



Høgskulen på Vestlandet

Bacheloroppgave Brannteknikk (ING3037)

ING3037-BAC-2021-VÅR-FLOWassign

Predefinert informasjon

Startdato:	28-01-2021 09:00	Termin:	2021 VÅR
Sluttdato:	21-05-2021 12:00	Vurderingsform:	Norsk 6-trinns skala (A-F)
Eksamensform:	Bacheloroppgave		
SIS-kode:	203 ING3037 1 BAC 2021 VÅR		
Intern sensor:	(Anonymisert)		

Deltaker

Navn:	Isak Augestad
Kandidatnr.:	210
HVL-id:	577912@hvl.no

Informasjon fra deltaker

Tittel *:	Vannvegg som erstatning for brannvinduer mot svalgang
Antall ord *:	21032
Engelsk tittel *:	Water curtain as a replacement for fire rated windows in outside corridors

Sett hake dersom Ja
besvarelsen kan brukes
som eksempel i
undervisning?:

Egenerklæring * Ja
Inneholder besvarelsen Nei
konfidensielt
materiale?:

Jeg bekrefter at jeg har Ja
registrert
oppgavetittelen på
norsk og engelsk i
StudentWeb og vet at
denne vil stå på
vitnemålet mitt *:

Gruppe

Gruppenavn: B03
Gruppenummer: 2
Andre medlemmer i gruppen: Marius Valstad Torget, Morten Grimen

Jeg godkjenner avtalen om publisering av bacheloroppgaven min *

Ja

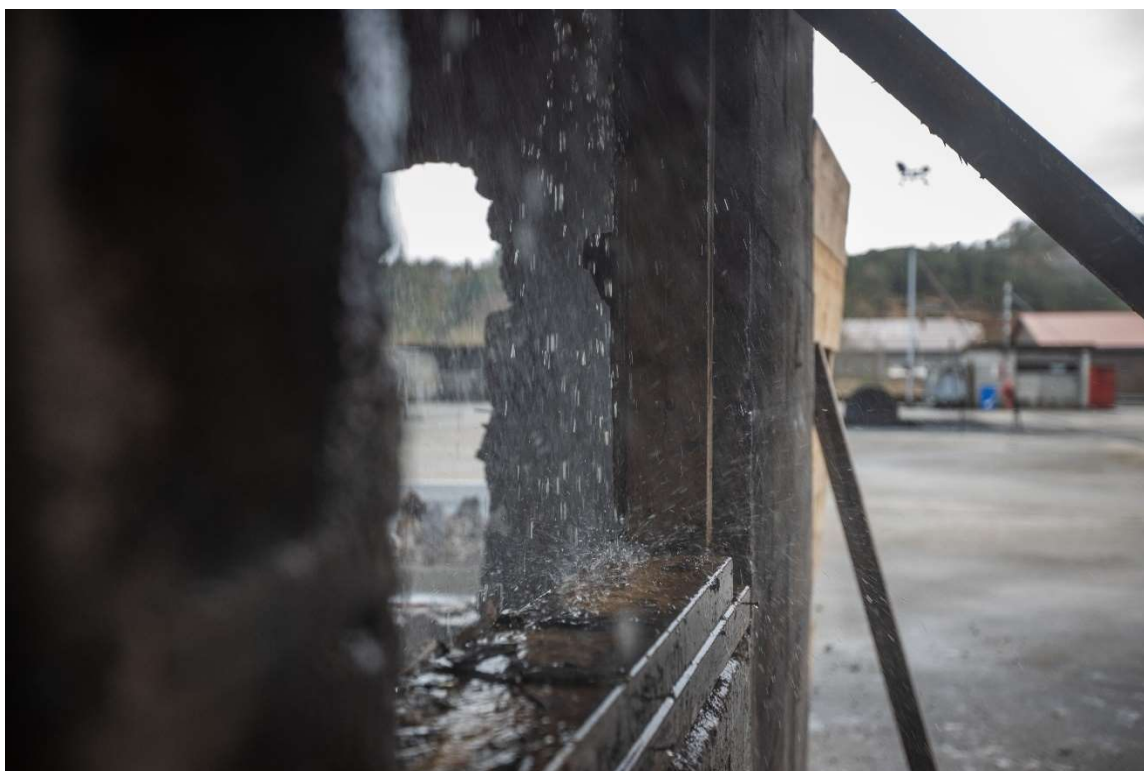
Er bacheloroppgaven skrevet som del av et større forskningsprosjekt ved HVL? *

Nei

Er bacheloroppgaven skrevet ved bedrift/virksomhet i næringsliv eller offentlig sektor? *

Ja, Q Rådgivning

Vannvegg som erstatning for brannvinduer mot svalgang



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskulen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Av:

Isak Augestad	Kand.nr: 210
Marius Torget	Kand.nr: 205
Morten Grimen	Kand.nr: 213

Haugesund

Våren 2021

BACHELORPROSJEKT

Studenten(e)s navn:	Isak Augestad Morten Grimen Marius Torget
Linje & studieretning	Bachelor i ingeniørfag, brannikkerhet

Oppgavens tittel: Vannvegg som erstatning for brannvinduer mot svalgang

Oppgavetekst:

Byggteknisk forskrift, TEK17 § 11-8 andre ledd, stiller krav til at brannceller skal være utført slik at de forhindrer spredning av brann og branngasser til andre brannceller i den tiden som er nødvendig for rømning og redning. Tilhørende preaksepterte ytelser i veiledning til forskriften angir at vinduer som er installert i brannbegrensende vegger skal ha samme brannmotstand som veggen de står i og vinduer med brannmotstand ikke skal kunne åpnes i vanlig brukstilstand. Samtidig stiller TEK17 § 13-4 andre ledd krav til at rom med varig opphold skal ha minst ett vindu eller én dør som skal kunne åpnes mot det fri og ut til uteluft.

Formålet med oppgaven er å se om etablering av vannvegg kan erstatte kravet til brannmotstand på vindu mot svalgang, og samtidig gi mulighet for at dette kan åpnes i vanlig brukstilstand. Oppgaven tar utgangspunkt i et scenario i et boligbygg i risikoklasse 4, hvor et soverom har vindu som tilslutter en svalgang som er rømningsvei.

Forsøk vil bli gjort for å se om et sprinklerhode som skaper en innvendig vannvegg foran et vindu uten brannmotstand vil kunne tilfredsstillte TEK17 § 11-8, samtidig som vinduet kan åpnes i normal bruk. Forsøkene vil bli gjort i et soverom på 2,3 x 3,3 m med vindusåpning på 1 x 1 m mot svalgang. Verdier målt i svalgangen vil bli vurdert mot akseptkriteriene for tålegrensene av røyk og varmestråling gitt i SN-INSTA/TS 950 for å se om dette kan være en mulig løsning for nevnt konflikt.

Endelig oppgave gitt: 26.02.21
Innleveringsfrist: Fredag 21. mai 2021 kl. 12.00
Intern veileder: Kristian Grimstvedt
Ekstern veileder: Thor Inge Lie
Emailadresse : til@q-rad.no

Godkjent av studieansvarlig:
Dato:

Frederik Henningsen
22.04.21

Forord

Denne rapporten leveres som en avsluttende bacheloroppgave for tre branningeniør-studenter ved Høgskulen på Vestlandet, avg. Haugesund. Oppgaven ble skrevet vårsemesteret 2021 og bygger på lærdommen fra studietiden og videre kunne utdype seg i ønsket fagfelt. Oppgaven vektlegges med 20 studiepoeng og leveres som en rapport med plakat og video-produkt samtidig som den fremvises på presentasjon med sensur.

I forbindelse med rapporten ønsker vi å takke:

Thor Inge Lie

Ekstern veileder, Q Rådgivning. Tusen takk for en interessant bacheloroppgave og god oppfølging og motivasjon gjennom hele semesteret. Vi har lært utrolig mye av oppgaven, og har satt stor pris på hvor tilgjengelig du var når nye utfordringer viste seg. Det er klart at du og Lars Ove er dyktige branningeniører som vet hva dere gjør, og gav oss ett godt inntrykk av Q Rådgivning.

Kristian Grimstvedt

Intern veileder, HVL. Tusen takk for god oppfølging og god faglig kunnskap gjennom hele semesteret. Det var også til god hjelp med hvor lett tilgjengelig du var, håper vi ikke tok for mye tid fra deg bort fra familien. Vi setter også stor pris på hvor grundig du gikk gjennom det første utkastet av rapporten. Du oppdaget viktige elementer som vi hadde oversett, og hjalp oss skrive en oppgave vi er stolte av å presentere. Det var også til stor hjelp at vi fikk teste ut forskjellige sprinklerhoder ved arbeidsplassen din, KIWA, før vi bestemte oss for et hode som hadde passende spredningsmønster for vårt bruk.

Arjen Kraaijeveld

Bacheloransvarlig, HVL. Du hjalp oss med alt fra forsøksoppsett, kjøring av senger og innkjøp av materialer samtidig som du bidrog med godt faglig innspill og god hjelp med å kaste inn brensel på alle forsøkene. Tusen takk for alt du bidrog med, og håper du kommer til å ha god bruk for tilhengeren i flere år til.

Richard Alber

Daglig leder, GW Sprinkler. Thank you very much quickly providing us with more than enough sprinklerheads, and for putting up with our questions at the beginning. Your help really kickstarted the project. I hope this report can be at some help for you too.

RESQ Haugesund

Takk for at vi fikk ta over vår lille del av området deres, selv når dere hadde kurs like i nærheten. Alle vi møtte på var utrolig hyggelige og imøtekommende.

