simulere trepellets og EPS, da skummadrass ikke ble benyttet før utførelse av varme forsøk. Resultatet av dette blir presentert videre i delkapittelet.

Beregninger

For å finne ventilasjonshastigheten til avtrekk og tilluft, benyttes formel 5:

$$V = \frac{Q}{A} \quad (5)$$

Hvor

$$V = \text{Ventilhastighet [m/s]}$$

$$Q = \text{Luftstrøm} [\text{m}^3/\text{h}]$$

$$A = \text{Areal} [\text{m}^2]$$

Arealet til avtrekksventilen og tilluftsventilen er 0,0123 m² og 0,0201 m². Luftstrømmen er 26 m³ per time i henhold til VTEK, og 40 m³ per time i henhold til målinger utført på testrommet. Det betyr at ventilasjonshastigheten til avtrekket og ventilen, i henhold til minstekrav fra TEK og målte verdier, er:

$$V_{\text{avtrekk, TEK}} = 0,36 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{tilluft, TEK}} = 0,59 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{avtrekk, målt}} = 0,90 \text{ m/s}$$

$$V_{\text{tilluft, målt}} = 0,55 \text{ m/s}$$

For å kunne legge inn brannens energiproduksjon (HRR), kan formel 6 benyttes:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c \quad (6)$$

Massetapsraten ($\dot{m}''$), forbrenningseffektivitet (χ) og forbrenningsvarmen (ΔH_c) til både trepellets og EPS ble bestemt etter bruk av konkallorimeteret, se «Vedlegg A: Konkallorimeter Trepellets» og «Vedlegg B: Konkallorimeter EPS». Arealet til karet er 0,024 m². Basert på resultatet fra konkallorimeteret, ble energiproduksjonen til trepellets ($\dot{Q}_{\text{pellet}}$) lik 7,38 kW og EPS ($\dot{Q}_{\text{EPS}}$) lik 7,3 kW. Til slutt ble tallet dividert med arealet til karet, slik at HRRPUA ble bestemt, som ga følgende:

$$\text{HRRPUA}_{\text{pellet}} = 184,4 \text{ kW/m}^2$$

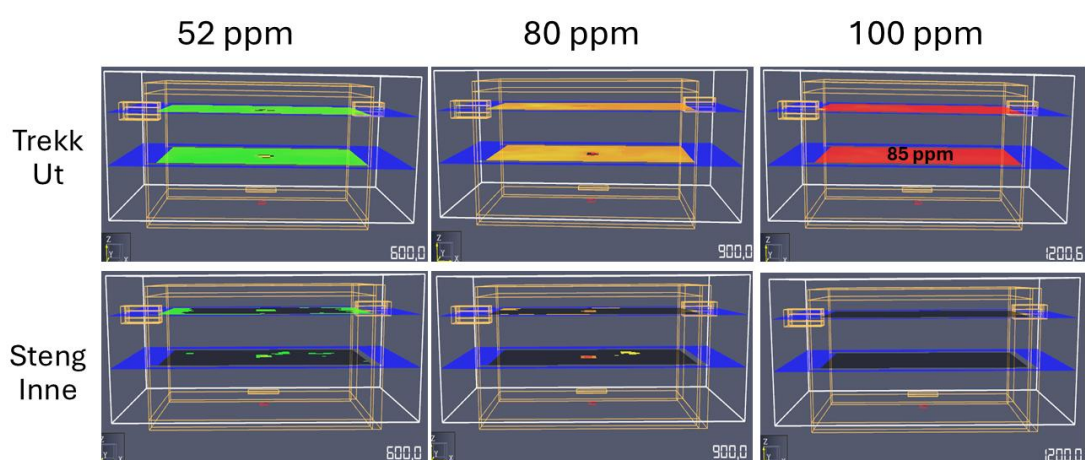
$$\text{HRRPUA}_{\text{EPS}} = 182,4 \text{ kW/m}^2$$

5.2.1 Trepellets

Gassmålinger

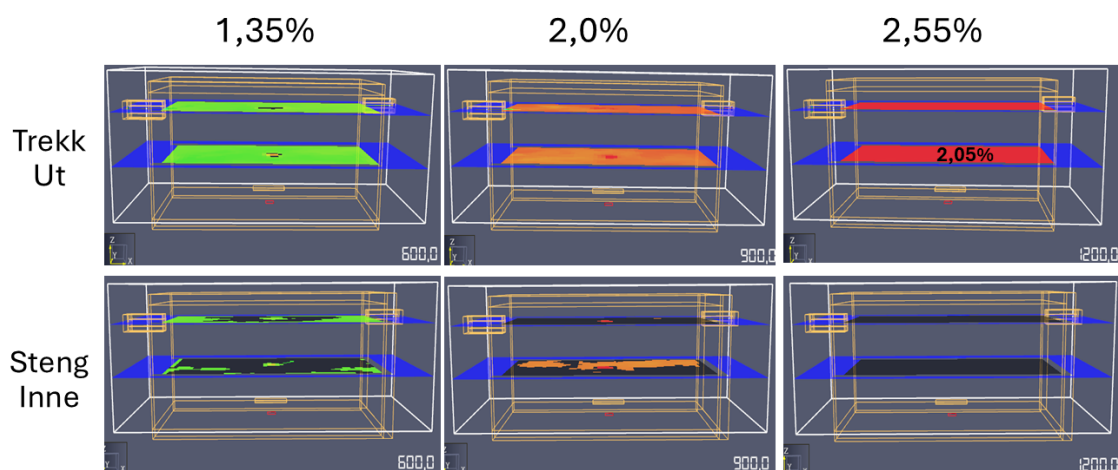
Det var betydelig forskjell av gasskonsentrasjon basert på hvilken ventilasjonsstrategi som ble brukt. Steng inne-løsning hadde høyere gasskonsentrasjon på CO og CO₂ sammenlignet med trekk ut-løsning. Steng inne-løsning hadde i tillegg lavere O₂ konsentrasjon sammenlignet med trekk ut-løsning. Det var ikke mye CO som ble produsert av brenselet, men oksygenivået ble betydelig lavere over kort tid. Det ble sammenlignet på tidspunktene 600, 900 og 1200 sekunder inn i brannforløpet. Figur 5.2, Figur 5.3 og Figur 5.4 viser forskjellen på gasskonsentrasjonen i henhold til hvilken ventilasjonsstrategi som ble benyttet.

CO Konsentrasjon



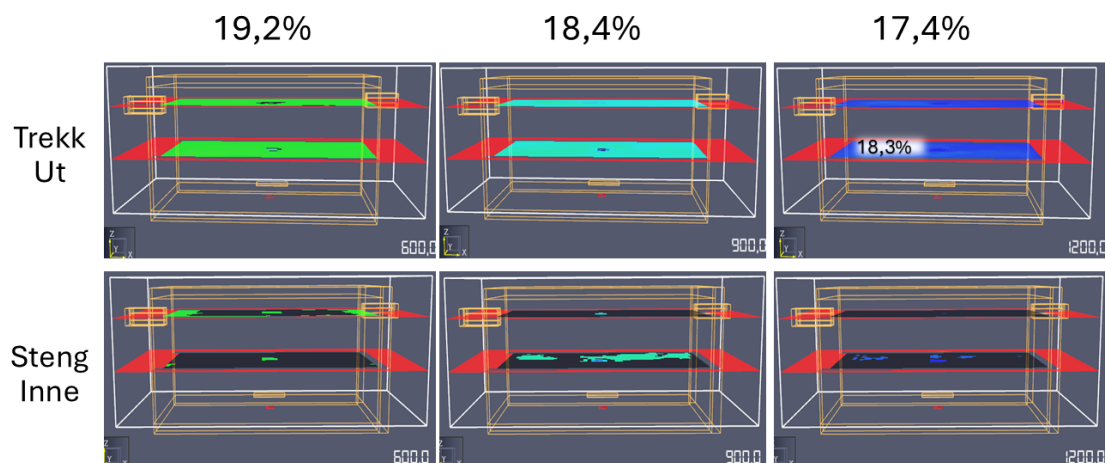
Figur 5.2: CO konsentrasjon over tid, simulering av trepellets

CO₂ Konsentrasjon



Figur 5.3: CO₂ konsentrasjon over tid, simulering av trepellets

O₂ Konsentrasjon

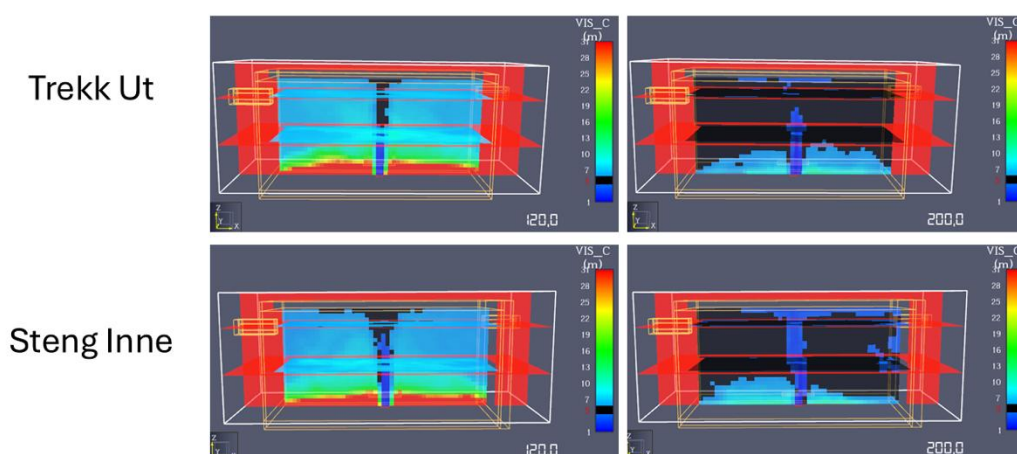


Figur 5.4: O₂ konsentrasjon over tid, simulering av trepellets

Siktmåling

Det var liten forskjell på når sikten forsvant i forhold til hvilken ventilasjonsstrategi som ble benyttet. Sikten ble svakere etter 120 sekunder og hadde lik trend under hele simuleringen. Sikten gikk ned til én meter mot slutten. Figur 5.5 viser hvor liten forskjell det var på sikt i rommet.

Sikt – 5 meter

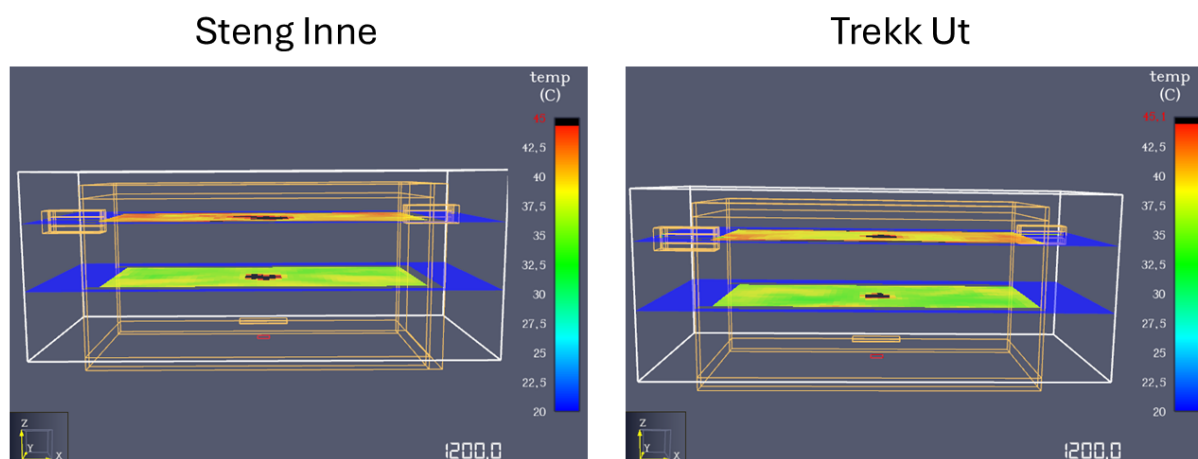


Figur 5.5: Sikt over tid, simulering av trepellets

Temperatur

Temperaturen var relativt lav under hele simuleringen, og hadde en makstemperatur på 45 grader celsius. Figur 5.6 viser temperaturen på slutten av simuleringen.

Temperatur



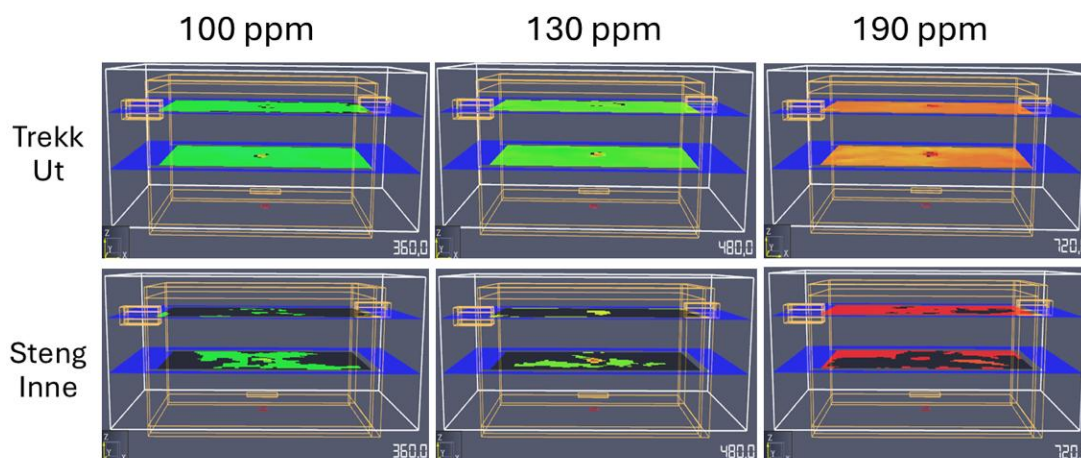
Figur 5.6: Temperatur over tid, simulering av trepellets

5.2.2 EPS

Gassmålinger

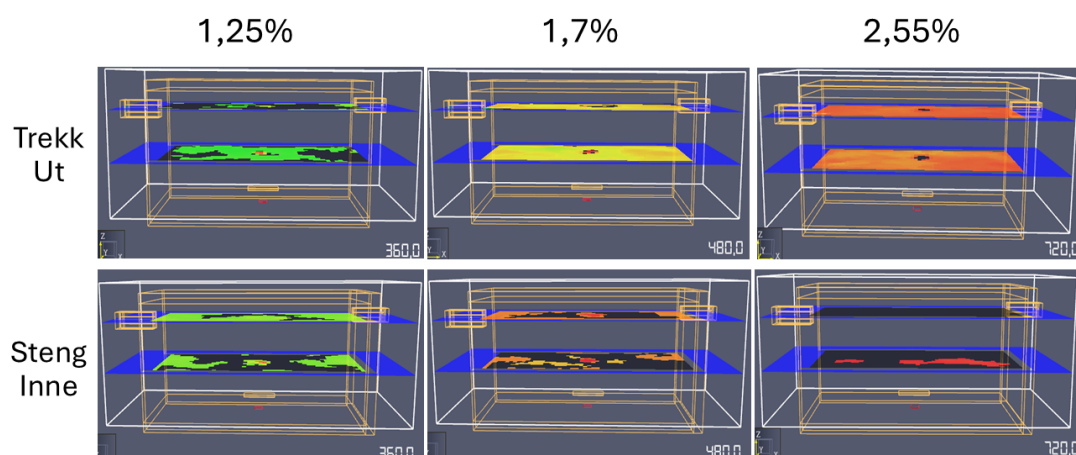
Sammenlignet med trepellets, var CO konsentrasjon høyere på simulering av EPS. Trekk ut-løsning ga bedre vilkår enn steng inne-løsning på alle parametere ved gass konsentrasjon til CO, CO₂ og O₂. Figur 5.7, Figur 5.8 og Figur 5.9 viser sammenligning av gasskonsentrasjon over tid.

CO Konsentrasjon



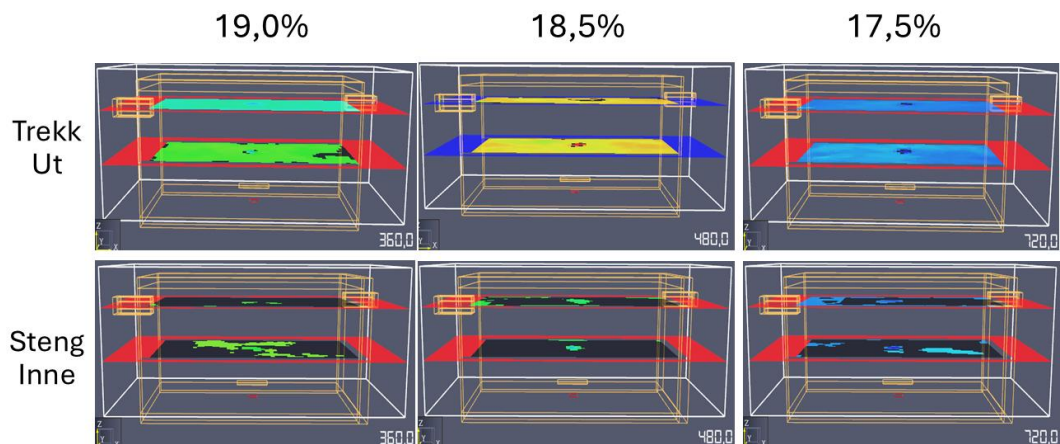
Figur 5.7: CO konsentrasjon over tid, simulering av EPS

CO₂ Konsentrasjon



Figur 5.8: CO₂ konsentrasjon over tid, simulering av EPS

O₂ Konsentrasjon

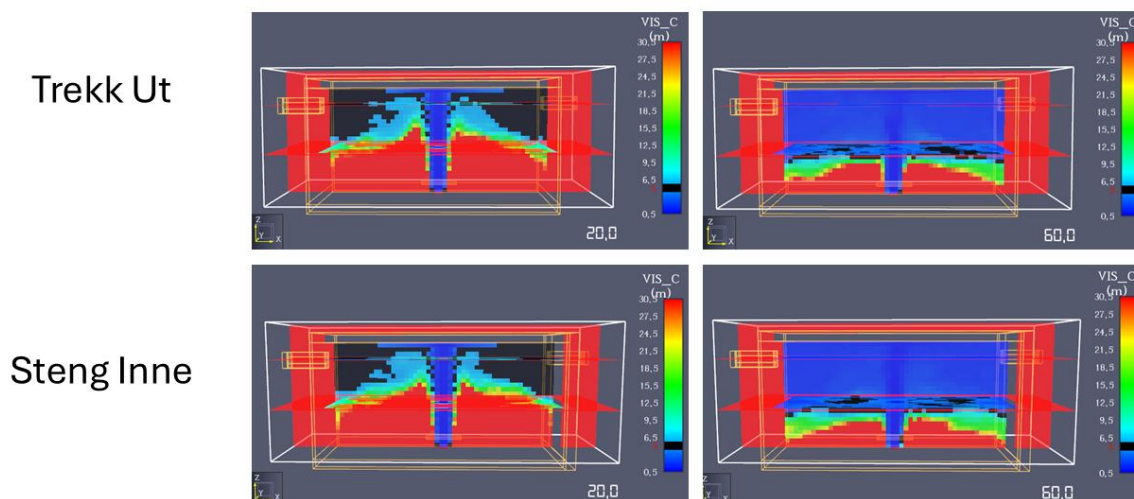


Figur 5.9: O₂ konsentrasjon over tid, simulering av EPS

Siktmåling

Det var liten forskjell på ventilasjonen sin påvirkning på sikt. Sikten på fem meter forsvant tilnærmet likt på både trekk ut- og steng inne-løsning og begynte å forsvinne etter 20 sekunder. Etter 60 sekunder var sikten mellom tre og fire meter. Figur 5.10 viser sikten over en gitt tid.

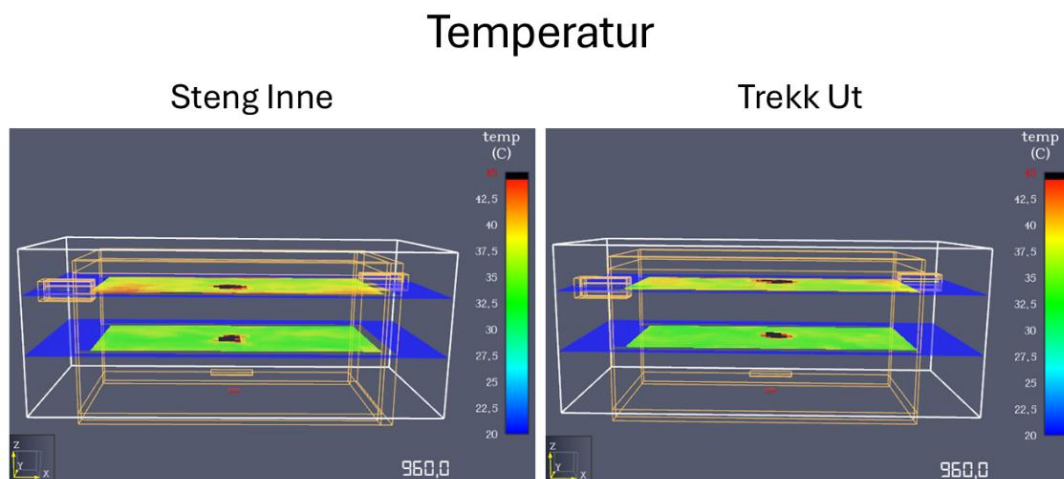
Sikt – 5 meter



Figur 5.10: Sikt over tid, simulering av EPS

Temperatur

Makstemperaturen var på 45 grader celsius under simulering. Figur 5.11 viser temperaturen på slutten av simuleringen.



Figur 5.11: Temperatur over tid, simulering av EPS

5.3 Kalde forsøk

Det ble utført totalt seks forsøk med røykmaskin, hvor tre ble utført med steng inne-løsning og tre med trekk ut-løsning. Tre observasjonspersoner noterte ned tidspunkt når lyspunktene på hvert siktpunkt forsvant og lyset skulle være helt borte før tiden var gyldig. På grunn av begrenset med tid, ble hvert forsøk utført i 45 minutter. Gjennomsnittstemperaturen i testrommet var på åtte grader celsius. Det ble utført fire forsøk med steng inne-løsning, det ene forsøket ble «ikke tellende» da lommelyktene ikke var ladet opp og temperaturen i rommet var rundt 17 grader celsius.

Det ble installert optisk røykvarsler i tre av forsøkene, denne hadde varslingstid på gjennomsnittlig 46 sekunder. Dette ble utgangspunktet til når brannspjeldene skulle lukkes under forsøk med steng inne-løsning.

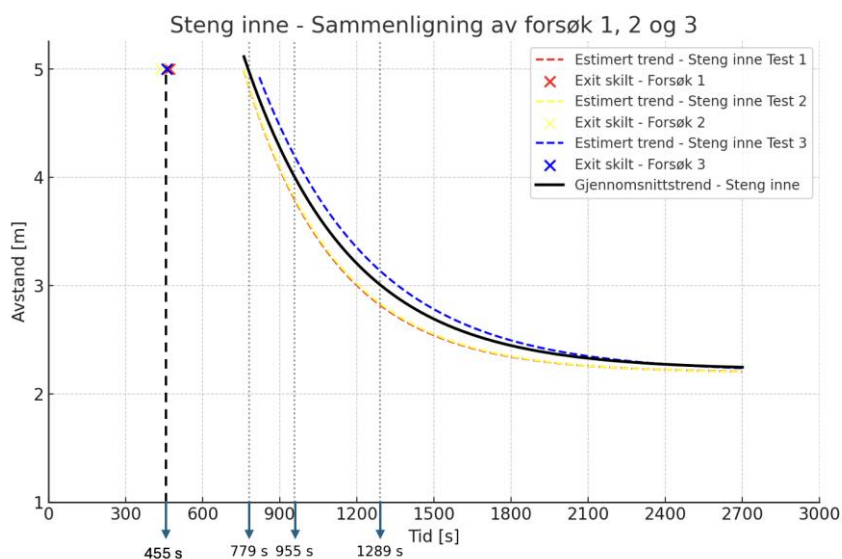
Resultater - Steng inne-løsning

Resultatene viste lite variasjon mellom de tre gyldige forsøkene. Rømningsskiltet forsvant samtidig hvert forsøk, med en forskjell på ett-to minutter. Variasjonen skyldtes at røykmaskinen tidvis måtte lade opp før den kunne produsere mer røyk.

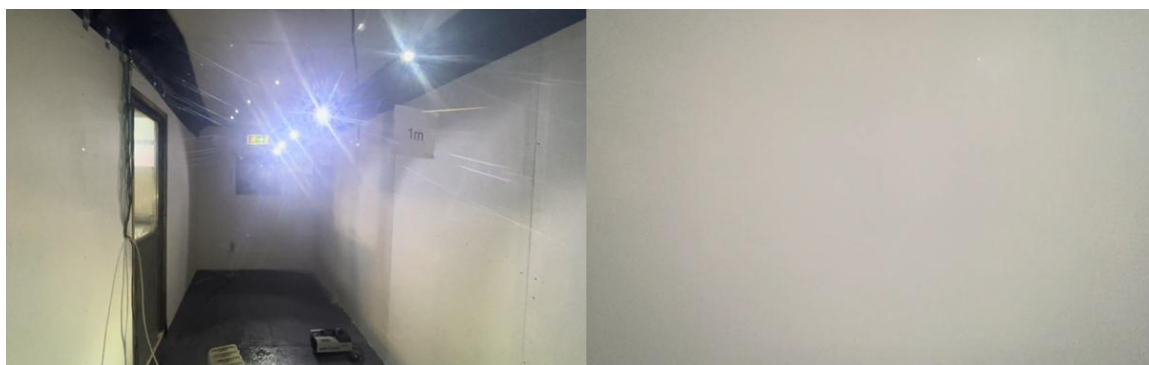
Lyspunktene på en- og to meter forvant aldri, selv etter 45 minutter. Lyspunktet på to meter var flere ganger nær ved å forsvinne i røyken, men det ble aldri fullstendig skjult. Figur 5.13 viser sikten i rommet etter 40 minutter.

Basert på målingene ble en estimert trend for siktreduksjon laget, se Figur 5.12 som viser disse resultatene:

- Sikten på fem meter ble borte etter 779 sekunder (13 minutter)
- Sikten på fire meter ble borte etter 955 sekunder (15 minutter og 55 sekunder)
- Sikten på tre meter ble borte etter 1289 sekunder (21 minutter og 29 sekunder)
- Rømningsskiltet (exit skilt) forsvant etter 455 sekunder (7 minutter og 35 sekunder)



Figur 5.12: Resultat fra forsøk med steng inne-løsning, røykmaskin.

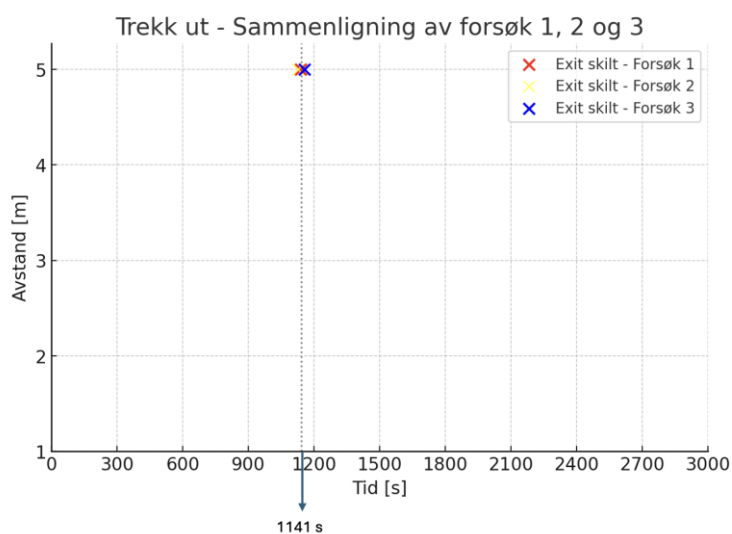


Figur 5.13: Steng inne-løsning før test start og etter 40 min.

Resultat – Trekk ut-løsning

Forsøkene med trekk ut-løsning ble det observert at ingen av lyspunktene forsvant i løpet av 45 minutter. Selv om sikten ved fem meters avstand ble betydelig redusert, ble den aldri så dårlig at lyspunktene forsvant helt, se Figur 5.15. I ett av forsøkene ble varigheten utvidet til 60 minutter, men lyspunktet på fem meter var fortsatt synlig. For å kunne sammenligne de ulike ventilasjonsløsningene, ble synligheten til rømningsskiltet brukt som referanse. Resultatene kan oppsummeres som følger:

- Ingen lyspunkter forsvant i løpet av 45 minutter.
- Redusert sikt ved fem meter, men aldri helt tapt.
- Ved 60 minutter var lyspunktet fortsatt synlig på fem meters avstand.
- Rømningsskiltet forsvant i gjennomsnitt etter 1141 sekunder (ca. 19 minutter), se Figur 5.14.



Figur 5.14: Resultat av forsøk med trekk ut-løsning, røykmaskin.



Figur 5.15: Trekk ut-løsning før test start og etter 40 min.

Oppsummering

Forsøkene viser at sikten ble betydelig redusert med steng inne-løsning sammenlignet med trekk ut-løsning. Rømningsskiltet (exit skilt) forvant mer enn dobbelt så raskt ved steng inne (7 minutter og 35 sekunder) sammenlignet med trekk ut (19 minutter), se Figur 5.16.

Videre viste steng inne-løsningen en gradvis reduksjon av sikten på fem, fire og tre meters avstand, mens ingen av lyspunktene forsvant med trekk ut-løsning.



Figur 5.16: Steng inne-løsning til venstre og trekk ut-løsning til høyre etter 7 minutter og 40 sekunder. Rømningsskiltet er markert i den røde sirkelen på bilde til høyre.

5.4 Varmer forsøk

Her blir resultatene fra de reelle brannforsøkene presentert. Fremstilling av resultatene varierer, da noen av forsøk ble gjennomført tre ganger og en gjennomsnittstrend ble laget. Forsøkene med skummadrass ble derimot kun gjennomført én gang per ventilasjonsløsning og resultatene presenteres basert på høyeste og laveste måling.

5.4.1 Trepellets

Det ble utført tre tester hver med steng inne- og trekk ut-løsning. Test 1 med trekk ut-løsning hadde litt ulikt resultat sammenlignet med de andre testene, og dro ned gjennomsnittsresultatet til de ulike målingene.

Romtemperaturen til testrommet var mellom 4-12 grader celsius under alle seks forsøk. Selve forsøket startet når trepelletsene ulmet, etter 7 minutter og 40 sekunder. Da ble karet med pellets plassert inn i rommet, forsøk/logging kunne så starte. Gjennomsnittlig varslingstid etter tre

forsøk var på 35 sekunder, og dette ble utgangspunktet for når brannspjeldene skulle lukkes under forsøkene med steng inne-løsning

Gassmålinger

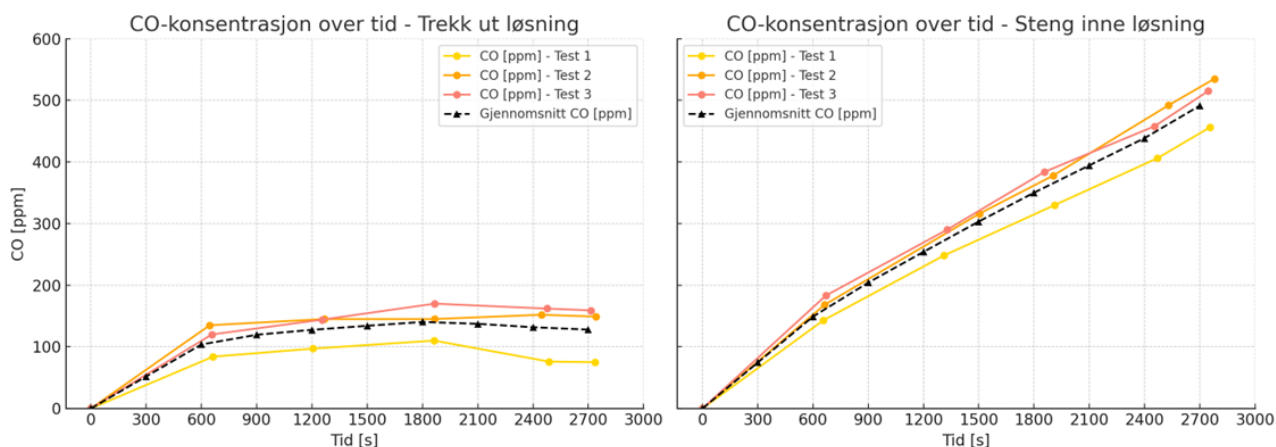
Forskjellen mellom gassnivået til karbonmonoksid (CO) og karbondioksid (CO₂) var betydelig avhengig av hvilken ventilasjonsløsning som ble utnyttet. Konsentrasjonen til oksygen (O₂) var den samme, uavhengig av trekk ut- eller steng inne-løsning. Figur 5.17, Figur 5.18 og Figur 5.19 viser forskjellen på gassnivåene basert på tre forsøk med steng inne-løsning, og tre forsøk med trekk ut-løsning.

Trekk ut-løsning ga følgende resultater for gassmålinger:

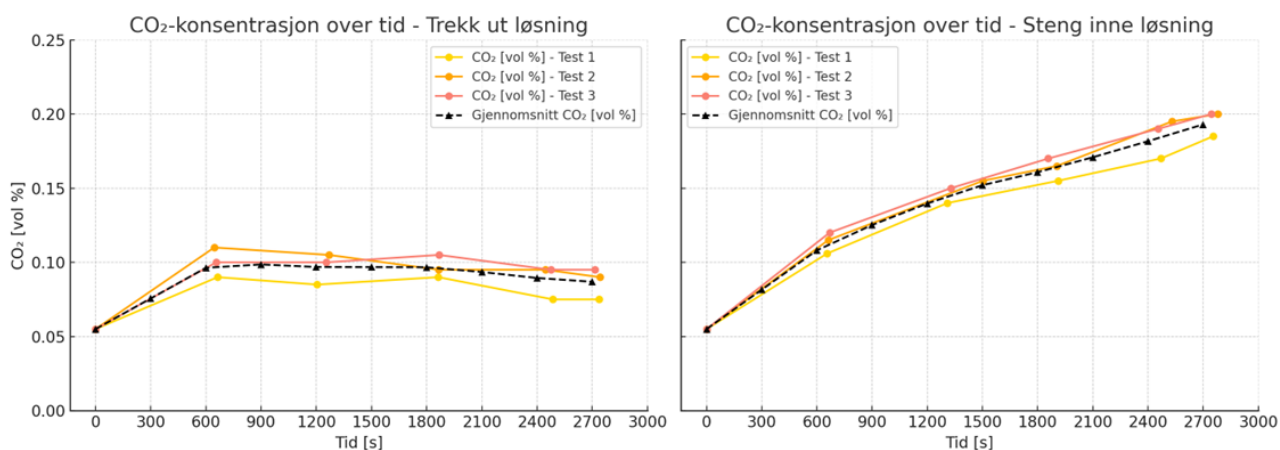
- CO konsentrasjonen hadde i gjennomsnitt 140 ppm på de høyeste målingene og høyeste måling på 170 ppm.
- CO₂ konsentrasjonen hadde i gjennomsnitt 0,10 prosent på de høyeste målingene og høyest ved 0,11 prosent.
- O₂ konsentrasjonen holdt seg stabilt på 20,9 prosent.
- Generelt avtar både CO og CO₂ etter omtrent 1900 sekunder (31 minutter og 40 sekunder) og har en lik trend frem til 2700 sekunder (45 minutter).

Steng inne-løsning ga følgende resultater for gassmålinger:

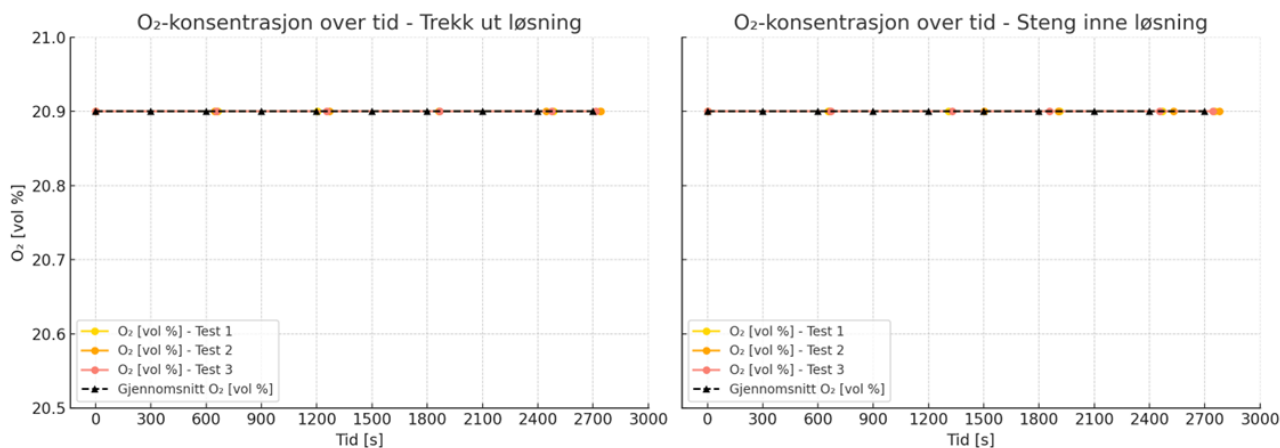
- CO konsentrasjonen var de høyeste målingene gjennomsnittlig på 500 ppm og høyeste måling var 520 ppm.
- CO₂ konsentrasjonen var de gjennomsnittlig høyeste målingene på 0,195 prosent og høyest ved 0,20 prosent.
- O₂ konsentrasjonen holdt seg stabilt på 20,9 prosent.
- Generelt har både CO og CO₂ en stigende trend frem til 2700 sekunder (45 minutter) og viser ingen tegn til å synke med det første,



Figur 5.17: Samlet resultat av CO konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne-løsning, trepellets



Figur 5.18: Samlet resultat av CO₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, trepellets

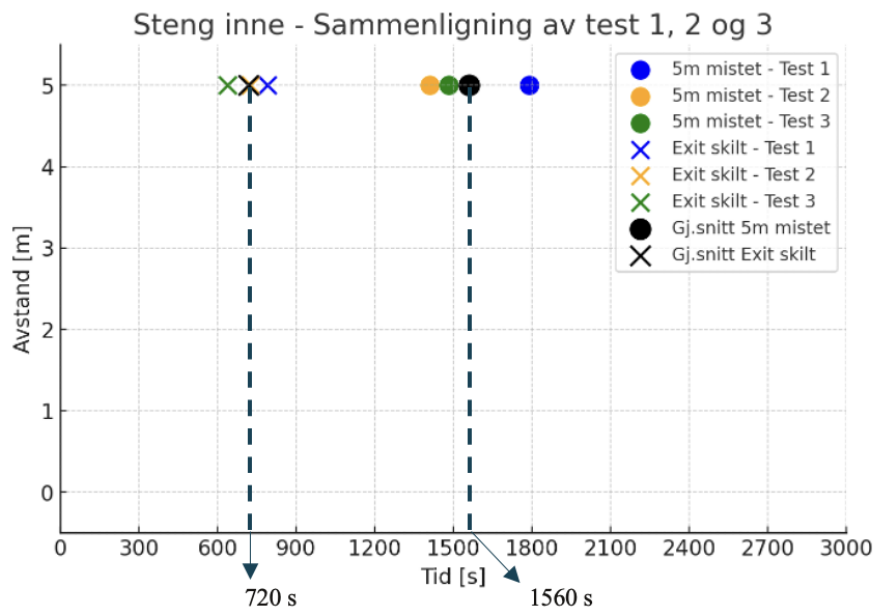


Figur 5.19: Samlet resultat av O₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, trepellets

Siktmåling

En estimert trend for sikreduksjon ble laget basert på siktmålingene, se Figur 5.20. Fra denne fremgår disse resultatene:

- Sikten på fem meter ble borte etter gjennomsnittlig 1560 sekunder (26 minutter) ved steng inne-løsning.
- Rømningsskiltet (Exit skilt) forsvant etter gjennomsnittlig 720 sekunder (12 minutter) ved steng inne-løsning.
- Ingen av siktpunktene forsvant ved trekk ut-løsning, rømningsskiltet (Exit skilt) var nære på å forsvinne etter 1620 sekunder (27 minutter).