Vi håper rapporten virker opplysende og gir ekstra kunnskap til leseren rundt en mulig alternativ løsning for brannsikring av vinduer i svalgang som blir brukt som rømningsvei.



Isak Augustad



Marius Torget



Morten Grimen

Innholdsfortegnelse

Symboler	viii
Tekniske begreper	ix
Sammendrag	xi
Summary	xii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling og formål	2
1.3 Tidligere arbeid	2
1.4 Hypotese	2
1.5 Begrensninger og antagelser	3
2 Teori	4
2.1 Brannteori	4
2.1.1 Aggregattilstander	4
2.1.2 Forbrenning	4
2.1.3 Brannfaser og vekstkurven	5
2.1.4 Brannenergi	6
2.1.5 Varmeproduksjon	7
2.1.6 Varmetransport	7
2.1.7 Røyklaget og røykspredning	8
2.1.8 Nøytralplan og trykkforskjeller	8
2.1.9 Rombrann	9
2.2 Klassifisering av brannmotstand	10
2.2.1 Preaksepterte ytelser for brannmotstand i svalgang	11
2.3 Automatiske sprinklere	11
2.3.1 Vindusprinkler	12
2.3.2 Vannvegg	12
2.3.3 Bruk av standarder for dimensjonering av sprinklere	12
2.4 Byggteknisk forskrift	12
2.4.1 Brannbegrensende bygningsdeler	12
2.4.2 Ventilasjon	13
2.4.3 Rømningsvei	13
2.5 Rømningstid	13
2.5.1 Nødvendig rømningstid (RSET)	14

2.5.2	Tilgjengelig rømningstid (ASET)	15
2.6	Tålegrense	15
2.6.1	Branngasser	15
2.6.2	Sikt	15
2.6.3	Temperatur	15
2.6.4	Varmestråling	16
3	Metode	17
3.1	Romtemperatur i samsvar med ISO 834	17
3.2	Akseptkriteriet for menneskelige tålegrenser	17
3.3	Forsøksrom	18
3.3.1	Vindu	19
3.3.2	Drenering	20
3.4	Svalgangen	20
3.5	Sprinklerutstyr	21
3.5.1	Røroppsett	21
3.5.2	Sprinklerhodet	23
3.5.3	Vannforbruk og trykk	25
3.6	Brensel	27
3.6.1	Startbrensel	28
3.6.2	Brensel underveis	29
3.7	Måleutstyr	30
3.7.1	Datalogger	30
3.7.2	Kamera	30
3.7.3	Termoelementer	30
3.7.4	Platetermometer	31
3.7.5	Vannmåler	33
3.7.6	Måling av sikt	33
4	Forsøksoppsett	35
4.1	Sammenligningsforsøk, forsøk 1	35
4.2	Sprinkler uten vindu installert, forsøk 2	35
4.3	Sprinkler med vindu installert med 45° åpning, forsøk 3 og 4	36
4.4	Oppsummering av de forskjellige forsøksoppsettene	38
5	Resultater	39
5.1	Forsøk 1 - Sammenligningsforsøk, ingen vindu eller sprinkler	39
5.1.1	Varmestråling	41

5.1.2	Sikt i tiden for rømning.....	42
5.2	Forsøk 2 - Sprinkler som vannvegg uten vindu	42
5.2.1	Varmestråling.....	43
5.2.2	Sikt i tiden for rømning.....	44
5.2.3	Vannforbruk	45
5.3	Forsøk 4 – Sprinkler som vannvegg med halvåpent vindu	45
5.3.1	Varmestråling.....	47
5.3.2	Sikt i tiden for rømning.....	47
5.3.3	Vannforbruk	48
5.4	Forsøkene sammenlignet.....	48
5.4.1	Temperaturene sammenlignet	48
5.4.2	Varmestråling sammenlignet	49
5.4.3	Sikt sammenlignet.....	51
5.4.4	Vannforbruk sammenlignet.....	52
6	Diskusjon	53
6.1	Drøfting av forsøksresultatene	53
6.1.1	Romtemperatur.....	53
6.1.2	Varmestråling.....	53
6.1.3	Evaluering av sikt.....	54
6.1.4	Resultatene sammenlignet med hypotesen.....	54
6.2	Sprinklerhode utsatt for brukerfeil.....	55
6.3	Det optimale sprinklerhodet for oppgaven er ikke benyttet.....	55
6.4	Allerede installert boligsprinkler	55
6.4.1	Spredemønster og aktivering påvirket?.....	55
6.5	Annen utfordring med åpne vinduer i rømningsveien	56
6.6	Feilkilder	56
6.7	Videre arbeid.....	57
7	Konklusjon.....	59
8	Litteraturliste.....	60
9	Vedlegg.....	I
9.1	Vedlegg A – Beregninger	II
9.1.1	Beregninger av brannenergi, startbrensel.....	II
9.2	Vedlegg B – Liste over brensel benyttet.....	V
9.2.1	Forsøk 1	V
9.2.2	Forsøk 2	V