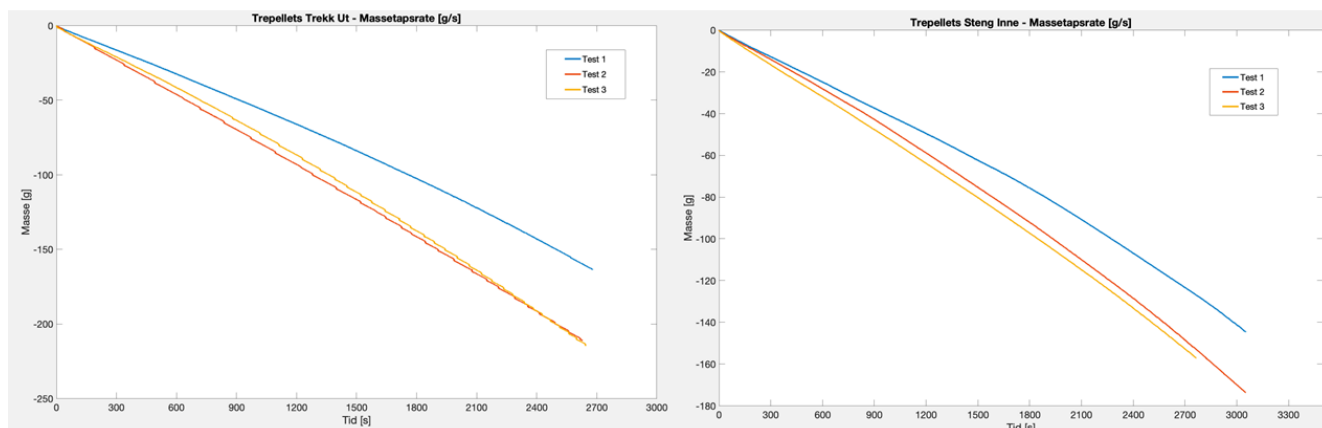


Figur 5.20: Resultat av siktmålinger på steng inne løsning, trepellets.

Massetapsrate

Massetapet ble logget under alle forsøkene ved både steng inne- og trekk ut-løsning. Figur 5.21 viser forskjellen mellom massetapsraten til de tre forsøkene med steng inne-løsningen, og massetapsraten til de tre forsøkene med trekk ut-løsningen.

I de tre forsøkene med steng inne-løsning, var massetapet relativt likt mellom test 2 og test 3, med et totalt massetap på omtrent 150 gram. Test 1 hadde et massetap på omtrent 124 gram. Under alle testene ble massetapet logget i totalt 2700 sekunder (45 minutter). Det vil si at massetapsraten er gjennomsnittlig på 0,0507 g/s ved steng inne- løsning.



Figur 5.21: Massetapsraten til trepellets med steng inne- og trekk ut-løsning

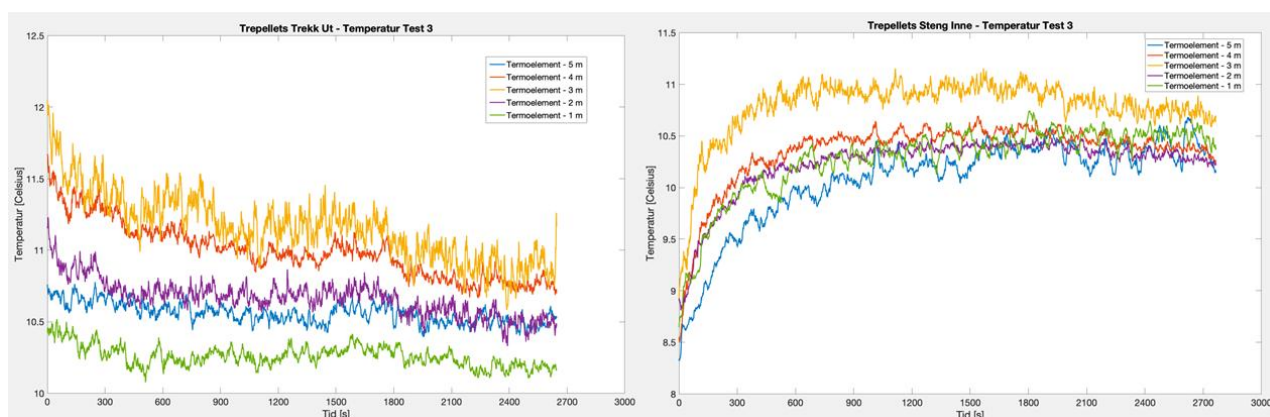
I de tre forsøkene med trekk-ut løsning var massetapet relativt likt og hadde en lik trend, hvorpå test 2 og 3 hadde et totalt massetap på omtrent 213 gram. Test 1 hadde et massetap på omtrent 164 gram. Under alle testene ble massetapet logget i totalt 2700 sekunder (45 minutter). Det vil si at massetapsraten er gjennomsnittlig på 0,0698 g/s ved trekk ut-løsning.

Temperatur

Temperaturen ble også målt under alle seks forsøk, der resultatene var ganske jevne.

Temperaturen i taket var på det høyeste i test 3 ved både steng inne- og trekk ut-løsningen.

Ved begge type forsøk var temperaturen høyest ved termoelementet som var plassert tre meter fra observasjonsvinduet (omtrent midt i rommet og over brenselet), og hadde høyest temperatur på tolv grader celsius. Figur 5.22 illustrerer temperaturene som ble registrert i taket.



Figur 5.22: Temperatur i taket med trekk ut- og steng inne-løsning. Data hentet fra test 3, med trepellets

5.4.2 EPS

Totalt seks tester ble utført med EPS, tre med steng inne- løsning og tre med trekk ut- løsning. Hvert forsøk varte i 15-16 minutter, da brenslet brant raskt opp og sluttet å produsere mer røyk og flammer. Røyken hadde et tykt og svartfarget utseende. Dataen hentet fra forsøkene er noe ulikt når det kommer til massetapsrate, da logginga startet når observasjonspersonen la på siste bit av EPS. Da var det allerede en pågående forbrenning, og en del masse hadde allerede brent opp. Test 1 med trekk ut-løsning viser et massetap på 100 gram. I den innledende fasen av forbrenningen var prosessen langsommere, noe som førte til begrenset forbrenning og dermed nesten perfekt loggføring. Gjennomsnittlig varslingstid etter tre forsøk var på 40 sekunder.

Gassmålinger

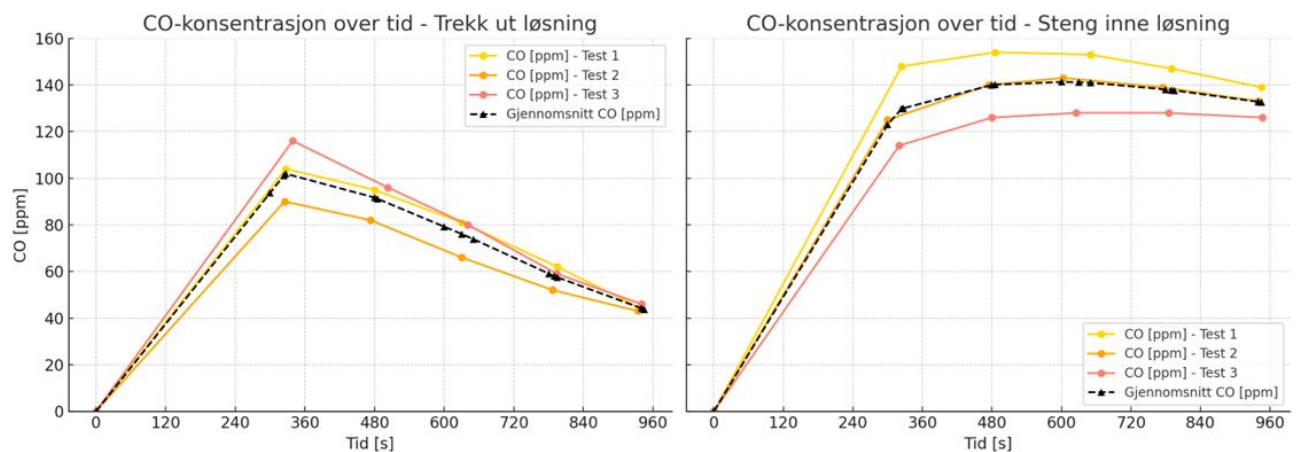
EPS produserte mer sot, som påvirket oksygennivået i større grad enn trepellets. Figur 5.23, Figur 5.24 og Figur 5.25 viser forskjellen på gassnivåene basert på tre forsøk med steng inne-løsning, og tre forsøk med trekk ut-løsning.

Trekk ut-løsning ga følgende resultater for gassmålinger:

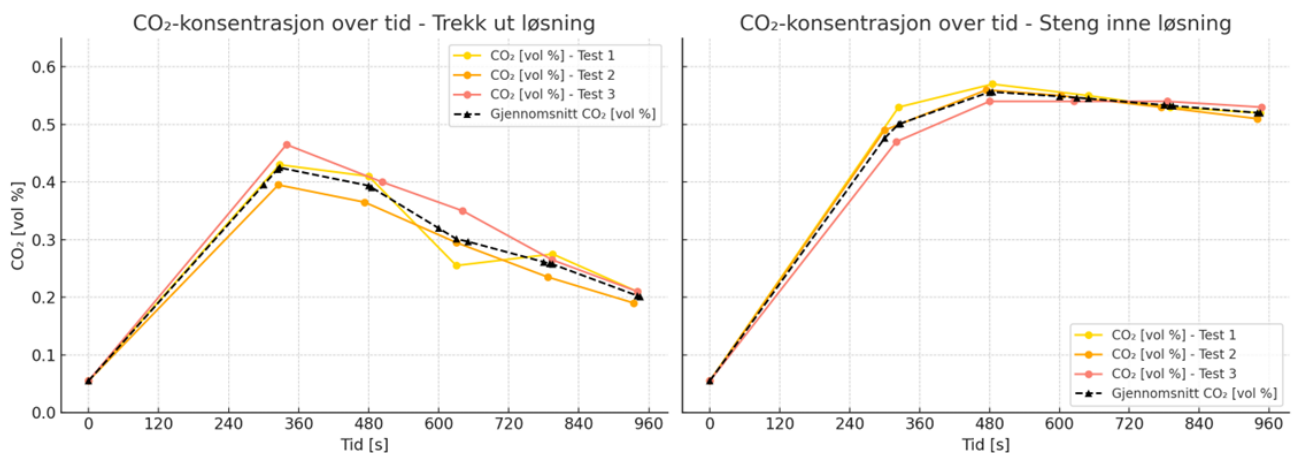
- CO konsentrasjon sine høyeste målinger hadde et gjennomsnitt på 100 ppm etter første måling (fem minutter), verdien sank så ned til 42 ppm ved siste måling (omtrent 15 minutter og 40 sekunder).
- CO₂ konsentrasjonen sine høyeste måling med hadde et gjennomsnitt på 0,43 prosent etter første måling (fem minutter), verdien sank så ned til 0,20 prosent ved siste måling (omtrent 15 minutter og 40 sekunder).
- O₂ konsentrasjonen økte gradvis, da den startet med en gjennomsnittlig verdi på 20,3 prosent ved første måling (fem minutter) og hadde en verdi på 20,9 prosent ved siste måling (omtrent 15 minutter og 40 sekunder).

Steng inne-løsning ga følgende resultater for gassmålinger:

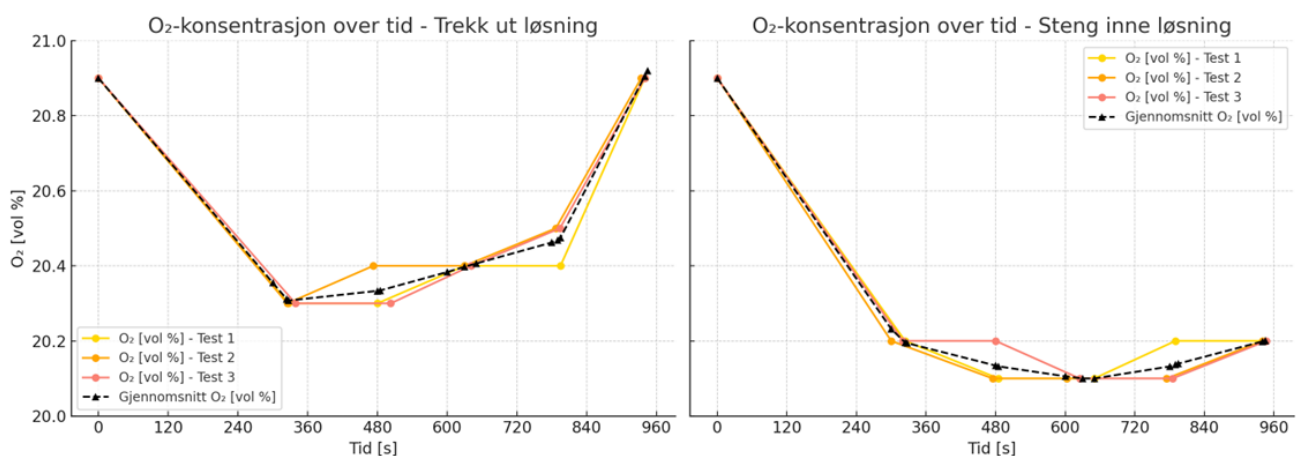
- CO konsentrasjonen hadde høyeste måling med et gjennomsnitt på 130 ppm ved første måling (fem minutter), for så å holde seg konstant etterpå.
- CO₂ konsentrasjonen hadde høyeste måling med et gjennomsnitt på 0,55 prosent etter andre måling, for så å holde seg konstant etterpå.
- O₂ konsentrasjonen holdt seg stabilt på cirka 20,2 prosent etter andre måling og utover.



Figur 5.23: Samlet resultat av CO konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsnings, EPS.



Figur 5.24: Samlet resultat av CO₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsnings, EPS

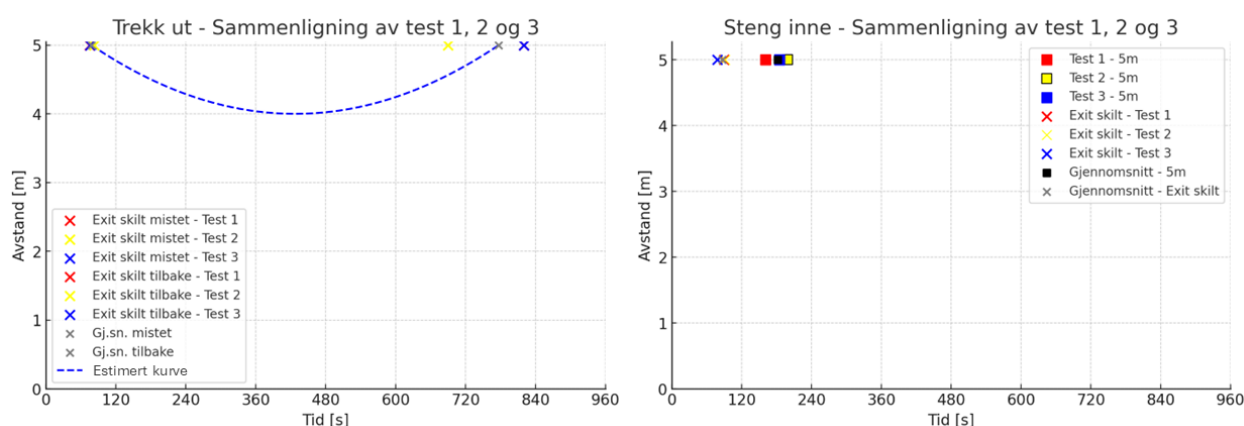


Figur 5.25: Samlet resultat av O₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsnings, EPS.

Siktmåling

For siktmåling ble det laget en estimert graf, se Figur 5.26. Fra denne fremgår disse resultatene:

- Rømningsskiltet (Exit skilt) forsvant i gjennomsnitt etter 78 sekunder med steng inne-løsning og 86 sekunder med trekk ut-løsning.
- Sikten på fem meter forsvant kun ved steng inne-løsning, ikke med trekk ut-løsning.
- Etter gjennomsnittlig 780 sekunder (13 minutter) ble rømningsskiltet (Exit skilt) synlig igjen med tekk ut-løsning, dette ble ikke synlig igjen ved steng inne-løsning.



Figur 5.26: Resultat av siktmålinger med trekk ut- og steng inne løsning, EPS.

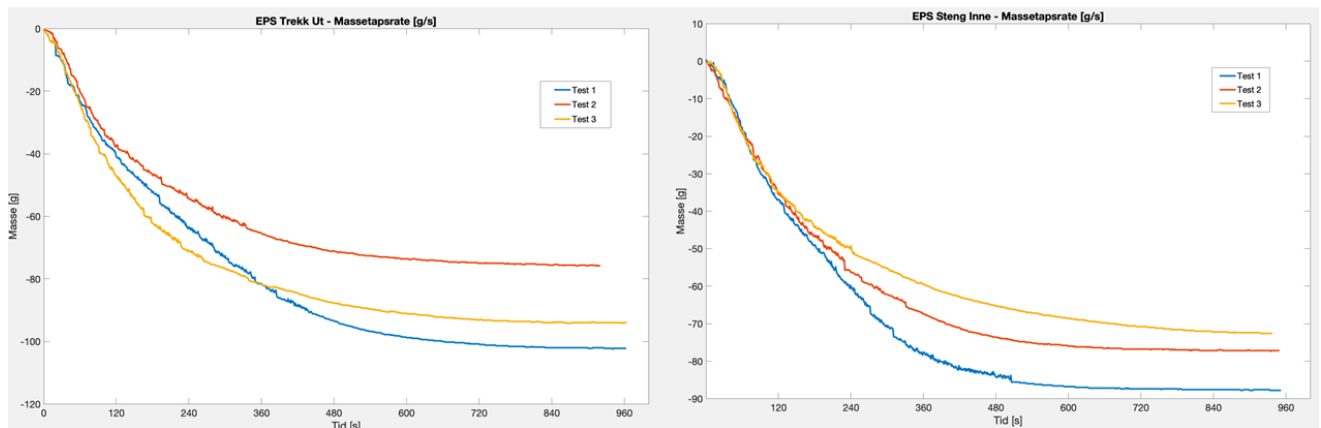
Massetapsrate

Figur 5.27 viser forskjellen på massetapsraten til de seks forsøkene som ble utført, og sammenligner steng inne-løsning med trekk ut-løsning.

De tre forsøkene med trekk ut-løsning, hadde grafen en identisk utvikling. Alle forsøkene hadde lik masse, men forskjellig startpunkt på loggingene. Det som er tydelig er at alle tre forsøk med trekk ut- løsning stabiliserte seg etter omtrent 600 sekunder, og en kan derfor ta utgangspunkt i dette ved utregning av massetapsrate. Det tas utgangspunkt i test 1, da denne hadde original vekt under hele forsøket. Basert på tiden på 960 sekunder, og et massetap på 100 gram, er massetapsraten 0,104 g/s ved trekk ut- løsning.

De tre forsøkene med steng inne-løsning, viser også grafen her en identisk utvikling. Som ved forsøkene med trekk ut-løsning, stabiliserte kurvene seg etter 600 sekunder, og massetapet er

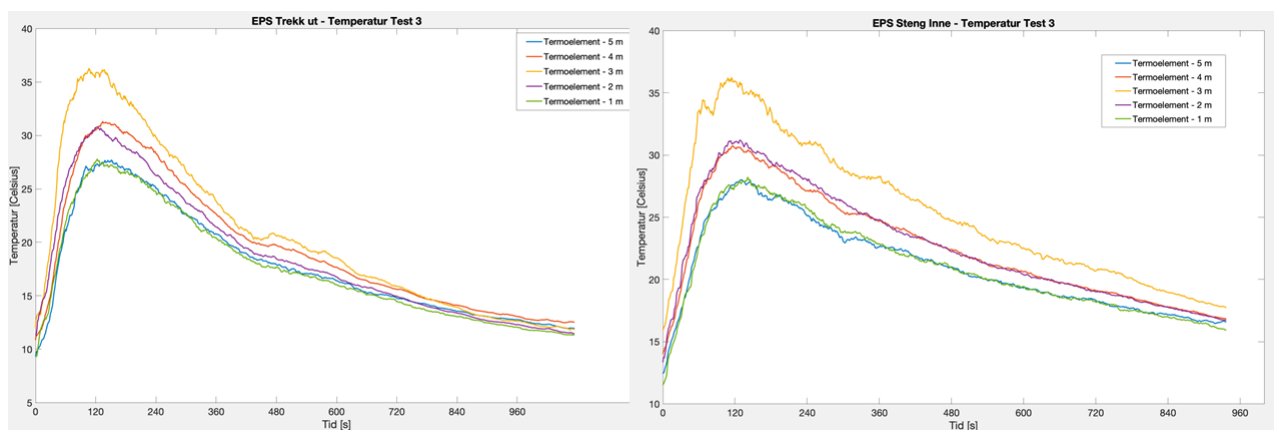
forskjellig på grunn av startpunkt på loggingene. Hvis en tar utgangspunkt i test 1, med massetap på 90 gram etter 960 sekunder, er massetapsraten 0,0938 g/s ved steng inne- løsning.



Figur 5.27: Massetapsraten til EPS med trekk ut- og steng inne-løsning

Temperatur

Temperaturen i taket ble logget under alle forsøkene med både steng inne- og trekk ut-løsning, og temperaturene var relativt like. Test 3 ved både steng inne- og trekk ut-løsning hadde høyest temperatur målinger, de ulike termoelementene er representert i Figur 5.28. Termoelementet plassert 3 meter fra observasjonsvinduet, omtrent midt i rommet og over brenselet, hadde høyest temperaturmålinger.



Figur 5.28: Temperatur i taket med trekk ut- og steng inne-løsning. Data hentet fra test 3, med EPS.

5.4.3 Skummadrass

Fire forsøk ble utført med skummadrass, hvor to ble godkjent. De to siste ble ekskludert grunnet ulik vekt og resultater. Det beskrives derfor ett forsøk med hver løsning: steng inne og trekk ut. Tids- og ressursmangel begrenset flere tester. Hver test varte i ca. 20-21 minutter med målinger mellom to til tre minutter. Røyken var tynn og grå, og varslingstiden var 32 sekunder – brukt som utgangspunkt for å lukke brannspjeld i forsøket med steng inne-løsning.

Gassmålinger

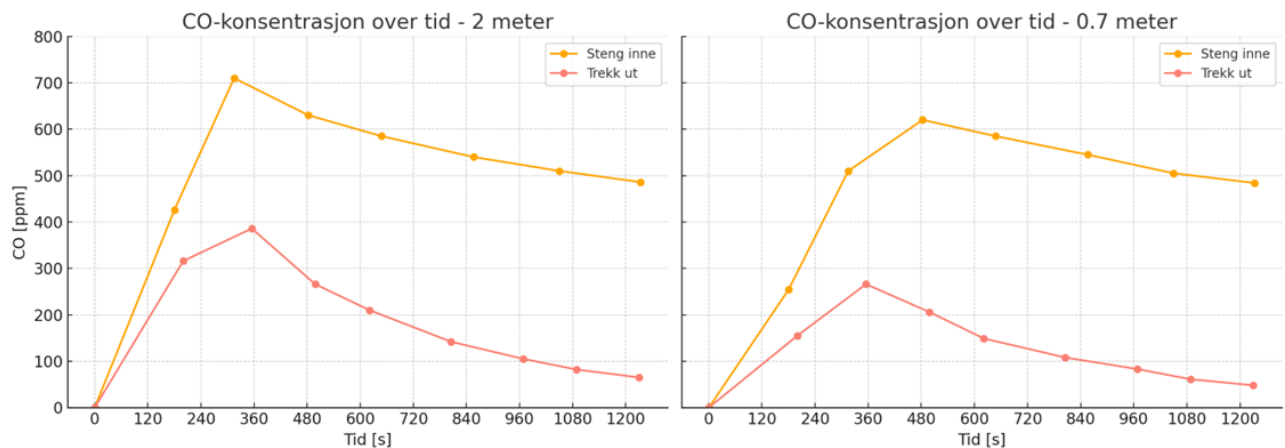
Sammenlignet med EPS, som også består av noe plast, var det stor forskjell på målte verdier, men lik trend på sammenhengen mellom de to ulike ventilasjonsløsningene. Det ble målt gassverdier på to ulike høyder, som var 2 meter og 0,7 meter (sengehøyde) fra gulv. Figur 5.29, Figur 5.30 og Figur 5.31 viser forskjellen på gassmålingene mellom trekk ut- og steng inne-løsning.

Trekk ut-løsning ga følgende resultater for gassmålinger:

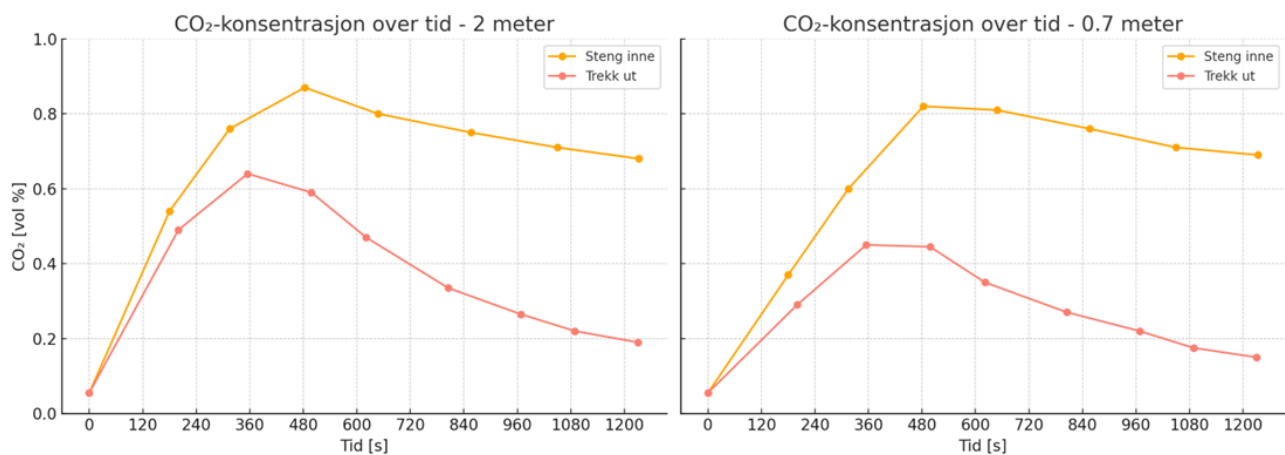
- CO konsentrasjonen hadde høyest måling med 385 ppm ved 2 meters høyde og 266 ppm ved 0,7 meters høyde, dette etter andre måling ved 355 sekunder (fem minutter og 55 sekunder).
- CO₂ konsentrasjonen hadde høyest måling med 0,64 prosent ved 2 meters høyde og 0,45 prosent ved 0,7 meters høyde, dette ved andre måling.
- O₂ konsentrasjonen var lavest ved andre måling, med 20,0 prosent ved 2 meters høyde og uendret prosent ved 0,7 meters høyde.

Steng inne-løsning ga følgende resultater fra gassmålinger:

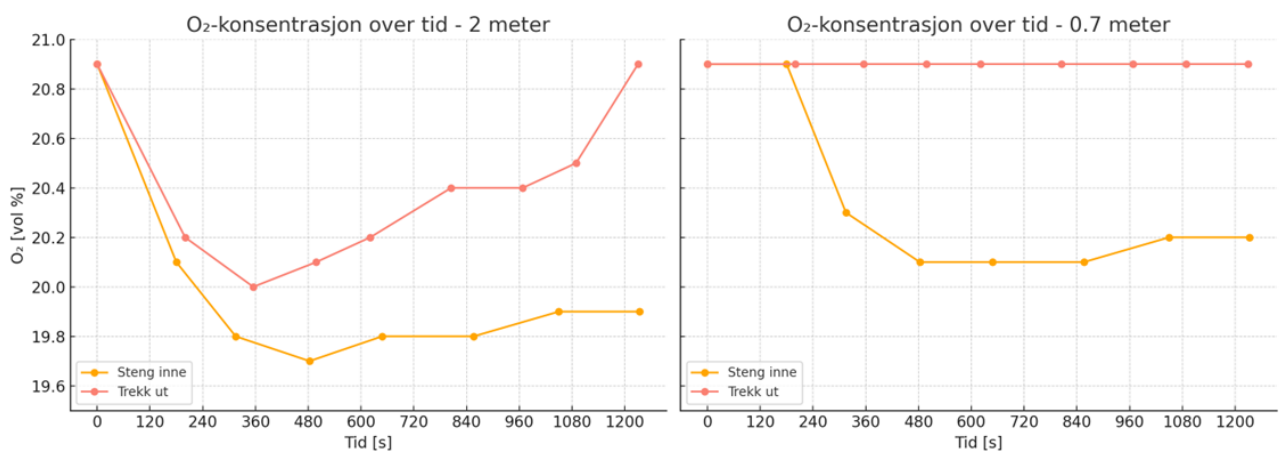
- CO konsentrasjonen hadde høyest måling med 710 ppm ved 2 meters høyde og 620 ppm ved 0,7 meters høyde, dette etter andre (300 sekunder ved 2 meter) og tredje (480 sekunder ved 0,7 meter) måling.
- CO₂ konsentrasjonen hadde høyest måling med 0,87 prosent ved 2 meters høyde og 0,82 prosent ved 0,7 meters høyde, dette ved tredje måling.
- O₂ konsentrasjonen var lavest med 19,7 prosent ved 2 meters høyde og 20,1 prosent ved 0,7 meters høyde.



Figur 5.29: Samlet resultat av CO konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, Skummadrass.



Figur 5.30: Samlet resultat av CO₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, Skummadrass



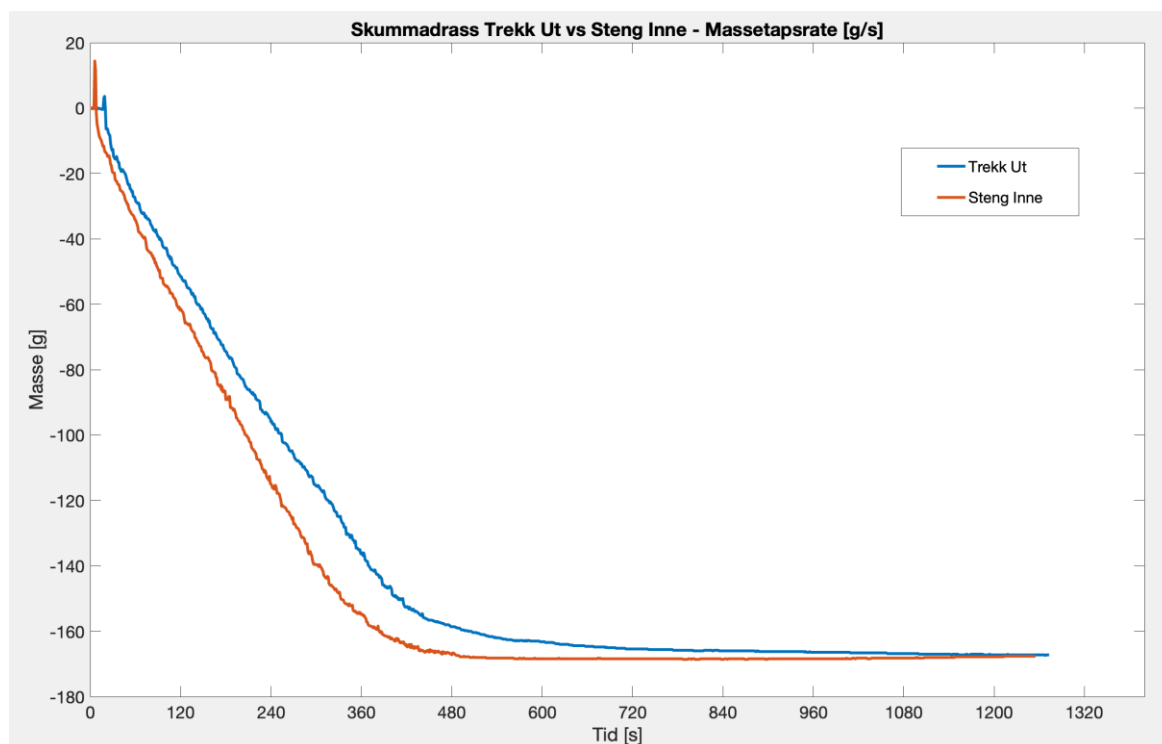
Figur 5.31: Samlet resultat av O₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, Skummadrass.

Siktmåling

Sikten forsvant kun ved steng inne-løsning, og da var det rømningsskiltet (Exit skilt) som forsvant, ved mellom to til tre minutter. Gassmålinger ble utført underveis mens sikten forsvant, og av den grunn er det ikke en konkret tid.

Massetapsrate

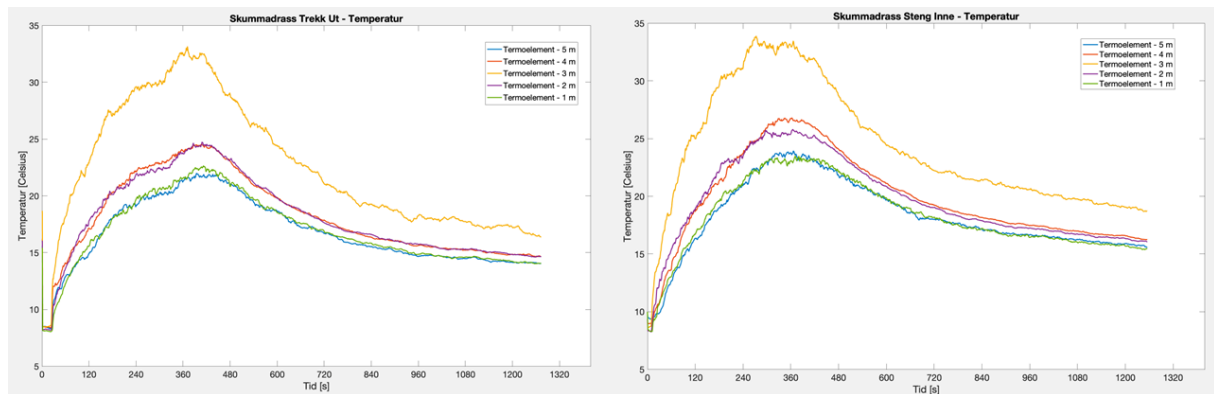
Figur 5.32 viser massetapsraten til de to forsøkene som ble utført. Formen på kurven er lik, men det tok noe lengre tid før forsøket med trekk ut-løsning startet, da logginga ble startet litt i forkant. Det kan derfor se ut som om det tok lengre tid før forsøket med trekk ut-løsning tok fyr, noe som ikke stemmer. Massetapet med trekk ut-løsning stabiliserte seg etter 720 sekunder, og var på 162 gram. Massetapet med steng inne-løsning stabiliserte seg etter 540 sekunder, og var på 170 gram. Massetapsraten med trekk ut-løsning er på 0,225 g/s, og massetapsraten med steng inne-løsning er på 0,312 g/s.



Figur 5.32: Massetapsraten til skummadrass, både med steng inne- og trekk ut-løsning.

Temperatur

Høyeste målt temperatur var 33-34 grader celsius, og var likt for både trekk ut- og steng inne løsning. Det var termoelementet plassert over brenselet som reagerte mest i forhold til de andre termoelementene. Figur 5.33 viser temperaturendringene i taket over tid.



Figur 5.33: Temperatur i taket med trekk ut- og steng inne løsning.

6. Diskusjon

Dette kapitlet tar seg av diskusjon rundt resultatet fra simulering og eksperimentene. Delkapittel 6.1 tar seg av hypotesediskusjon, hvor en diskuterer hypotesene som ble satt mot resultatet. Delkapittel 6.2 understreker bacheloroppgavens gyldighet og pålitelighet, og delkapittel 6.3 diskuterer resultatet opp mot virkelige scenarioer.

6.1 Hypotesediskusjon

Dette delkapittelet skal diskutere i hvilken grad hypotesene fra underkapittel 1.2.1 ble oppfylt, eventuelt hvorfor de ikke stemte.

6.1.1 Hypotese i

Trekk ut-løsning vil gi lavere gasskonsentrasjoner og bedre sikt enn steng inne-løsning.

I delkapittel 2.2 nevnes det at steng inne-løsning vil stenge ventilasjonsanlegget, og forhindre røyken til å spre seg ut fra startbranncellen. Kapitlet nevner også at trekk ut-løsning vil ventilere ut den giftige gassen i ventilasjonskanalene, samtidig som den trekker inn frisk luft til startbranncellen. Teoretisk kan dette bety at det vil være lavere gasskonsentrasjoner og bedre sikt i startbranncellen med trekk ut-løsning. Resultatene fra de gjennomførte forsøkene viser at gasskonsentrasjonene generelt var lavere ved trekk ut-løsning, uavhengig av hvilket materiale som ble brukt som brensel. Simuleringsforsøkene bekreftet betydelige forskjeller både i sikt og gasskonsentrasjoner ved trekk ut- og steng inne-løsning. De kalde forsøkene med røykmaskin ga gode resultater for sikt, som vist i Figur 5.12 og Figur 5.13 fra delkapittel 5.3, sammenlignet med Figur 5.14 og Figur 5.15 fra delkapittel 5.3.

Gassmålingene viser at forskjellen på trekk ut- og steng inne-løsning er stor. For forsøkene gjennomført med trepellets var CO nivået over tre ganger så høyt ved steng inne-løsning som ved trekk ut-løsning, se Figur 5.17 fra underkapittel 5.4.1. CO₂ nivået var dobbel så høyt ved steng inne-løsning som ved trekk ut-løsning. En ser spesielt store forskjeller ved forsøket som ble gjennomført med skummadrass, der CO nivået var over dobbelt så høyt ved steng inne-løsning i starten, mens etter cirka 1100 sekunder var CO-verdiene fem ganger så høye, se Figur 5.29 fra underkapittel 5.4.3. Dette indikerer at de farlige forholdene vedvarer mye lengre ved

steng inne-løsning enn ved trekk ut-løsning. På bakgrunn av de målte verdiene kan personsikkerheten anses å være bedre i testrommet når trekk ut-løsning blir benyttet.