9.2.3	Forsøk 3	VI
9.2.4	Forsøk 4	VII
9.3	Vedlegg C – Liste over siktevaluering.....	IX
9.3.1	Forsøk 1	IX
9.3.2	Forsøk 2	IX
9.3.3	Forsøk 3	IX
9.3.4	Forsøk 4	X
9.4	Vedlegg D – Liste over vannforbruk	XII
9.4.1	Verdier lest av vannmåleren før og etter forsøkene	XII
9.5	Vedlegg E – Tilleggsresultater.....	XIV
9.5.1	Forsøk 3 – Kontrollforsøk -Sprinkler som vannvegg med halvåpent vindu	XIV
9.5.2	Sammenligning av alle kanaler for alle forsøksoppsettene	XVIII
9.6	Vedlegg F - Datablader	XXIX
9.6.1	Sprinklerhode datablad	XXIX
9.6.2	Termoelement datablad.....	XXXII
9.6.3	PTHFM datablad.....	XXXIII
Tabeller		XXXIV
Figurliste		XXXIV
Bilder		XXXV

Symboler

Symboler	Beskrivelse	Enhet
A_0	Åpningsareal	m^2
A_f	Areal	m^2
A_t	Omhyllingsflate	m^2
D	Diameter	m
E	Utstrålt energi	W/m^2
$F_{1,2}$	Konfigurasjonsfaktor	[-]
H	Høyde	m
H_g	Åpningshøyde	m
h	Konvektiv varmeoverføring	W/m^2K
ΔH_c	Forbrenningsenergi	MJ/kg
$\Delta H_{c,luft}$	Forbrenningsenergi luft	MJ/kg
k	Varmeledningsevne	W/mK
k	Konstant for ganghastighet	m/s
L_v	Fordampningsvarme	J/Kg
\dot{m}	Massetapsrate	W/m^2
\dot{m}''	Massefluks	W/m^2
N_h	Nøytralplan høyde	m
\dot{Q}_E''	Stråleflux fra omgivelsesoverflate	W/m^2
\dot{Q}_F''	Varmeflux i brenseloverflaten	W/m^2
\dot{Q}_L''	Varmetap fra ISO rom	W/m^2
\dot{q}''	Energitransport pr. areal	W/m^2
\dot{q}_R''	Motsatt stråleenergi	W/m^2
T	Temperatur	$^{\circ}C, K$
T_0	Start temperatur	$^{\circ}C, K$
ΔT	Temperaturdifferanse	$^{\circ}C, K$
t	Tid	s
t_p	Tid det tar før personen føler smerte	s
Δx	Tykkelse	m
ε	<i>Emissivitet</i>	[-]
Ψ_i	Forbrenningsfaktor	[-]
X	Forbrenningseffektivitet	[-]
σ	Boltzmann konstant	$5,67 \cdot 10^{-8} W/m^2K^4$
φ	Synsfaktor	[-]
k_{pc}	Termisk treghet	W/mK
$k\beta$	Materialkonstant for flytende brensel	I/m

Tekniske begreper

Aggregattilstand	Aggregattilstandene er de fire tilstandene et stoff kan være i. Fast stoff, flytende, gass og plasma. [1]
Akseptkriteriet	Et nivå på en egenskap som avgjør om en teknisk eller administrativ løsning kan aksepteres. Et akseptkriterie er fastsatt på grunnlag av oppsatt mål og kan uttrykkes med ord eller være tallfestet.
Bi-produkter	Sot, CO og uforbrente hydrokarboner som oppstår når det ikke er tilstrekkelig oksygen og/eller høy nok temperatur under forbrenning. [2]
Branncelle	En hel eller avgrensede del av et byggverk hvor en brann fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre bygninger eller deler av byggverket i den tiden som er nødvendig for rømning og redning. [1]
Brannklasse (BK)	Brannklasse er en kategori som går fra 1-4, og blir bestemt ut fra hvilken konsekvens en brann kan ha for liv, materiale, miljø og helse. Brannklassene er grunnlaget til prosjektering og utførelse for å gi tilstrekkelig brannsikring til et byggverk.
Brannsikringstiltak	Brannsikringstiltak er tiltak gjort for å oppbevare brannsikkerheten. Tiltakene deles inn i <i>passive-</i> og <i>aktive brannsikringstiltak</i> . Et passivt brannsikringstiltak er tiltak som er «innebygd» i konstruksjonen, og krever ikke aktivering ved et branntilfelle [3], eksempelvis konstruksjoner med brannmotstand. Aktive brannsikringstiltak er tiltak som aktiveres ved deteksjon av brann, eksempelvis et sprinkleranlegg eller alarmsystem
Diffusjonsflamme	I en diffusjonsflamme skjer forbrenningen samtidig som de brennbare gassene og oksygenet i luften blandes.
Eksoterm prosess	Kjemisk reaksjon eller faseforandring som avgir varme. [1]
Fluider	Fellesbetegnelse for væske, gass og plasma.
Fraviksløsninger	Alternative løsninger til de som er beskrevet i veiledningen til byggteknisk forskrift. Krever dokumentasjon som sier at funksjonskravene blir oppholdt og gir dermed lik eller bedre sikkerhet enn preaksepterte løsninger. Dette kan gjøres med analyser og beregninger.
Funksjonskrav	Overordnet målsetning eller oppgave som skal oppfylles.
Forblandet flamme	Forbrenningen mellom brennbare gasser og oksygenet i luften blandes sammen før det blir utsatt for en tennkilde. Dette resulterer i en mer fullstendig forbrenning og avgir derfor mindre bi-produkter enn en diffusjonsflamme.
ISO	International Organization for Standardization. En organisasjon som har utviklet standarder for de aller fleste sektorer.
K-faktor	K-faktoren er en utslippskoeffisient som på et sprinklerhode forklarer hvor mye vann som kommer gjennom sprinklerhodet