Hypotesen medførte derfor til riktighet.

6.1.2 Hypotese ii

Forskjellen mellom simulering og eksperimentelle forsøk vil være noe ulik på verdier, men begge viser samme trend.

Resultatene fra simuleringene viste en betydelig forskjell mellom trekk ut- og steng inne-løsning, det samme gjorde de eksperimentelle forsøkene. Til tross for at begge forsøksmetodene påviste at trekk ut-løsningen bedret personsikkerheten, var det store forskjeller når det gjaldt sikt og gasskonsentrasjoner.

Parameterne til simuleringen ble blant annet hentet fra konkalorimeter og forhåndslagrede verdier på PyroSim. Ved simulering av trepellets og EPS var det ingen betydning hvilken ventilasjonsstrategi som ble benyttet i henhold til sikt, da energiproduksjonen per areal var på henholdsvis $184,5 \text{ kW/m}^2$ og $182,4 \text{ kW/m}^2$. Sikten på fem meter ble redusert etter 200 sekunder på trepellets og under 60 sekunder på EPS, både med trekk ut- og steng inne-løsning. I de eksperimentelle forsøkene med trepellets forsvant sikten på fem meter gjennomsnittlig etter 1560 sekunder med steng inne-løsning. Ved trekk ut-løsning forsvant ingen av siktpunktene. For forsøkene med EPS forsvant siktpunktet på fem meter etter gjennomsnittlig 780 sekunder med steng inne-løsning. Ved trekk ut-løsning forsvant ingen av siktpunktene.

Gasskonsentrasjonen ved simulering er også ulikt sammenlignet med resultatet fra de eksperimentelle forsøkene. Ved simulering av trepellets, var CO konsentrasjonen på 100 ppm, CO₂ konsentrasjonen var på 2,55 prosent, og O₂ konsentrasjonen var på 17,4 prosent med steng inne-løsning, målingene ble gjort etter 1200 sekunder. I de eksperimentelle forsøkene, ved samme tid på 1200 sekunder og med steng inne-løsning, var CO konsentrasjonen gjennomsnittlig på 250 ppm, CO₂ konsentrasjonen var på 0,14 prosent, og O₂ konsentrasjonen var uendret på 20,9 prosent.

Flere faktorer kan forklare avviket mellom simuleringene og de eksperimentelle forsøkene. En viktig årsak er at brenslet i simuleringen brant kontinuerlig, mens brenslet i de eksperimentelle

forsøkene var begrenset av den totale massen. Energiproduksjonen per areal (HRRPUA) for simuleringen var noe høyere enn det som ble målt i de eksperimentelle forsøkene. Hvis en tar utgangspunkt i massetapet som ble registrert i de eksperimentelle forsøkene med trepellets, og bruker formel 1, blir energiproduksjonen per areal omtrent 43 kW/m^2 . Det er en differanse på 142 kW/m^2 i forhold til resultatet fra konkalorimeteret, fordi trepelletsene brant mens det ulmet i de eksperimentelle forsøkene.

Sot og CO utbytte i simuleringen er avhengig av hva som blir skrevet inn i parameterne, mens i en virkelig brann kan dette være vanskelig å måle. Brenselet i de eksperimentelle forsøkene vil ha en stabil forbrenning i starten før den til slutt vil gå over til utbrenningsfasen, mens brenselet i simuleringen vil fortsette å utvikle eller stabilisere seg.

Testrommet i simuleringen var tett, bortsett fra ventilene og åpningen under døra, det var derfor begrenset hvor røyken kunne slippe ut. De eksperimentelle forsøkene hadde også et relativt tett testrom, men hadde en del røyklekkasjer i hjørnene. Derfor kan en ikke si at testrommet i virkeligheten var like tett som testrommet i simuleringen.

Oppsummert, til tross for klare avvik i de målte verdiene, indikerer både simuleringer og eksperimentelle forsøk at trekk ut-løsningen gir bedre personsikkerhet for personer som oppholder seg i arnestedet enn steng inne-løsningen. Hypotesen medførte derfor til riktighet.

6.1.3 Hypotese iii

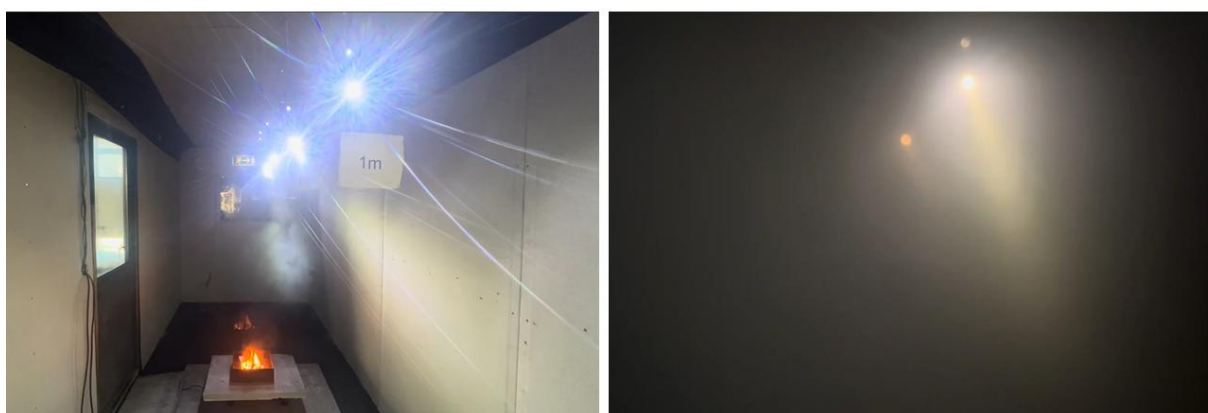
Relasjonen mellom sikt og gasskonsentrasjon i forsøkene har en sammenheng med Tabell 2 hentet fra SN/INSTA 950.

I kapittel 2.6.1 ble det funnet ut at det er en direkte korrelasjon mellom økende konsentrasjoner av branngasser og redusert sikt i et brannscenario. Tabell 2 viser til at når sikten er under fem meter, så kan konsentrasjonen av CO, CO₂ eller O₂ ha nådd helsefarlige eller dødelige nivåer, og en slipper derfor å måle disse. I forkant av simulering og eksperimentelle forsøkene var det forventet at når siktpunktet på fem meter forsvant, så skulle gassnivåene til CO, CO₂ og O₂ ha nådd dødelige nivåer som beskrevet i Tabell 2. Dette ble ganske kjapt avkreftet.

Ved både simulering og forsøk med trepellets og EPS lå gasskonsentrasjonene langt under referanseverdiene på Tabell 2, da sikten begrenset seg til fem meter. Tar en resultatene fra EPS

med steng inne-løsning i de eksperimentelle forsøkene som eksempel: Når siktpunktet på fem meter forsvant etter gjennomsnittlig 180 sekunder på de eksperimentelle forsøkene, var CO konsentrasjonen på 80 ppm, CO₂ konsentrasjonen var på 0,3 prosent, og O₂ konsentrasjonen var på 20,4 prosent (se Figur 5.23, Figur 5.24, Figur 5.25 og Figur 5.26). Dette er verdier som er langt unna referanseverdiene, og betyr at det skal være levelige forhold i testrommet. Når en har observert gjennom observasjonsvindue, se Figur 6.1, så virker det usannsynlig at dette skal være tilfelle.

Steng inne-løsning: tidsintervall på 5 minutter



Figur 6.1: Utvikling av sikt og røykproduksjon etter fem minutter, EPS

Selv om gasskonsentrasjonene ikke var på dødelig nivå når siktpunktet på fem meter forsvant, i henhold til Tabell 2, er det fortsatt store mengder med gass i henhold til hva som er helseskadelig. I underkapittel 2.1.7 beskrives helsebibliotekets anbefalinger for eksponering av branngasser, og da spesifikt CO-konsentrasjon. Dersom CO-nivået overstiger 100 ppm er kortvarige opphold ikke å anbefale. Det kan derfor tenkes at verdier opp mot 700-800 ppm vil være svært helseskadelige over tid, spesielt for personer i utsatte grupper. Steng inne-løsningen vil bevare disse forholdene i motsetning til trekk ut-løsningen som gradvis vil ventilere ut gassene.

På Tabell 3 vist nedenfor sammenlignes resultatene fra forsøkene og akseptkriteriene lagt til grunn i SN/INSTA 950.

Tabell 3: Sammenligning av SN/INSTA 950 akseptkriterier opp mot resultater fra de varme forsøkene.

SN/INSTA 950		*Resultatet fra eksperiment					
Parametere	Kriterier	Trepellets		EPS		**Skummadrass	
		Trekk ut	Steng inne	Trekk ut	Steng inne	Trekk ut	Steng inne
Sikt	$3 \text{ m} \leq 100 \text{ m}^2$	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Termisk stråling	IR	—	—	—	—	—	—
Temperatur	$< 80^\circ\text{C}$	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Toksisitet ¹	$\text{CO} < 2000 \text{ ppm}$	140 ppm	500 ppm	100 ppm	130 ppm	385 ppm	710 ppm
	$\text{CO}_2 < 5 \%$	0,1 %	0,195 %	0,43 %	0,55 %	0,64 %	0,87 %
	$\text{O}_2 > 15 \%$	20,9 %	20,9 %	20,3 %	20,2 %	20,0 %	19,7 %
¹ Toksisitet trenger ikke å beregnes dersom sikten overskrider 5 m.		*Resultatene er basert på de gjennomsnittlig høyeste målinger. ** 2 meters høyde ✓ Oppfylte kravet — Ikke vurdert					

Ved gassmålingene av toksisitet er det de høyeste gjennomsnittsmålingene som ligger til grunn. En sikt på fem meter ble benyttet som referanse for å vurdere om toksisitetskriteriene var nådd. Gassmålingene som ble utført senere i forsøkene, viser en økende differanse mellom løsningene, se kapittel 5. Når det gjelder tre meters sikt – i de varme forsøkene forsvant den aldri, mens i de kalde forsøkene var tre meters sikt opprettholdt frem til 21 minutter og 29 sekunder under steng inne-løsningen. Under trekk ut-løsningen forsvant aldri tre meters sikt.

Hypotesen medførte derfor ikke til riktighet.

6.2 Oppgavens gyldighet og pålitelighet

I dette kapittelet skal det diskuteres rundt bacheloroppgavens gyldighet og pålitelighet opp mot reelle brannscenarioer. Det vil først diskuteres rundt statistikken som er blitt brukt i delkapittel 2.1, og deretter testrommets relevans til virkelige scenarioer med brann og ventilasjon som utgangspunkt. Videre skal det sees på om brannkildene som var valgt gir relevans til et saktevoksende brannscenario. Til slutt vil både eksperimentene og repeterbarheten diskuteres.

6.2.1 Statistikk

Statistikken hentet fra delkapittel 2.1 er hentet primært fra dødsanalyser av branner i Norge, men det er også brukt statistikk fra utlandet. Med tanke på bruken av statistikk utenfor Norge, så er det viktig å huske på at det er kulturelle forskjeller og andre sosiale normer. I Norge kan det være mer naturlig å overlate de eldre til det offentlige, mens det er mer naturlig at en tar vare på storfamilien i andre land [40]. Norge består også i større grad av trebebyggelse, mens i andre land er det vanligere at byggverk består av for eksempel betong. Derfor kan det være vanskelig å sammenligne brannstatistikk fra andre land mot Norge, da det kan være større forskjeller.

Statistikken i underkapittel 2.1.6 viste at 99 prosent av dødsbrannene i Norge skyldtes flammebrann, mens omtrent én prosent var forårsaket av ulmebrann. Det var imidlertid vanskelig bekrefte hvorvidt flertallet faktisk omkom som følge av flammer, eller om dødsfallene oppsto som følge av røykforgiftning i en tidlig ulmefase før full antennelse. Dersom sistnevnte scenario stemmer, kan ventilasjonsanlegget spille en langt viktigere rolle for å ivareta personsikkerheten enn statistikken alene gir uttrykk for. På bakgrunn av dette kan det antas at det finnes store mørketall knyttet til dødsfall i ulmebranner.

6.2.2 Testrom

Forsøkene ble gjennomført i et testrom på totalt 10 m², og det er tre grunner for dette:

1. Rommet skulle være stort nok til at det kunne kobles på ventilasjonsanlegg, og representere et typisk rom/soverom i en leilighet.
2. Avgrenset av labansvarlig over hvor stort en kunne bygge testrommet i brannhallen på

Maersk.

3. Lengden skulle være fem meter, slik at en kunne benytte Tabell 2 ved de kalde og varme forsøkene.

Før en bygget testrommet med ønsket romdimensjon på $5\text{ m} \times 2\text{ m} \times 2.4\text{ m}$ ($l \times b \times h$), ble det brukt simuleringer for å verifisere at det fikk brukbare resultater. Dette ble verifisert i delkapittel 5.2, og en kunne derfor gå videre med å bygge testrommet i brannhallen.

Det var av ønske å bygge et større rom for å kunne se betydningen av ventilasjonsanlegget i henhold til personsikkerheten. Rommet har en høyde på 2,4 meter fra gulvnivå, noe som er standard romhøyde. Når testrommet har en vanlig størrelse er det lettere å tolke resultatene fra de varme og kalde forsøkene, og observere ventilasjonens effekt. For å kunne bruke Tabell 2 var det viktig at lengden på testrommet var minimum fem meter, slik at en ikke var like avhengig av måleinstrumenter. Det ble brukt lommelykter på 500 lumen som lyskilder på hver meteravstand, disse indikerte når sikten forsvant på de eksperimentelle forsøkene. Disse var kritiske for å bestemme når sikten forsvant.

Testrommet hadde en gjennomsnittstemperatur på 3-8 grader celsius før forsøkene starter, som er relativt lavt i forhold til at et vanlig rom kan være rundt 20 grader celsius. Hvis romtemperaturen hadde vært høyere under de eksperimentelle forsøkene, kunne brannen og røyken oppført seg annerledes ved å stige kjappere opp til taket. Dette har ikke blitt undersøkt, og det er derfor usikkert hvor mye dette kunne påvirket resultatene.

6.2.3 Brannkilder

Det ble brukt ustandardiserte brannkilder for EPS og trepellets i eksperimentene. Ved bruk av skummadrass ble det tatt inspirasjon i en standardisert brannkilde som ble utført av Sintef [39]. Brannkildene EPS og trepellets ble primært benyttet for å gjøre forsøkene så repeterbar som mulig. Brannkildene er kanskje ikke de vanligste materialene i en brannstart, men de representerer «saktevoksende branner» på en tilfredsstillende måte isolert sett. EPS finner en ofte i isolasjon, særlig i gulv, noe som også tilsier at materialet kan forkomme i et brannforløp. Skummadrass blir ofte trukket frem i tilknytning til saktevoksende branner. Dette er kanskje den mest relevante brannkilden, ettersom den har blitt bekreftet som en antennelseskilde i dødsbranner se underkapittel 2.1.4.

Som et resultat av preliminnære forsøk og forsøk ute på Hall of Flame, var trepellets best til å simulere en ulmebrann. EPS og skummadrass ble mer realistiske materialer som en kan finne i de fleste boliger. Den lukkede boksen gjorde at røyken slapp ut på samme plass hver gang, noe som gjorde forsøkene repeterbart. De valgte materialene var også lett tilgjengelig på markedet, og enkle å kutte opp i identiske biter.

6.2.4 Eksperimentene

Det ble utført både kalde og varme forsøk. De kalde forsøkene sørget for at en kunne se forskjellen på trekk ut- og steng inne-løsning på ventilasjonsanlegget ved bruk av røykmaskin. Røykmaskinen påvirket ikke ventilasjonsanlegget og testrommet i form av varme- eller røykskader, og det ble opprettet resultater basert på observasjoner.

Ved måling av sikt var det tre observasjonspersoner som noterte ned når siktpunktene forsvant. To av observasjonspersonene hadde godt syn, mens den tredje hadde svekket syn og brukte briller. Observasjonspersonen med svekket syn mistet siktpunktene en god del tidligere sammenlignet med de to andre, og måtte bruke briller for å ha likt utgangspunkt som dem. Det var også vanskelig å indikere når siktpunktet forsvant, da det ofte var en liten lyskilde som ikke forsvant avhengig av hvor observasjonspersonene befant seg. Det var derfor vanskelig å konkludere når lyskilden forsvant, avhengig av observasjonspersonenes plassering og syn.

De varme forsøkene er mer relevante og realistiske, da disse simulerer en saktevoksende brann. Identisk som kalde forsøk ble sikten målt, men det ble også benyttet måleinstrumenter. Ved å kunne se på spesifikke gasskonsentrasjoner, temperatur og massetap kan en være mer sikker på resultatene sammenlignet med når sikten forsvant. Det ble også lettere å sammenligne trekk ut- og steng inne-løsning mot hverandre.

Selv om det ble brukt måleinstrumenter, oppsto det problemer i løpet av forsøkene. Gassmålerne hadde ikke vært kalibrert på over ett år, og filtrene ble raskt tette ved lengre målinger. Planen var å henge opp gassmålerne fra taket og logge gassmålingene under hele forsøkene, men dette lot seg ikke gjennomføre. Det ble derfor improvisert og utført stikkprøver, som etterpå kunne brukes til å lage grafer med tilhørende verdier.

6.2.5 Repeterbarhet

Før en kan være sikker på at et resultat er gyldig, er det viktig at hver enkelt simulering og eksperimentelle forsøk kan gjennomføres av andre, og at en kan få identiske resultater. Det var litt vanskelig å få alle forsøkene repeterbar. Blant annet var det litt utfordrende å logge massetapet til EPS, hvor en måtte plassere biter underveis av forbrenningen og deretter starte loggingen. Selv om massetapet hadde en lik kurvetrend, var det vanskelig å finne ut av hvor lang tid det tok før materialet brente opp, og fikk deretter forskjellige verdier (se Figur 5.27). Det var også noe ulikt resultat over hvor mye masse som ble forbrent.

Alle forsøkene ble gjennomført i en brannhall i februar, noe som kan påvirke resultatet. Brannhallen sørget for at det var vindstille, og at det var ingen andre ytre påvirkninger bortsett fra avtrekksviften. Testrommet hadde en gjennomsnittstemperatur på 3-8 grader celsius før forsøkene starter, som er relativt lavt i forhold til at et vanlig rom kan være rundt 20 grader celsius. Det kan derfor være vanskelig å repetere forsøkene i vanlige omgivelser, og er mer avhengig å kunne utnytte en godkjent hall.

En liten flammebrann og ulmebrann kan være vanskelig å kontrollere og repetere, da det er vanskelig å få identisk antennelse- og vekstfase. Røykproduksjon er også ulikt, og det er vanskelig å kontrollere hvor røyken skal spre seg. Ved bruk av kar med kanthøyde, ble dette kontrollert bedre med tanke på at røyken skal spre seg oppover. Med forsøk med skummadrass ble det lagt en lokk med hull over karet som kontrollerte røykspredningen.

Med tanke på usikkerheten over hvordan brannen oppfører seg ble hvert enkelt forsøk gjennomført to til tre ganger, og resultatene ble sammenlignet mot hverandre. Dette medførte til at en kunne bli sikker på at resultatet var gyldig, og ikke tilfeldig. Det ble brukt måleinstrumenter på hver varme forsøk som ga gode resultater, og disse ble sammenlignet mot hverandre. Dette økte påliteligheten til repeterbarheten av forsøkene.

6.3 Overførbarhet til virkelige scenarioer

Resultatene for siktmåling er basert på personer med tilnærmet perfekt syn. Den ene observasjonspersonen hadde svekket syn, og var avhengig av å bruke briller for å ikke miste siktpunktet tidligere enn de andre. Det kan derfor være kritisk for de som allerede er i utsatte grupper med svekket syn, hvor de blir raskere desorientert i forhold til de med bedre syn. Trekk ut-løsning gir derfor bedre vilkår angående sikt sammenlignet med steng inne-løsning, og bidrar

derfor til å forlenge den nødvendige rømningstiden som er beskrevet i underkapittel 2.2.3.

Testrommet som ble brukt i de eksperimentelle forsøkene skal etterligne et rom i en branncelle, hvor brannforsøkene med skummadrass representerer det mest realistiske scenarioet. Med en taktemperatur på under 35 grader i begge løsningene så kan det med overhengende sannsynlighet tenkes til at sprinkleranlegg ikke hadde utløst i disse tilfellene. Selv med en så lav temperatur akkumulerte brannen mye røyk og hadde høye gassverdier. Vanligvis er romtemperatur omtrent 21 grader celsius, noe testrommet på de eksperimentelle forsøkene ikke var, men resultatene fra simuleringene viste at det fortsatt var større forskjeller mellom de to ventilasjonsløsningene.

Ved en saktevoksende brann med lav temperatur og høye røyk- og gassverdier, har ventilasjonsanlegget størst betydning i start- og tidlig vekstfase, se delkapittel 2.3. Ved et lite brannforløp, hvor brannen slukker etter noen få minutter, kan ventilasjonsanlegget påvirke utbrenningsfasen. Dette ble bevist i simuleringene og forsøkene, hvor de største forskjellene var tidlig i vekstfasen. Det var også store forskjeller i utbrenningsfasen, hvor det gikk raskere å få levelige forhold i forsøkene med trekk ut-løsning, mens i forsøkene med steng inne-løsning var det en sakte nedtrapping, se blant annet på Figur 5.29.

Gassmålingene i sengehøyde (0,7 meter) under forsøket med skummadrass viste tydelige forskjeller mellom ventilasjonsløsningene. Oksygenivået (O_2) forble stabilt med trekk ut-løsning, mens det viste en synkende trend med steng inne-løsning, se Figur 5.31. Målinger av karbonmonoksid (CO) viste omtrent to og en halv ganger så stor forskjell mellom de to ventilasjonsløsningene, der trekk ut-løsning målte største verdi på 266 ppm og steng inne-løsning nådde 620 ppm. Selv om disse verdiene ikke var ved den dødelige eller lammende terskelen som er beskrevet på Tabell 2, er det fortsatt seks ganger høyere enn det anbefalte nivået for kortvarig eksponering beskrevet på underkapittel 2.1.7. Dette kan være kritisk for personer i ruspåvirket tilstand (narkomane, alkoholikere), som i mindre grad reagerer på brann sammenlignet med personer i normal tilstand. Disse personene er derfor avhengig av lengre nødvendig rømningstid. For denne gruppen øker behovet for at nødetatene har tilstrekkelig tid til å gjennomføre en redningsaksjon. Begge ventilasjonsløsningene hadde en synkende trend på CO og CO_2 etter at maksnivået var nådd, men forskjellen var hvor raskt den sank. For eksempel lå CO -nivået ved steng inne-løsning fortsatt fem ganger over anbefalt nivå etter 1200 sekunder, mens trekk ut-løsning hadde sunket til under anbefalt nivå. Selv om målingene av

gasskonsentrasjon ikke var ved den dødelige eller lammende terskelen, som beskrevet i Tabell 2, indikerer fortsatt resultatene at trekk ut-løsning gir bedre forutsetninger for personsikkerhet enn steng inne-løsning.

Generelt sett skal utrykningstiden til brannvesenet ikke overstige ti minutter ved brann, og bør ikke overstige 20-30 minutter i og utenfor tettsteder [41]. Når brannvesenets innsats rykker ut til stedet, kan det ta noe tid før de lokaliserer brannen og rykker inn til arnestedet. Hvis en tar utgangspunkt i resultatet fra forsøkene av skummadrass i underkapittel 5.4.3, klarer en å se at det allerede er kritiske forhold etter fem minutter. Hvis det har vært en liten flammebrann som har slukket av seg selv etter noen få minutter, vil trekk ut-løsning gi bedre personsikkerhet i forhold til steng inne-løsning. Dette er et resultat av forsøket med skummadrass hvor brannen har sluttet å utvikle seg etter 8 minutter, se Figur 5.29, Figur 5.30 og Figur 5.31. Da viste det seg at trekk ut-løsning ga bedre forutsetninger for personsikkerhet, siden det fjernet giftig røyk og tilførte frisk luft.

6.4 Steng inne- vs Trekk ut-løsning

I dagens byggeforskrift under kapittel «§11-10 tekniske installasjoner» (TEK17) mangler det klare føringer for valg av ventilasjonsløsninger i ulike brannscenarier. Regelverket henviser i stor grad til Byggforskseriens anvisninger, som beskriver eksisterende løsninger uten å gi konkrete anbefalinger for hvilke systemer som bør benyttes i ulike situasjoner (se underkapittel 2.6.1 for en fullstendig liste over anvisninger). Hvis en likevel velger trekk ut-løsning fremfor steng inne-løsning, kreves det separate branntekniske analyser for å dokumentere at løsningen faktisk er egnet for det aktuelle scenarioet. For å oppnå større enighet om valg av løsning, bør regelverket suppleres med overordnede retningslinjer som klargjør premissene for ulike ventilasjonsløsninger ved brann. Videre kan det vurderes at Byggforskseriens monteringsanvisninger inkluderer en tydelig vurdering av fordeler og ulemper ved de ulike systemtypene, slik at prosjekterende og utførende får et bedre beslutningsgrunnlag.

Selv om friske personer vanligvis ikke vil være i livsfare under brannscenarioene, kan økt personsikkerhet få avgjørende betydning for utsatte grupper. Som beskrevet i teori/litteraturstudie underkapitlene 2.1.3, 2.1.4 og 2.1.7 vil utsatte grupper ha høyere sannsynlighet for å omkomme i brann. Det kan være mange faktorer til dette, men spesielt funksjonshemming vil være en avgjørende årsak til at personene ikke kommer seg ut i tide. I

henhold til forskriftskravene «§11-11 generelle krav til rømning og redning» som er presentert i underkapittel 2.6.1, skal det i den tid det tar å rømme en branncelle ikke forekomme forhold som hindrer rømning. Her vil det, basert på resultatene fra forsøkene, være betydelige forskjeller i hindringen av rømning på valg av ventilasjonsløsning, hvor trekk ut-løsning gir den beste forutsetningen.

Fordelen med steng-inne-løsningen er at den begrenser spredning av giftige røykgasser fra startbranncellen til tilstøtende brannceller, slik det er dokumentert i BRAVENT-prosjektene. Ulempen er imidlertid at røyken raskt akkumuleres i startbranncellen, samtidig som det ikke tilføres frisk luft til personene som befinner seg der.

Trekk ut-løsningen har den fordelen at den aktivt trekker ut giftige røykgasser fra startbranncellen via ventilasjonssystemet, samtidig som frisk luft trekkes inn. Ulempen oppstår dersom systemet svikter – da kan røyken spres ukontrollert til andre brannceller.

Selv om det finnes tydelige forskjeller mellom de to løsningene, er det avgjørende å vurdere hvilken løsning som i størst grad ivaretar personsikkerheten. Som tidligere nevnt i underkapittel 2.1.1, har Norge en nullvisjon for omkomne i brann. Det er derfor essensielt å velge løsninger som støtter opp under dette målet. I underkapittel 2.1.5 vises det til at 90–94 % av alle brannofre blir funnet i startbranncellen, noe som understreker viktigheten av riktig røykhåndtering nettopp der.

7. Konklusjon

For å besvare problemstillingen er det gjennomført litteraturstudie, simulering og eksperimentelle forsøk. Kombinasjonen av disse metodene har vist en tydelig forskjell mellom de to ventilasjonsløsningene.

Hypotese i: *Trekk ut-løsning vil gi lavere gasskonsentrasjoner og bedre sikt enn steng inne-løsning.*

Bekreftet: CO- og CO₂-konsentrasjonene nådde opptil fem ganger høyere nivåer ved steng inne sammenlignet med trekk ut (skummadrassforsøket), og levelige forhold oppsto betydelig raskere ved trekk ut. Siktforsøkene viste tydelig bedre siktbevaring med trekk ut, både i kalde røykmaskinforsøk og varme forsøk.

Hypotese ii: *Forskjellen mellom simulering og eksperimentelle forsøk vil være noe ulik på verdier, men begge viser samme trend.*

Bekreftet: Både simuleringer og eksperimentelle data viste konsekvent gevinst for trekk ut-strategien. Avvik i gassnivåer forklares av ulik energiproduksjon, romtetthet og brenselkarakteristikker.

Hypotese iii: *Relasjonen mellom sikt og gasskonsentrasjon i forsøkene har en sammenheng med Tabell 2 hentet fra SN/INSTA 950.*

Avkreftet: Sikttap inntraff lenge før gassnivåene nådde dødelige nivåer. Likevel lå CO-konsentrasjonene ved sikttap på nivåer (100–700 ppm) som kan være helseskadelige, spesielt for utsatte grupper.

Hovedfunnene viser at trekk ut-løsningen betydelig forbedrer personsikkerheten ved å redusere eksponeringstiden for giftige gasser og raskt gjenopprette levelige forhold. Effekten av ventilasjonsløsningen er mest kritisk i start- og tidlig vekstfase, men spiller også en avgjørende rolle i utbrenningsfasen ved å fjerne gjenværende røyk og gasser. Dette er spesielt viktig for sårbare grupper (funksjonshemmede, ruspåvirkede og eldre) der selv moderat forurensning kan være livstruende; rask trekk ut ventilasjon kan forlenge deres overlevelsestid betydelig.

Denne studien konkluderer at trekk ut-løsningen gir en klar personsikkerhetsgevinst sammenlignet med steng inne-løsningen. Ved å kombinere videre eksperimentelle studier med målrettet regelverksutvikling kan en etablere et scenario-tilpasset vurderingssystem.

8. Anbefalinger for videre arbeid

- Gjennomføre forsøk i mer komplekse rom med fullverdige ventilasjonsanlegg og studere røykspredning i samme startbranncelle, samt nabobrannceller.
- Inkludere branner med høyere trykk (for eksempel gass- eller væskebranner) for å teste grenseverdier for ventilasjonssystemer.

Dagens TEK17 med veiledning gir ikke tilstrekkelige føringer for valg av ventilasjonsløsninger ved brann, og henviser til Byggforskseriens anvisninger uten konkrete anbefalinger. For å sikre konsistente og sikre løsninger kreves det derfor:

1. Overordnede forskriftskrav som definerer når de ulike ventilasjonsløsningene (trekk ut, steng inne, kombinert) bør benyttes.
2. Utfyllende anvisninger med klare fordeler/ulempers-oversikter og standardiserte vurderingsskjemaer i Byggforskserien.

Dermed vil prosjekterende og myndigheter få et entydig beslutningsgrunnlag som både effektiviserer godkjenningsprosesser og styrker personsikkerheten ved brann.

Referanser

- [1] Kollegiet for Brannfaglig Terminologi, «KBT», kbt.no. Åpnet: 4. april 2025. Tilgjengelig på:
https://online2.superoffice.com/Cust24532/CS/scripts/customer.fcgi?_sf=4%20&action=safeParse&includeId=kbtframework&key=EZrBn4oIUZfs4C1Z
- [2] Justis- og beredskapsdepartementet, «Regjeringen med nullvisjon for drepte og skadde i brann», regjeringen.no. Åpnet: 11. februar 2025. Tilgjengelig på:
<https://www.regjeringen.no/no/aktuelt/regjeringen-med-nullvisjon-for-drepte-og-skadde-i-brann/id3031544/>
- [3] A.-M. Haukø mfl., «Veileder for brannteknisk prosjektering av ventilasjonsanlegg i skolebygg», SINTEF, Veileder 2024:00588, mai 2024. Åpnet: 31. januar 2025. Tilgjengelig på:
<https://www.sintef.no/contentassets/958660f3a9df4945943246a31c289679/bravent-veileder-for-brannteknisk-prosjektering-av-ventilasjonsanlegg-i-skolebygg.pdf>
- [4] A.-M. Haukø, A. Yang, B. G. Olsø, og A. Aamodt, «Brannforløp og ventilasjon i skoler», SINTEF, Litteraturstudie 2022:00394, okt. 2022. Åpnet: 31. januar 2025. Tilgjengelig på:
<https://www.sintef.no/contentassets/958660f3a9df4945943246a31c289679/bravent-rapport---brannforlop-og-ventilasjon-i-skoler.pdf>
- [5] *Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*, SN-INSTA/TS 950:2014, 30. april 2014. Åpnet: 30. januar 2025. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/sn-instats-950-2014>
- [6] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Omkomne i brann», dsb.no. Åpnet: 16. januar 2025. Tilgjengelig på:
<https://www.dsb.no/menyartikler/statistikk/omkomne-i-brann/>
- [7] C. Sesseng, K. Storesund, og A. Steen-Hansen, «Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2005 - 2014», RISE Research Institutes of Sweden AB, Trondheim, Analyse A17 20176:1, sep. 2017. Åpnet: 21. januar 2025. Tilgjengelig på:
<https://risefr.no/media/publikasjoner/upload/2017/a17-20176-1-analyse-av-dodsbranner-i-norge-i-perioden-2005-2014.pdf>
- [8] National Fire Data Center, «Civilian Fire Injuries in Residential Buildings (2017-2019)», bd. 21, nr. 4, Tilgjengelig på:
<https://www.usfa.fema.gov/downloads/pdf/statistics/v21i4.pdf>
- [9] BC Office of the Fire Commissioner, «Annual Report 2021», Government of British Columbia, Victoria, BC, Canada, 2021. Tilgjengelig på:
https://www2.gov.bc.ca/assets/gov/public-safety-and-emergency-services/public-safety/fire-safety/fire-reporting/office_of_the_fire_commissioner_2021_annual_report.pdf
- [10] L. Xiong, D. Bruck, og M. Ball, «Comparative investigation of ‘survival’ and fatality factors in accidental residential fires», *Fire Saf. J.*, bd. 73, s. 37–47, april. 2015, doi:

10.1016/j.firesaf.2015.02.003.

- [11] M. Fernández-Vigil og B. Echeverría Trueba, «Elderly at Home: A Case for the Systematic Collection and Analysis of Fire Statistics in Spain», *Fire Technol.*, bd. 55, nr. 6, s. 2215–2244, nov. 2019, doi: 10.1007/s10694-019-00852-6.
- [12] R. Chagger, «The causes of fire fatalities and serious fire injuries in Scotland and potential solutions to reduce them- Phase 1: IRS review», BRE Group, Scotland, UK, Briefing Paper 110296, des. 2019. Åpnet: 21. januar 2025. Tilgjengelig på: https://www.researchgate.net/publication/356128883_The_causes_of_fire_fatalities_and_serious_fire_injuries_in_Scotland_and_potential_solutions_to_reduce_them-Phase_1_IRS_review_Briefing_Paper
- [13] Statistisk Sentralbyrå, «Fakta om befolkningen - hvor mange bor det i Norge?», ssb.no. Åpnet: 12. mai 2025. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/befolkning/faktaside/befolkningen>
- [14] Statistisk Sentralbyrå, «Innvandrere og norskfødte med innvandrerforeldre», ssb.no. Åpnet: 12. mai 2025. Tilgjengelig på: <https://www.ssb.no/befolkning/innvandrere/statistikk/innvandrere-og-norskfodte-med-innvandrereforeldre>
- [15] E. Aamodt og E. S. Skilbred, «Analyse av dødsbranner i Norge i perioden 2015-2020», RISE Research Institutes of Sweden AB, Trondheim, Norge, 2024:43, 2024. Åpnet: 15. februar 2025. Tilgjengelig på: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-76397>
- [16] A. Steen-Hansen og B. Krisoffersen, «Hvor brannsikre er stoppete møbler og madrasser?», SINTEF NBL as, Trondheim, Norge, NBL A06103, feb. 2007. Åpnet: 28. april 2025. Tilgjengelig på: <https://risefr.com/media/publikasjoner/upload/nbl-a06103.pdf>
- [17] Guttorm Liebe, *Brannfysikk - fra teori til praksis*. Oslo: Norsk brannvernforening, 2015.
- [18] J. P. Stensaas, «Toxicity, visibility and heat stresses of fire effluents - human tenability limits.», SINTEF, N-7034 Trondheim, Norway, STF25 A91022, mai 1991. Tilgjengelig på: <https://risefr.com/media/publikasjoner/upload/stf25-a91022.pdf>
- [19] Folkehelseinstituttet, «Branngasser - behandlingsanbefaling ved forgiftning», helsebiblioteket.no. Åpnet: 24. april 2025. Tilgjengelig på: <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/branngasser-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning>
- [20] Folkehelseinstituttet, «Karbonmonoksid - behandlingsanbefaling ved forgiftning», helsebiblioteket.no. Åpnet: 23. april 2025. Tilgjengelig på: <https://www.helsebiblioteket.no/forgiftninger/gasser-og-kjemikalier/karbonmonoksid-behandlingsanbefaling-ved-forgiftning>
- [21] A. Hauge, «respirasjonsregulering», *Store medisinske leksikon*. 12. mars 2025. Åpnet: 25. april 2025. Tilgjengelig på: <https://sml.snl.no/respirasjonsregulering>

- [22] S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk Del I*, 1. utg. Oslo: Nemitek, 2020.
- [23] Byggforskserien, «552.323 Behovsstyrt ventilasjon (DCV). Prinsipper», byggforsk.no. Åpnet: 3. februar 2025. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/535/behovsstyrt_ventilasjon_dcv_prinsipper
- [24] Byggforskserien, «520.352 Brann- og røyksikring av ventilasjonsanlegg», byggforsk.no. Åpnet: 30. januar 2025. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/5184/brann_og_roeyksikring_av_ventilasjonsanlegg
- [25] S. Ingebrigtsen, *Ventilasjonsteknikk Del II*, 1. utg. Oslo: Nemitek, 2020.
- [26] Byggforskserien, «520.387 Tilgjengelig rømningstid ved brann», byggforsk.no. Åpnet: 7. februar 2025. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/2955/tilgjengelig_roemningstid_ved_brann
- [27] C. Meraner og J. S. Fjærestad, «BRAVENT – Storskala branntester (del 2): Effekten av ventilasjonsstrategi på røykspredning og trykkontroll i en mock-up skolebygning», RISE Research Institutes of Sweden AB, Trondheim, Norge, 2024:38, 2024. Åpnet: 8. mai 2025. Tilgjengelig på:
https://www.researchgate.net/publication/380928673_BRAVENT_-_Storskala_branntester_del_2_Effekten_av_ventilasjonsstrategi_pa_roykspredning_og_trykkontroll_i_en_mock-up_skolebygning
- [28] B. C. Hagen, *Grunnleggende Brannteknikk*, 2. utgave. Haugesund: B.C. Hagen, 2018.
- [29] D. Drysdale, *An introduction to fire dynamics*, Chichester: Wiley, 2011.
- [30] G. Liebe, «sprinkleranlegg», snl.no. Åpnet: 10. februar 2025. Tilgjengelig på:
<https://snl.no/sprinkleranlegg>
- [31] Thunderhead Engineering, «PyroSim User Manual», support.thunderheadeng.com. Åpnet: 7. februar 2025. Tilgjengelig på:
<https://support.thunderheadeng.com/docs/pyrosim/2024-2/user-manual/>
- [32] *Forskrift om tekniske krav til byggverk (Byggteknisk forskrift)*. 2017. Åpnet: 20. januar 2025. Tilgjengelig på: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2017-06-19-840>
- [33] *Byggeforskrift 1985*. 1985. Åpnet: 3. februar 2025. Tilgjengelig på:
<https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/1984-11-15-1892>
- [34] Direktoratet for byggkvalitet, «Byggteknisk forskrift (TEK17) med veiledning», dibk.no. Åpnet: 12. januar 2025. Tilgjengelig på:
<https://www.dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17>
- [35] Rådgivende ingeniørers forening, «RIBR», RIF, Oslo, Veileder, jan. 2022. Åpnet: 10. februar 2025. Tilgjengelig på: <https://rif.no/wp-content/uploads/2023/01/Ytelser-RIBR-rev-2022.pdf>
- [36] Byggforskserien, «321.026 Brannsikkerhet. Brannsikkerhetsstrategi og brannkonsept»,

byggforsk.no. Åpnet: 31. januar 2025. Tilgjengelig på:
https://www.byggforsk.no/dokument/3114/brannsikkerhet_brannsikkerhetsstrategi_og_brannkonsept