<i>Perfekt svart legeme</i>	Et tenkt legeme som absorberer all form av lys og varmestråling.
<i>Preakseptert løsning</i>	Løsninger gitt av Direktoratet for byggkvalitet som vil oppfylle, eller bidra til å oppfylle, ett eller flere funksjonskrav i den byggtekniske forskriften. [4] Se i sammenheng med begrepet <i>funksjonskrav</i> over.
<i>Termisk tregghet</i>	Produktet av overflatens eller gassens densitet, varmeledningsevne og varmekapasitet.
<i>TEK 17</i>	Forskrift om tekniske krav til byggverk 2017, gitt i medhold av lov om plan og byggesaksbehandling.
<i>VTEK 17</i>	Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk 2017, gitt i medhold av lov om planlegging og byggesaksbehandling.
<i>Ytelseskrav</i>	Tekniske, bruks- eller miljømessige kvaliteter, kapasiteter eller egenskaper hos byggverk, bygningsdeler, installasjoner eller utearealer.

Sammendrag

I Norge er det svært populært å bygge svalganger for å beskytte beboere mot vær og vind på vei inn til boenheten. Svalganger som benyttes som rømningsvei skal være like sikre som andre rømningsveier, og må derfor oppfylle samme funksjonskravene som andre rømningsveier gitt i byggt teknisk forskrift (TEK17). Dette kan innebære at brannklassifiserte vinduer må brukes, som gis preaksepterte ytelser om at ikke skal kunne åpnes i vanlig brukstilstand. Dette kan skape en konflikt mot kravet om ventilasjon gitt i TEK17 § 13-4 andre ledd som sier at *rom med varig opphold skal minst ha ett vindu eller én dør som skal kunne åpnes mot det fri og til uteluft.* [4]

Opgaven har som formål å undersøke i hvilken grad etablering av en vannvegg foran et åpent vindu tilsluttet en svalgang kan oppnå tilfredsstillende rømningsforhold. Det ble utført tre fullskala forsøksoppsett for å se virkningen av tiltaket alene og sammen med et to-lags glassvindu installert med 45 graders åpning. Varmestråling og sikt ble målt for å se om forsøkene holdt seg innenfor akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser gitt i *SN-INSTA/TS 950*. Et forsøk ble utført uten tiltak som dannet et sammenligningsgrunnlag.

For forsøkene gjort med vannvegg sammen med et helt åpent vindu, stiltes det en hypotese om at både varmemestrålingen mot svalgangen og dårlig sikt grunnet røykoppsamlingen vil være kraftig redusert i forhold til ingen slike tiltak. Det er derimot fortsatt forventet at påkjønning av varmemestrålingen vil være høyere enn hva akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser tillater. Det er også antatt at vannveggen ikke vil være et godt nok tiltak alene for å hindre at røyken unnslipper rommet, og vil dermed gi dårlig sikt i rømningsveien. Ved bruk av tiltaket sammen med et halvåpent to-lags glassvindu, er det antatt at både varmemestrålingen og siktkriteriet vil være oppfylt.

Det ble benyttet et forsøksrom med tilnærmet like dimensjoner som et *ISO 9705* rom, tilknyttet en svalgangskonstruksjon. Et rønnett ble installert for å tillate installasjon av et sprinklerhode 20 cm over vindusåpningen hvor et sprinklerhode av typen GW Sealed Window Drencher som er produsert som en vindusprinkler er brukt. Ettersom det var ønskelig å danne en vannvegg på innsiden av vinduet er sprinklerhodets installasjonsinstrukser blitt neglisjert mot å oppnå denne effekten.

Rombrannen for forsøkene ble dimensjonert etter tid-temperaturkurven gitt i *ISO 834* som er forsøkt å opprettholdes gjennom bruk av ekstra brensel underveis.

Varmestrålingen ble målt ut fra tre platetermometere i svalgangen, plassert 1,2 m unna vinduet. For å evaluere sikten ble det gjort observasjoner ut fra videoopptak hvor tidspunkter for brudd av akseptkriteriet ble notert ned.

Resultatene fra forsøkene tyder på at vannveggen har en reduserende effekt for varmemestrålingen, og holder seg innenfor akseptkriteriet for kortvarig strålingsintensitet gjennom hele brannforløpet, selv uten vindu installert. Dette tillater for at forbipasserende kan eksponeres for det helåpne vinduet i over 7 sekunder, og det delvis åpne vinduet i over 16 sekunder når rombrannen er på sitt verste.

Sikten gjennom svalgangen er vurdert i løpet av de første 15 minuttene av hvert forsøk, hvor det ser ut til at tiltaket ikke har særlig effekt på forbedringen av sikt.

Grunnet begrenset antall forsøk utført, bør oppgavens funn derimot tolkes kritisk.

Summary

Building gallery corridors is very popular in Norway to protect residents from weather and wind on their way into their housing unit. Galleries used as escape routes needs to be just as safe as other escape routes and must therefore meet the same functional requirements given in *byggteknisk forskrift* (TEK17). This may mean that fire-rated windows must be used, which are given pre-accepted criteria to not be able to be opened in normal use. This creates a conflict with the requirement for ventilation given in TEK17 § 13-4 second paragraph which states that *rooms with permanent residence shall have at least one window or one door that can be opened to outdoor air.* [4]

The purpose of this thesis is to investigate the extent to which the establishment of a water curtain in front of an open window connected to the gallery corridor can achieve acceptable escape conditions. Three full scale experimental setups were carried out to see the effect of the water curtain by itself and together with a two-layered glass window installed with a 45-degree opening. Heat radiation and vision were measured to see if the experiments remained within the acceptance criteria for human tolerance limits given in *SN-INSTA/TS 950*. An experiment was also made without any measures that formed a basis for comparison.

For experiments performed with a water curtain together with a completely open window, it was hypothesized that both the heat radiation towards the gallery and the bad visibility due to the smoke accumulation would be greatly reduced in relation to no such measures. On the other hand, it is still expected that the measured heat radiation will be higher than what the accept criteria for human tolerance limits allow. It is also not assumed that the water curtain will be a good enough measure alone to prevent the smoke from escaping the room and will therefore also provide poor visibility in the escape route. When paired together with a semi-open two-layer glass window, it is assumed that both the heat radiation and the visibility criteria will be met.

A test room with almost the same dimensions as an *ISO 9705* room was used, connected to a gallery construction. A pipe network was installed to allow for the installation of a sprinkler head, 20 cm above the window opening. The sprinkler head used for the experiments was of the type of GW Sealed Window Drencher which is produced as a window sprinkler. Since it was desirable to form a water curtain in front of the window, the sprinkler heads install instructions was neglected to achieve this effect.

The enclosure fire in the experiments was dimensioned according to the time-temperature curve given in *ISO 834* which has been attempted to keep maintained using extra fuels along the way.

The heat radiation was measured from three plate thermometers in the hallway, placed 1.2 m away from the window. To evaluate the visibility, observations were made based on video recordings where times for breaches of the accept criteria were noted down.

The results from the experiments indicate that the water curtain has a reducing effect towards the heat radiation and stays within the accept criteria for short-term radiation intensity throughout the course of the fire, even without a window installed. This allows people passing to be exposed to the fully opened window for over 7 seconds, and the partially open window for over 16 seconds when the enclosure fire is at its worst.

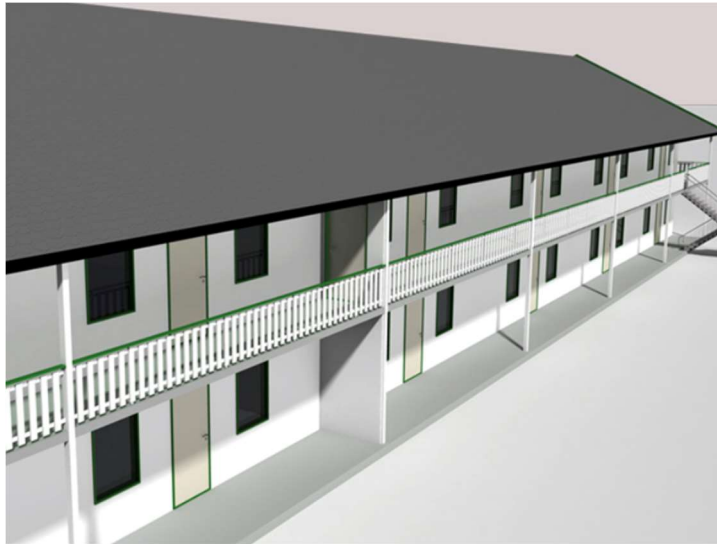
The visibility through the passage is assessed during the first 15 minutes of each experiment, where it appears that the measure has no significant effect on the improvement of visibility.