- [37] *Krav til risikovurdering av brann i byggverk*, NS 3901:2012, juni 2012. Åpnet: 31. januar 2025. Tilgjengelig på: <https://online.standard.no/nb/ns-3901-2012>
- [38] T. Jin, «Studies On Human Behavior And Tenability In Fire Smoke», *Fire Saf. Sci.*, bd. 5, s. 3–21, 1997, doi: 10.3801/IAFSS.FSS.5-3.
- [39] C. Sesseng, N. K. Reitan, og S. Fjær, «Kartlegging av gasskonsentrasjoner, effekt av dødluftsrom og effekt av alternativt deteksjonsprinsipp ved ulmebrann», 2015. Åpnet: 28. april 2025. Tilgjengelig på: <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:ri:diva-37569>
- [40] Helse- og omsorgsdepartementet, «NOU 2011: 17 - Når sant skal sies om pårørendeomsorg», regjeringen.no. Åpnet: 15. mai 2025. Tilgjengelig på: <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/nou-2011-17/id660537/>
- [41] Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap, «Veiledning til brann- og redningsvesenforskriften», dsb.no. Åpnet: 29. april 2025. Tilgjengelig på: <https://www.dsb.no/brannsikkerhet/brannberedskap/regelverk-prosedyrer-og-veiledning/veiledning-til-brann--og-redningsvesenforskriften/>

Liste over figurer

Figur 2.1: Antall dødsbranner i Norge 2000-2024. Tall hentet fra [6].....	6
Figur 2.2: Brannskader i boligbygg i perioden 2017-2019 i USA. Tall hentet fra [8].....	7
Figur 2.3: Dødsårsak for omkomne i brann i perioden 2004-2020. Tall hentet fra [7], [15].	9
Figur 2.4: Fordeling over hvor omkomne ble funnet i dødsbranner i perioden 2004-2020. Tall hentet fra [7], [15].	10
Figur 2.5: Forskjell på trekk ut-løsning og steng inne-løsning. Illustrasjon hentet fra Byggforskserien 520.352, SINTEF [24].	13
Figur 2.6: Fasene i tilgjengelig rømningstid. Illustrasjon hentet fra Byggforskserien 520.387, SINTEF [26].....	15
Figur 2.7: Illustrerer de forskjellige fasene i en rombrann [21, s. 15].....	16
Figur 2.8: Varmetransport som følge av brann. Figur hentet fra [28, s. 33].	18
Figur 3.1: Skisse av testrom med tilhørende ventilasjon, tegnet i Revit.	30
Figur 3.2: Innsiden av testrommet og montering av ventilasjonsanlegget.....	30
Figur 3.3: Bilde av tilluftsventil. Trekk ut-løsning til venstre, og steng inne-løsning til høyre.	30
Figur 4.1: Trepellets med bomullsdotter.	35
Figur 4.2: Oppsett av EPS	36
Figur 4.3: Skummadrass med plate	37
Figur 5.1: Forskjellen på sikt ved simulering. Området markert med svart er hvor sikten er fem meter.....	39
Figur 5.2: CO konsentrasjon over tid, simulering av trepellets	41
Figur 5.3: CO ₂ konsentrasjon over tid, simulering av trepellets	41

Figur 5.4: O ₂ konsentrasjon over tid, simulering av trepellets	42
Figur 5.5: Sikt over tid, simulering av trepellets	42
Figur 5.6: Temperatur over tid, simulering av trepellets.....	43
Figur 5.7: CO konsentrasjon over tid, simulering av EPS	44
Figur 5.8: CO ₂ konsentrasjon over tid, simulering av EPS	44
Figur 5.9: O ₂ konsentrasjon over tid, simulering av EPS.....	44
Figur 5.10: Sikt over tid, simulering av EPS.....	45
Figur 5.11: Temperatur over tid, simulering av EPS	45
Figur 5.12: Resultat fra forsøk med steng inne-løsning, røykmaskin.	47
Figur 5.13: Steng inne-løsning før test start og etter 40 min.....	47
Figur 5.14: Resultat av forsøk med trekk ut-løsning, røykmaskin.....	48
Figur 5.15: Trekk ut-løsning før test start og etter 40 min.	48
Figur 5.16: Steng inne-løsning til venstre og trekk ut-løsning til høyre etter 7 minutter og 40 sekunder. Rømningsskiltet er markert i den røde sirkelen på bilde til høyre.....	49
Figur 5.17: Samlet resultat av CO konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne-løsning, trepellets	51
Figur 5.18: Samlet resultat av CO ₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne-løsning, trepellets	51
Figur 5.19: Samlet resultat av O ₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne-løsning, trepellets	51
Figur 5.20: Resultat av siktmålinger på steng inne løsning, trepellets.....	52
Figur 5.21: Massetapsraten til trepellets med steng inne- og trekk ut-løsning	53
Figur 5.22: Temperatur i taket med trekk ut- og steng inne-løsning. Data hentet fra test 3, med	

trepellets	53
Figur 5.23: Samlet resultat av CO konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, EPS.	55
Figur 5.24: Samlet resultat av CO ₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, EPS	55
Figur 5.25: Samlet resultat av O ₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, EPS.	55
Figur 5.26: Resultat av siktmålinger med trekk ut- og steng inne løsning, EPS.....	56
Figur 5.27: Massetapsraten til EPS med trekk ut- og steng inne-løsning	57
Figur 5.28: Temperatur i taket med trekk ut- og steng inne-løsning. Data hentet fra test 3, med EPS.	57
Figur 5.29: Samlet resultat av CO konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, Skummadrass.....	59
Figur 5.30: Samlet resultat av CO ₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, Skummadrass.....	59
Figur 5.31: Samlet resultat av O ₂ konsentrasjon, og sammenligning av trekk ut- og steng inne løsning, Skummadrass.....	59
Figur 5.32: Massetapsraten til skummadrass, både med steng inne- og trekk ut-løsning.....	60
Figur 5.33: Temperatur i taket med trekk ut- og steng inne løsning.	61
Figur 6.1: Utvikling av sikt og røykproduksjon etter fem minutter, EPS	65
Figur E.1: Oversikt over komponentene til ventilasjonsanlegget	97
Figur G.1: Røykmaskin som ble benyttet under kalde forsøk.....	100

Liste over tabeller

Tabell 1: Oversikt over grenseverdier. Tall hentet fra [18].....	12
Tabell 2: Viser akseptkriteriene for krav ved rømning [5].....	24
Tabell 3: Sammenligning av SN/INSTA 950 akseptkriterier opp mot resultater fra de varme forsøkene.	66

Vedlegg A. Konkallorimeter Trepellets

Test according ISO 5660

Test report

pachelor-adrian-pellets2

Test

Standard used ISO 5660-1
Date of test 27.03.2025
Time of test 09:39
Heat flux (kW/m²) 30
Nominal duct flow rate (l/s) 24.0
Sampling interval (s) 1
Separation (mm)
Orientation
Edge frame?
Grid?
Non-scrubbed?
Substrate used? (Y/N)
Substrate
Additional preparation details

Specimen

Sample description Service
Material name/ID pellets
Specimen number 2
E (MJ/kg) 13.10
Initial mass (g) 92.80
Thickness (mm) 20
Surface area (cm²) 88.36
Sponsor
Manufacturer
Test start time (s) 60
Time to ignition (s) 134
Time to flameout (s) 943
End of test criteria
User EOT time (s) 970
MLR EOT mass (g/m²)
MLR time period (s)
Truncate graphs at EOT
Smooth data?
Correct O₂ for pressure?

Specification: apparatus

C-factor (SI units) 0.0458
OD correction factor 1
Duct diameter (m) 0.114
O₂ delay time (s) 18
CO₂ delay time (s) 13
CO delay time (s) 13

Calculated values

Total heat release (THR) 111.2 MJ/m²
Peak value heat release rate (HRR max) 212.0 kW/m²
Total smoke production (TSP) 3.8 m³
Total smoke prod. nonfl. phase (TSP n) 77.9 m³/m²
Total smoke prod. flaming phase (TSP f) 348.9 m³/m²
Maximum average rate of heat emission (MARHE) 136.7 kW/m²

Mean values

Time [s]	HRR [kW/m ²]	EHC [MJ/kg]	MLR [g/s]	SEA [kg/kg]	COY [kg/kg]	COZY [kg/kg]
Tign + 60	190.1	12.94	0.127	46.355	1.277	0.000
Tign + 120	198.1	13.09	0.133	57.806	1.276	0.001
Tign + 180	197.7	12.99	0.134	61.794	1.263	0.001
Tign + 240	189.1	12.86	0.130	59.270	1.244	0.000
Tign + 300	178.5	12.77	0.123	51.255	1.232	0.000
Tign + 360	171.1	12.74	0.118	44.891	1.228	0.000

Maximal values

HRR (60 s) 212.0 kW/m² at 226 s
EHC (60 s) 24.31 MJ/kg at 792 s
MLR (60 s) 0.154 g/s at 241 s
SEA (60 s) 113.577 g/s at 672 s
COY (60 s) 0.000 kg/kg at 0 s
COZY (60 s) 0.000 kg/kg at 0 s

Laboratory

Laboratory name HVL
Operator anita
Filename bachelor-adrian-pellets2
Report name bachelor-adrian-pellets-2

Pre-test conditions

Ambient temperature (°C) 15.2
Barometric pressure (Pa) 100848
Relative humidity (%) 40.3

Conditioning

Conditioned? (Y/N)
Conditioning temperature (°C)
Conditioning RH (%)

Data collected

CO/CO₂ data collected? Yes
Mass data collected? Yes
Smoke data collected? Yes
Soot mass data collected
Soot mass ratio (1.x)
Soot mass (g)

Comments

Pre-test comments
After test comments

Comments

Number of events 0

Times

Time to ignition 134 s
Time to flame off 943 s
Time end of test 970 s

These test results relate only to the behaviour of the test specimens under the particular conditions of the test. They are not intended to be the sole criterion of assessing the potential fire hazard of the product in use.

Vedlegg B. Konkallorimeter EPS

Test according ISO 5660

Test report

unnamed

Test

Standard used ISO 5660-1
Date of test 25.03.2025
Time of test 13:23
Heat flux (kW/m²) 50
Nominal duct flow rate (l/s) 24.0
Sampling interval (s) 1
Separation (mm)
Orientation
Edge frame?
Grid?
Non-scrubbed?
Substrate used? (Y/N)
Substrate
Additional preparation details

Specimen

Sample description Service
Material name/ID furu trykkimpregnert
Specimen number 1 unknown
E (MJ/kg) 13.10
Initial mass (g) 2.97
Thickness (mm) 15
Surface area (cm²) 88.36
Sponsor
Manufacturer
Test start time (s) 60
Time to ignition (s) 41
Time to flameout (s) 76
End of test criteria
User EOT time (s) 90
MLR EOT mass (g/m²)
MLR time period (s)
Truncate graphs at EOT
Smooth data?
Correct O₂ for pressure?

Specification: apparatus

C-factor (SI units) 0.0458
OD correction factor 1
Duct diameter (m) 0.114
O₂ delay time (s) 18
CO₂ delay time (s) 13
CO delay time (s) 13

Calculated values

Total heat release (THR) 10.8 MJ/m²
Peak value heat release rate (HRR max) 317.0 kW/m²
Total smoke production (TSP) 4.8 m³
Total smoke prod. nonfl. phase (TSP n) 545.4 m³/m²
Total smoke prod. flaming phase (TSP f) 0.0 m³/m²
Maximum average rate of heat emission (MARHE) 131.8 kW/m²

Mean values

Time	HRR	EHC	MLR	SEA	COY	CO ₂ Y
[s]	[kW/m ²]	[MJ/kg]	[g/s]	[kg/kg]	[kg/kg]	[kg/kg]
Tign + 60	182.4	15.26	0.047	1187.946	2.149	0.064
Tign + 120	182.4	15.26	0.047	1187.946	2.149	0.064
Tign + 180	182.4	15.26	0.047	1187.946	2.149	0.064
Tign + 240	182.4	15.26	0.047	1187.946	2.149	0.064
Tign + 300	182.4	15.26	0.047	1187.946	2.149	0.064
Tign + 360	182.4	15.26	0.047	1187.946	2.149	0.064

Maximal values

HRR (60 s)	317.0 kW/m ²	at 51 s
EHC (60 s)	33.78 MJ/kg	at 51 s
MLR (60 s)	0.108 g/s	at 53 s
SEA (60 s)	6872.746 g/s	at 130 s
COY (60 s)	0.000 kg/kg	at 0 s
CO ₂ Y (60 s)	0.000 kg/kg	at 0 s

Laboratory

Laboratory name HVL
Operator anita
Filename unnamed
Report name Bachelor-Adrian

Pre-test conditions

Ambient temperature (°C) 15.9
Barometric pressure (Pa) 100780
Relative humidity (%) 37.6

Conditioning

Conditioned? (Y/N)
Conditioning temperature (°C)
Conditioning RH (%)

Data collected

CO/CO₂ data collected? Yes
Mass data collected? Yes
Smoke data collected? Yes
Soot mass data collected
Soot mass ratio (1/x)
Soot mass (g)

Comments

Pre-test comments
After test comments

Comments

Number of events 0

Times

Time to ignition 41 s
Time to flame off 76 s
Time end of test 90 s

These test results relate only to the behaviour of the test specimens under the particular conditions of the test. They are not intended to be the sole criterion of assessing the potential fire hazard of the product in use.

Vedlegg C. Utstyrsliste simulering

Datamaskin

En datamaskin med minimum 16 GB ram og prosessor I5/R5 ble benyttet for å kunne håndtere store programfiler.

Programvare – PyroSim

PyroSim er en FDS modell som simulerte brann i et rom, og ble brukt for å kunne sette opp grunnlaget til forsøkene.

Vedlegg D. Prosedyre Simulasjon FDS

Start med å opprette ny modell

1. Start programmet, og trykk på **New**. Deretter lagrer en modellen i en valgt mappe
2. Gi modellen et navn
3. Klikk på **OK** for å lagre modellen.

Lag en reaksjon

1. På **Model** menyen, trykk på **Edit Reactions**
2. Klikk på **Add From Library** og velg **SFPE WOOD_PINE** og **SFPE POLYURETHANE GM27**. Flytt disse over til **Current Model**, og trykk til slutt **Close**
3. Klikk på **OK** for å fullføre prosessen

NB: Når en skal modellere de varme forsøkene, skal en ta hensyn til at materialene trepellets, EPS og skummadrass som skal benyttes. Disse ligger ikke forhåndslagret i biblioteket, og må opprettes på nytt. For å spare tid og ressurser blir kun verdiene fra konkalorimeteret og de varme forsøkene benyttet, mens den kjemiske formelen fra **SFPE WOOD PINE** og **SFPE POLYURETHANE GM27** vil være det samme. **SFPE POLYURETHANE GM27** fra biblioteket vil bli benyttet for skummadrass, da den inneholder polyeterskum (PUR basert). **SFPE WOOD PINE** vil bli benyttet for trepellets, da det inneholder en del furu fra før. Verdiene som ble byttet ut er i hovedsak **Specify heat of combustion, Radiative Fraction, CO Yield, Soot Yield** og **Fuel Species**.

Det vil derimot bli opprettet en ny kjemisk formel for EPS, da polystyren er noe ulikt enn polyuretan.

1. På **Model** menyen, trykk på **Edit Species**
2. Trykk på **New**, velg **Custom** og skriv inn **Polystyren_EPS**
3. Velg **Chemical Formula**, og skriv inn **C1.0H1.0**. Dette er den empiriske formelen for ren polystyren, da den kjemiske sammensetningen er C_8H_8
4. Trykk på **OK**

5. Trykk igjen på **Model** menyen, men velg **Edit Reactions**
6. Trykk på **New**, og skriv inn **EPS**
7. Velg **Polystyren_EPS** på **Fuel Species**, og trykk **OK**
8. Trykk på **Byproducts**, og skriv inn relevante verdier hentet fra konkalorimeteret og eventuelt varme forsøkene.

Opprett Mesh

1. På **Model** menyen, trykk **Edit Meshes**
2. Klikk på **New**, og deretter **OK** for å opprette en ny mesh
3. X-retning skal være fra **-0,8** til **6,2**, Y-retning skal være fra **-0,2** til **2,8**, og Z-retning skal være fra **0,0** til **2,8**.
4. Trykk på **Cell Size** og skriv inn **0,2** for å teste ut modellen, og endre til **0,1** når en skal utføre reelle forsøk. Jo mindre størrelsen til cellene er, jo mer nøyaktig blir simuleringene.
5. Trykk **OK** for å lagre endringene, og kryss bort **Edit Meshes**

Opprett Surfaces

1. På **Model** menyen, trykk på **Edit Surfaces**
2. Trykk på **New**, gi navnet **Brann**, og velg **Surface Type** som **Burner**. Deretter trykk **OK**
3. Endre **HRRPUA** til ønsket verdi. Eksempelvis for en brann med energiproduksjonen 6 kW på et kar på 0,024 m², vil verdiene være **150**
4. La **Ramp-Up Time** være på **Default**, og trykk til slutt **OK**.
5. Start prosessen på nytt, og kall det nye for **Tilluft**, og velg **Surface Type** som **Supply**.
6. På **Air Flow** så velger en **Specify Velocity**, og skriver inn ønsket verdi. Eksempelvis i henhold til VTEK, hvor omkretsen til tilluftsventilen er 160 mm, kan en skrive inn **0,36**.
7. Start prosessen på nytt, men trykk på **Exhaust** siden den allerede er opprettet.
8. På **Air Flow** så velger en **Specify Velocity**, og skriver inn ønsket verdi. Eksempelvis i henhold til VTEK, hvor omkretsen til avtrekkventilen er 125 mm, kan en skrive inn **0,18**.

Opprett planlagt testrom

1. På **Model** menyen, trykk på **New Obstruction**
2. Skriv inn **Gulv**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 0,0** og **Max X: 5,2**, deretter **Min Y: 0,0** og **Max Y: 2,4**, og til slutt **Min Z: -0,2** og **Max Z: 0,0**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
3. Skriv inn **Vegg -y**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 0,0** og **Max X: 5,2**, deretter **Min Y: 0,0** og **Max Y: 0,2**, og til slutt **Min Z: -0,2** og **Max Z: 2,6**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
4. Skriv inn **Vegg +y**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 0,0** og **Max X: 5,2**, deretter **Min Y: 2,2** og **Max Y: 2,4**, og til slutt **Min Z: -0,2** og **Max Z: 2,6**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
5. Skriv inn **Vegg -x**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 0,0** og **Max X: 0,2**, deretter **Min Y: 0,0** og **Max Y: 2,4**, og til slutt **Min Z: -0,2** og **Max Z: 2,6**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
6. Skriv inn **Vegg +x**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 5,2** og **Max X: 5,4**, deretter **Min Y: 0,0** og **Max Y: 2,4**, og til slutt **Min Z: -0,2** og **Max Z: 2,6**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
7. Skriv inn **Tak**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 0,0** og **Max X: 5,2**, deretter **Min Y: 0,0** og **Max Y: 2,4**, og til slutt **Min Z: 2,4** og **Max Z: 2,6**. Trykk på **OK**

Opprett ventilasjonkanal

Det vil bli tatt hensyn til at diameteren på tilluftsventilen er 165 mm, mens diameteren til avtrekksventilen er 120 mm. For å gjøre modellen enkel, har det kun blitt benyttet åpninger i vegg som illustrerer ventilasjonskanaler. Som betyr at det ikke er lagt inn blant annet HVAC systemer, da det ikke er nødvendig i et lite testrom.