Due to the limited number of experiments performed, the findings of the thesis should be interpreted critically.

1 Innledning

I Norge har det vært svært populært å bygge svalganger for å beskytte beboere mot vær og vind på vei inn til boenheten. Da det blant annet ikke stilles krav til brannmotstand i utvendige vegger, vil en svalgang være en økonomisk løsning som også vil kunne gi godkjente løsninger for rømningsveier.

Benevnelsen «svalgang» er brukt for en åpen atkomstvei langs en fasade som er minst én etasje over bakkeplan som er overdekket og derfor skjermet mot regn og vind, se Figur 1.



Figur 1 – Svalgang som rømningsvei illustrert [4]

1.1 Bakgrunn

Veiledningen til byggt teknisk forskrift (VTEK17) § 11-14 gir preaksepterte ytelser om hvordan rømningsvei skal utformes for å opprettholde sikkerhet ved brann. Denne spesifiserer at en svalgang skal være mest mulig åpen for å tillatte røyk- og branngass til å naturlig kunne ventilere bort fra rømningsveien. I følge nevnt veiledning, er det antatt at en 50 % åpning vil være tilfredsstillende for å oppfylle denne ytelsen.

Svalganger som benyttes som rømningsvei skal være like sikre som andre rømningsveier. Dette innebærer at også enkelte yttervegger som tilslutter svalgangen må være av branncellebegrensende konstruksjoner. Dette kravet gjør ofte at rom for varig opphold som har tilslutning til svalgangen må benytte branncellebegrensende konstruksjoner inklusive brannklassifiserte vinduer i samme brannmotstand som ikke skal kunne åpnes i vanlig brukstilstand som spesifisert i § 11-8. For rømningsveier i en slik situasjon, vil dette da videre påvirke utførelsen av funksjonskravet om ventilering i byggt teknisk forskrift (TEK17) § 13-4 andre ledd. Dette kravet sier at minst ett vindu eller én dør skal kunne åpnes mot det fri og til uteluft.

For å kunne opprettholde brannsikkerheten, blir ofte de preaksepterte ytelsene for brannklassifiserte vinduer installert, slik at andre løsninger for ventilering må bli brukt.

1.2 Problemstilling og formål

Oppgaven har som formål å undersøke i hvilken grad etablering av vannvegg foran et vindu i en svalgang som blir brukt som rømningsvei kan hindre varmestråling og røyk til å påvirke evakuerende utenfor. En slik løsning kan gi mulighet for åpning av dette i vanlig brukstilstand og dermed også oppfylle kravet gitt i TEK17 § 13-4.

Det finnes allerede sprinklere som er bygget ned under vinduskarmer og laget spesielt for å speile vannet direkte på vindusoverflaten for å kunne kjøle den ned ved en potensiell brann. Dette skal gi vinduer i herdet glass en brannmotstand på opptil flere timer, men krever at vinduet ikke kan åpnes, som da gir samme problemstilling som nevnt for vinduer med brannmotstand og ventilering.

1.3 Tidligere arbeid

Følgende rapporter omhandler utfordringer ved rømning i en svalgang.

“Er det mulig å rømme forbi åpne vinduer i svalgang ved brann?”

Rapporten undersøker hvor ulik lysåpning og hengsling av et brannvindu vil påvirke klimaet i en svalgang med tanke på akseptkriteriet for menneskelige tålegrenser. Det ble gjort totalt 5 forsøk med forskjellig hengslinger og størrelse på lysåpning. Resultatene viser at et vindu med brannmotstand vil kunne ha 10 cm lysåpning og fremdeles ha akseptable forhold i svalgangen, mens 15 cm lysåpning viser til uakseptable forhold. [5] Rapporten har ikke vektlagt sikt som et av akseptkriteriene, men viser at reduksjon av vindusåpningen vil påvirke varmestråling.

Studentrapporten har blitt brukt som inspirasjon for forsøksoppsettet.

«En risikovurdering ved bruk av svalgang som rømningsvei»

Rapporten undersøker ulike scenarier ved rømning i svalgang gjennom simuleringsverktøy. Deler av rapporten ser på effekten av bolig sprinkler i svalgang og branncelle tilknyttet svalgang med vindu. Resultatene fra rapporten viser tilfredsstillende brannsikkerhet hvis det er installert boligsprinkler eller et vindu med brannmotstand.

Rapporten er brukt som inspirasjonskilde for innhold og fokusområde.

1.4 Hypotese

Med utgangspunkt i problemstillingen ble påfølgende hypoteser satt opp innledningsvis mot virkningen av en vannvegg foran et vindu.