1. På **Model** menyen, trykk på **New Obstruction**
2. Skriv inn **Tilluft -z**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: -0,6** og **Max X: 0,2**, deretter **Min Y: 0,5** og **Max Y: 0,642**, og til slutt **Min Z: 1,858** og **Max Z: 1,958**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.

3. Skriv inn **Tilluft +z**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: -0,6** og **Max X: 0,2**, deretter **Min Y: 0,5** og **Max Y: 0,642**, og til slutt **Min Z: 2,1** og **Max Z: 2,2**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
4. Skriv inn **Tilluft -y**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: -0,6** og **Max X: 0,2**, deretter **Min Y: 0,4** og **Max Y: 0,5**, og til slutt **Min Z: 1,858** og **Max Z: 2,2**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
5. Skriv inn **Tilluft +y**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: -0,6** og **Max X: 0,2**, deretter **Min Y: 0,642** og **Max Y: 0,742**, og til slutt **Min Z: 1,858** og **Max Z: 2,2**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
6. Skriv inn **Avtrekk -z**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 5,2** og **Max X: 6,0**, deretter **Min Y: 1,789** og **Max Y: 1,9**, og til slutt **Min Z: 1,889** og **Max Z: 1,989**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
7. Skriv inn **Avtrekk +z**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 5,2** og **Max X: 6,0**, deretter **Min Y: 1,789** og **Max Y: 1,9**, og til slutt **Min Z: 2,1** og **Max Z: 2,2**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
8. Skriv inn **Avtrekk -y**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 5,2** og **Max X: 6,0**, deretter **Min Y: 1,689** og **Max Y: 1,789**, og til slutt **Min Z: 1,889** og **Max Z: 2,2**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyen og velg **New Obstruction**.
9. Skriv inn **Avtrekk +y**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 5,2** og **Max X: 6,0**, deretter **Min Y: 1,9** og **Max Y: 2,0**, og til slutt **Min Z: 1,889** og **Max Z: 2,2**. Trykk til slutt på **OK**,

Opprett åpninger (hull)

Åpningene skal sørge for at ventilasjonskanalene fungerer, og det skal også ta hensyn til at det en liten åpning under døra.

1. Trykk på **Model** menyen, og velg **New Hole**

2. Skriv inn **Tilluft**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 0,6** og **Max X: 0,2**, deretter **Min Y: 0,5** og **Max Y: 0,642**, og til slutt **Min Z: 1,958** og **Max Z: 2,1**. Trykk på **OK**, og deretter på **Model** Menyten og velger **New Hole** på nytt.
3. Skriv inn **Avtrekk**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 5,1** og **Max X: 6,0**, deretter **Min Y: 1,789** og **Max Y: 1,9**, og til slutt **Min Z: 1,989** og **Max Z: 2,1**. Trykk på **OK**, og deretter på **Model** Menyten og velger **New Hole** på nytt.
4. Skriv inn **Åpning under dør**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 2,26** og **Max X: 3,14**, deretter **Min Y: 2,2** og **Max Y: 2,4**, og til slutt **Min Z: -0,01** og **Max Z: 0,05**. Trykk på **OK**.

Legg inn brannområdet, avtrekks- og tilluftsvifte

Det er planlagt å bruke et kar på 0,04 m², som er utgangspunktet. Det må også plasseres avtrekks- og tilluftsvifte i ventilasjonskanalen som allerede er opprettet.

1. Trykk på **Model** menyten, og velg **New Vent**
2. Skriv inn **Brann** på **ID**, og trykk på **Surface** og velg **Brann**. Trykk på **Geometry**, og velg **Z** på **Plane**, og skriv inn **0,0**. Deretter skriv inn **Min X: 2,6** og **Max X: 2,8**, og **Min Y: 1,1** og **Max Y: 1,3**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyten og velg **New Vent** på nytt.
3. Skriv inn **Avtrekk** på **ID**, og trykk på **Surface** og velg **Exhaust**. Trykk på **Geometry**, og velg **X** på **Plane**, og skriv inn **6,0**. Deretter skriv inn **Min Y: 1,789** og **Max Y: 1,9**, og **Min Z: 1,989** og **Max Z: 2,1**. Trykk på **OK**, deretter på **Model** menyten og velg **New Vent** på nytt.
4. Skriv inn **Tilluft** på **ID**, og trykk på **Surface** og velg **Tilluft**. Trykk på **Geometry**, og velg **X** på **Plane**, og skriv inn **-0,6**. Deretter skriv inn **Min Y: 0,5** og **Max Y: 0,642**, og **Min Z: 1,958** og **Max Z: 2,1**. Trykk til slutt på **OK**.

Opprett lokk som kan stenge av ventilasjonen (steng inne-løsning)

For å stenge av ventilasjonskanalen, og hindre for at røyk slipper ut av rommet, må det opprettes

lokk som kan stenge kanalene. Det er mulig å skru de av og på, slik at en kan utføre simulering med både steng inne- og trekk ut-løsning på samme modell.

1. Trykk på **Model** menyen, og velg **New Obstruction**
2. Skriv inn **Tilluft lukket** på **ID**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: -0,7** og **Max X: -0,6** deretter **Min Y: 0,4** og **Max Y: 0,742**, og til slutt **Min Z: 1,858** og **Max Z: 2,2**. Trykk på **OK**, og deretter på **Model** Menyten og velger **New Obstruction** på nytt.
3. Skriv inn **Avtrekk lukket** på **ID**, og trykk på **Geometry**. Skriv inn **Min X: 6,0** og **Max X: 6,1** deretter **Min Y: 1,689** og **Max Y: 2,0**, og til slutt **Min Z: 1,889** og **Max Z: 2,2**. Trykk til slutt på **OK**.

Legg til Open Boundary

1. I navigasjonsmenyen, høyreklikk på **MESH01** og velg **Open Mesh Boundaries**.
2. Slett kun **ZMIN**, og behold resten.

Legg inn Slice Records (2D Slices)

Det er interessant å se på sikt og gasskonsentrasjon i utgangspunktet, og derfor skal slice records legges inn.

1. På **Output** menyen, trykk på **2D Slices**
2. Fyll ut tabellen med relevante verdier. Oversikt over hva som skal plottes inn, er oppsummert i tabell nedenfor:
3. Det er mulig å legge inn temperatur og hastighet hvis en ønsker. Kan også være aktuelt å legge inn **Velocity** for å sjekke om ventilasjonen fungerer som den skal.

XYZ Plane	Plane Value	Gas Phase Quantity	Use Vector?	Cell Centered?
--------------	----------------	--------------------	-------------	----------------

X	2,7	Visibility	NO	YES
Y	1,2	Visibility	NO	YES
Z	1,0	Visibility	NO	YES
Z	2,0	Visibility	NO	YES
Z	1,0	Temprature	NO	YES
Z	2,0	Temperature	NO	YES
Z	1,0	[CO] Volume Fraction	NO	YES
Z	1,0	[CO ₂] Volume Fraction	NO	YES
Z	1,0	[O ₂] Volume Fraction	NO	YES
Z	2,0	[CO] Volume Fraction	NO	YES
Z	2,0	[CO ₂] Volume Fraction	NO	YES
Z	2,0	[O ₂] Volume Fraction	NO	YES

Legg inn Simulation Parameters

Varigheten av simuleringen, er avhengig av hvilket materiell som skal simuleres og hvilket scenario som skal testes. Hvis det skal sammenlignes mot varme forsøk, er det interessant å sette tiden på simulasjon lik varigheten til de varme forsøkene.

1. På **Analysis** menyen, trykk på **Simulation Parameters**.
2. På **Start Time** skal det være **0**, og på **End Time** kan det være for eksempel **2700** (45 minutter).
3. Trykk på **OK**

Modellen er komplett

1. Kopier filen, og lagre den i egne mapper som er for trekk ut- og steng inne løsning
2. For simulering av steng inne-løsning: I navigasjonsmenyen, gå til **Vents**, høyreklikk på både **Avtrekk** og **Tilluft** og trykk på **Disable Objects**
3. For simulering av trekk ut-løsning: I Navigasjonsmenyen, gå til **Obstructions**, høyreklikk på både **Tilluft** og **Avtrekk** og trykk på **Disable Objects**.
4. For simulering av ulike typer brensel, høyreklikk på aktuell reaksjon og trykk på **Set Reaction Active** for å simulere aktuell brensel. Det er også viktig å høyreklikke på tidligere aktivert reaksjon, og trykk på **Set Reaction Inactive**.

Kjør modellen, og se over resultatene

1. På **FDS** menyen, trykk på **Run FDS**. Dersom programmet spør om å ekspandere hull, trykk **Yes**.
2. Avhengig av **Cell Size** så vil det ta tid før simuleringen er ferdig. Når simuleringen er ferdig, kan en åpne resultatet i **Smokeview** og analysere resultatene. Det er også mulig å trykke på **Results** menyen, velg **View Time History Results**, og for eksempel velg **Filnavn:hrr**

For videre arbeid

Kopier filen, og lagre den under forskjellige mapper som omhandler hver enkelt ventilasjonsløsning og brensel. Da er det oversiktlig med hensyn til hvilket material som er simulert, og om det er steng inne- eller trekk ut-løsning som blir benyttet.

Vedlegg E. Utstyrliste testrom

98×48 konstruksjonsvirke

Det ble brukt omtrent 130 meter med 98×48 konstruksjonsvirke, konstruksjonsvirke ble brukt for å bygge rammeverket til testrommet.

Vindsperre

To ruller med vindsperre av papp, som sørget for å holde rommet tettest mulig slik at røyken holdt seg inni rommet eller ventilasjonskanalene. 16 × 1,25 meter, vaflet. ART.NR 17045 hos Byggmax.no

Gipsplater

13-14 stk standard gipsplater på 120 cm × 240 cm (b × h), til bruk på vegg og tak. Gipsplater har god brannmotstand som sørget for at flere forsøk kunne utføres i samme testrom.

Dør med vindu

Utslående dør i tre med vindu, med dimensjonene 88 cm × 208 cm (b × h). Vinduet sørget for et ekstra observasjonspunkt.

Vindu av plexiglass

For å spare på vekt og kostnader, ble det brukt to plexiglass på 100 cm × 85 cm (b × h) som vindu. Vinduene sørget for at en kunne observere røykproduksjonen i testrommet.

Gassmålere

Én til to gassmålere av typen X-AM 8000 dräger med tilhørende luftslange ble benyttet, og målte gassnivået av oksygen (O₂), karbonmonoksid (CO) og karbondioksid (CO₂) i testrommet. Det ble laget to hull på fem centimeter (siden filtrene på luftslangen har en diameter på fire centimeter) i testrommet for å muliggjøre stikkprøver under de varme forsøkene. Hullene ble plassert på henholdsvis 2 meters og 0,7 meters høyde. Valget av disse høydene skyldes at 2 meter tilsvarer målehøyden for sikt i henhold til SN/INSTA 950, mens 0,7 meter representerer en typisk hodehøyde for en person liggende i en seng.

Termoelementer

Det ble montert fem termoelementer langs taket for å kunne måle temperaturen i løpet av forsøkene via en logger til datamaskin. Dette var av interesse fordi det kunne gi svar om et sprinkelhode ville ha blitt aktivert under forsøkene.

Sikt måle-skiver, rømningsskilt og lommelykt

To rømningsskilt ble montert over vinduene og fem sikt måle-skiver ble hengt opp fra taket. Det ble også montert fem lommelykter på 500 lumen over målskivene, slik at en kunne bestemme når sikten forsvant. Dette var av interesse for å kunne måle sikt i løpet av forsøkene.

Videokamera

For å dokumentere forsøket og sikre muligheten for etteranalyse, ble en Apple iPhone 12 Pro Max strategisk plassert utenfor vinduet til testrommet. Dette gjorde det mulig å gjennomgå observasjonene i ettertid og skaffe bilde og videomateriale fra forsøkene.

Ventilasjonsanlegg for steng inne og trekk ut løsning

Ventilasjonsanlegget inneholdt:

Spirokanaler 160 millimeter diameter med tilhørende bend og skjøter.

Brannspjeld (fire damper FNC1 EI 60 S).

Styringsenhet til spjeld, for å stenge/åpne spjeld med bryter.

Kanalvifte, Östberg CK 160 B1 EC.

Avtrekkssventil 120 millimeter med 120-160 millimeter overgang.

Tilluftsventil 160 millimeter diameter

Manuelt spjeld med stenge/åpne funksjon, DTU spjeld Lindab.

Figur E.1 viser oversikt over materialer og utstyr til ventilasjonsanlegget. Alt ventilasjonsutstyr er sponset av Lindab AS.



Figur E.1: Oversikt over komponentene til ventilasjonsanlegget

Vedlegg F. Prosedyre testrom

Konstruksjonen besto av fire vegger: to langsider, den ene med tilhørende dør og to identiske kortsider med vindu. Veggene ble bygget med en solid ramme, bestående av konstruksjonsvirke, vindsperre, gipsplater, dør og vindu av plexiglass. Det benyttes 98×48 (millimeter) konstruksjonsvirke som stendere.

Det ble først konstruert en langside på 500 cm × 240 cm (b × h). For å bygge denne delen av strukturen, kaptas materialene i følgende lengder:

- 6 stk × 230 cm
- 2 stk × 500 cm
- 4 stk × 115 cm

Etter at materialene kaptas, montertes rammen ved å skru sammen delene. Det er viktig å ta hensyn til at gipsplater skal plasseres i intervaller på 60–120 cm. For å sikre at gipsplatene festes korrekt til stenderne, kan det monteres mindre spikerslag på stenderne slik at gipsplatene får tilstrekkelig feste i veggen. Døren ble plassert midt på den ene langsiden.

Deretter bygdes to kortvegger, som bygdes identisk, med plass til ett vindu midt på veggen. Følgende materialer ble benyttet for å kunne konstruere to kortvegger (konstruksjonsvirke 98×48):

- 4 stk × 220 cm
- 12 stk × 230 cm
- 2 stk × 115 cm
- 2 stk × 75 cm
- 2 stk × 40 cm
- 2 stk plexiglass

Rammen skruddes sammen med hensyn til at gipsplatene skal kunne festes i intervaller på 60–120 cm. Det må også sikres en stabil åpning i sentrum av veggen for vindusmontering. Ved behov kan ekstra støttestrukturer monteres for å styrke rammen rundt vinduet.

Videre ble den siste langsiden bygd. Denne veggen inkluderer en dør og krever følgende materialer:

- 2 stk $\times$ 500 cm
- 10 stk $\times$ 230 cm
- 1 stk dør med dimensjonene 88 cm $\times$ 208 cm (b $\times$ h)

Etter at materialene er kappet til riktig størrelse, ble rammen skrudd sammen. Det må tas hensyn til gipsplatens plassering, som normalt skal være med avstand på 60 cm. På enkelte steder var det nødvendig å tilpasse og kutte gipsplatene for å passe inn i rammen. For å sikre solid montering av gipsplatene, kan mindre spikerslag skrus fast på stenderne for ekstra støtte. Vindspærren ble plassert mellom rammeverket og gipsplatene, både på vegger og i tak.

For å sikre nøyaktige målinger under forsøkene ble følgende måleutstyr installert i konstruksjonen:

- Termoelementer i taket, for å måle temperaturutviklingen i testrommet.
- Siktmålingsskiver, som ble hengt opp i taket for å kunne vurdere hvor mye røyk som er til stede og hvordan den påvirker sikten.
- Rømningsskilt, for å kunne undersøke om disse er synlige ved dårlig sikt. Disse ble montert over observasjonsvindue.
- Lommelykt på 500 lumen, som vil gi en indikasjon på når sikten forsvinner. Disse ble hengt opp to meter over bakken fra taket.

Til slutt ble ventilasjonsanlegget satt opp og montert med hjelp av fagfolk. Det ble utført test med varmetrådsanemometer som målte mengde kubikkmeter med tilluft per time det var i ventilasjonskanalen inn i testrommet, som kan anvendes i FDS modellen i ettertid. Ventilasjonsanlegget innebærer i grove trekk:

- Tilluftsventil på veggen, som ble plassert i det ene hjørnet.
- Avtrekksventil på veggen, som ble plassert på motsatt side av tilluftsventilen.
- Kanaler, som skal føre røyken ut til avtrekksviften
- Brannspjeld, som stenger inne røyken i kanalene
- Styringsenhet til spjeld, som skal kunne aktivere spjeld for stenging og åpning ved utløst brannalarm.

Vedlegg G. Utstyrliste kalde forsøk

Røykmaskin

Røykmaskinen er produsert av Fiestas Guirca, og har et strømforbruk på 900-1000 Watt (se Figur G.1). Den har en oppvarmingstid på fem minutter, og har en avfyrringsdistanse på 6-8 meter. Røykmaskinen benytter seg av røykvæske, og lager et tynt, grått røyklag i et tett rom.



Figur G.1: Røykmaskin som ble benyttet under kalde forsøk.

Vedlegg H. Utstyrsliste varme forsøk

Verneutstyr

Gassmasker, oksygentank, vernebriller, hansker og dress ble brukt av observasjonspersonene i området. Det er en del giftige gasser som blir frigitt i de varme forsøkene, og derfor er det viktig å ikke inhalere for mye av dette. Observasjonspersonene som skal inn og ut av testrommet skal bruke utstyr med oksygentilførsel, da det er mye tett røyk på et lite volum.

Gassmåler

Gassmålerne som er beskrevet i *Ustyrsliste* for testrom ble benyttet i de varme forsøkene.

Slokkeutstyr

Det ble gjort klart brannslange og slokkeapparat i tilfelle det ble utviklet en større brann enn forventet.

Vekt

For å kunne finne ut av massetapet til brensløt, ble det brukt en vekt av typen KERN DS 60K0.2. Vekten måler i gram fra 0 til 60 000 (60 kilogram). Det er beskrevet en usikkerhet på $\pm 1,0$ gram.

Trepellets

Basert på preliminnære forsøkene ble trepellets trukket fram som et godt brennbart materiale som produserer en del tynn røyk, og har usynlige flammer.

EPS

EPS ble trukket frem som et godt brennbart materiale. EPS produserer mye svart røyk i forhold til vekt, og smelter raskt. Det er lett å utføre forsøk med, og kan representere andre typer plastikk materialer for dette forsøket. Siden det produserer mye svart røyk, kan det være interessant å sammenligne med grå røyk i henhold til sikt og gassnivå. Figur 4. viser hvordan oppsett av EPS skal se ut, hvor det er to biter som må kastes på underveis av forbrenningen.

Skummadrass

For å kunne utføre realistiske eksperimenter, har det blitt benyttet material som ofte er tilknyttet dødsbranner i Norge. Dette kan være på grunn av røyking med sigaretter, hvor personer mister det på madrassen, puten eller dynetrekket. Derfor vil dette bli testet i henhold til ventilasjon strategiene, om disse kan ha en effekt.

Datamaskin med logger

Siden gass nivå og temperatur var interessant å finne ut av, ble det benyttet datamaskin med logger.

Gipsplate med hull

En gipsplate med dimensjonene 70 cm × 70 cm (l × b) og med et hull med 7 cm i diameter.

Betongklosser

Det ble benyttet betongklosser for å bygge opp brannkaret over vekten og for å sikre oksygen tilførsel under ifra.