For forsøkene gjort med vannvegg sammen med et helt åpent vindu, er det antatt at både varmestrålingen påkjent på andre siden av vindusåpningen og sikten grunnet røykopsamlingen vil være kraftig redusert i forhold til ingen slike tiltak. Forventet påkjenning av varmestråling vil fortsatt være høyere enn hva akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser, gitt av *SN-INSTA/TS950* tillater. Det er heller ikke antatt at vannveggen vil være et godt nok tiltak alene til å hindre at røyken unnslipper rommet, og vil derfor også gi dårlig sikt i rømningsveien.

Det er antatt at et vindu med to-lags glass skal kunne åpnes og fortsatt holde akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser hvis en vannvegg er plassert bak vinduet og vinduet har en maks åpning på 45 grader. Dette antas da vindusåpning vil dempe røykhastigheten og skape en liten oppsamling av røyk på den indre siden av vinduet for så å stige direkte opp til taket før den ventileres ut fra siden av svalgangen uten å hindre sikten for evakuerende. Vannveggen vil da kunne dempe temperaturen på røyken som er samlet i vindusåpning og dermed også dempe mengden varmestråling som kan påkjennes for evakuerende. Det stilles dermed en hypotese om at akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser vil være oppfylt hvis vinduet har en maks åpning på 45 grader.

1.5 Begrensninger og antagelser

Boligbygg	Oppgaven tar for seg en rombrann som skjer i et boligbygg, og har ikke vurdert muligheten for at løsningen også kan etableres i kontorbygg eller industribygninger.
Luftkvalitet	Selv om oppgaven fokuserer på å kunne gi ekstra luftventilering og fortsatt beholde en tilfredsstillende brannsikkerhet for evakuerende er det ikke gjort noe evaluering av luftkvaliteten i forsøksrommet. Dette vil variere ut fra rommets dimensjoner og bruk.
Ingen svikt	Et sprinkleranlegg kan sviktes av forskjellige årsaker hvor dårlige rutiner og andre menneskelige feil ofte kan være en faktor. I forsøkene gjort er det antatt at sprinklersystemet aldri svikter og dermed gir ønsket effekt hver gang.
Eneste sprinklerhodet	Ved et reelt scenario, ville det trolig allerede vært installert en boligsprinkler i midten av rommet som skal kunne dempe energien frigitt av brannen og ville ha kontrollert brannen til en viss grad. Da oppgaven ønsker å se effekten av vannvegg som eneste beskyttende faktor for vinduet, er denne neglisjert.
Akseptkriteriene	Rapporten sammenligner resultatene fra forsøkene med akseptkriteriet for sikt og varmestråling fra <i>SN-INSTA/TS 950</i> [6]. Samme akseptkriteriet stiller også krav til giftighet fra gassene som oppstår under brannforløpet og temperaturen i rømningsveien. Da det ikke var tilgang på utstyr for måling av giftighet, er dette kriteriet blitt antatt som godkjent ut fra svalgangens ventilasjonsmuligheter. Temperaturen er også antatt å være godkjent ut fra de gode ventilasjonsmulighetene. [7]
Kun to scenarier	Forsøkene tar for seg et helåpent vindu, og et vindu med 45 graders åpning, men ingenting imellom. Dette sees på en begrensning da det er mulig at en mindre åpning vil kunne gi mer tilfredsstillende resultater.
Installasjon av vindu	Forsøkene er bare gjort med vinduer som er topphengslet på alle forsøkene. Bunnhengslet- eller sidehengslet vindu er derfor ikke testet.

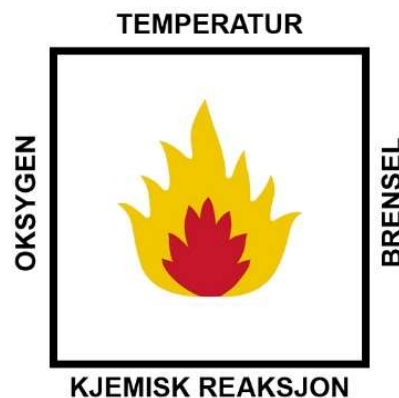
2 Teori

I dette kapittelet blir det gitt en kort forklarelse av grunnleggende brannteori, automatiske sprinklere og generell informasjon som er nødvendig for at leseren har grunnleggende forståelse om for å kunne lese og forstå oppgaven.

2.1 Brannteori

Brannfirkanten, Figur 2, er en illustrasjon som ofte blir benyttet for å forklare grunnleggende brannteori. De fire sidene symboliserer faktorer som er nødvendige for at en brann skal kunne oppstå og opprettholdes. Det vil kreve en riktig blanding av oksygen og brensel for en varmeutviklende kjemisk reaksjon kan oppstå. Denne reaksjonen er definisjonen på en brann.

Dette prinsippet brukes for slokking av brann ved å enten hindre tilgang til brensel, senke temperaturen, kvele flammene eller forstyrre den kjemiske reaksjonen ved blant annet bruk av halon baserte apparater. [8]



Figur 2 - Brannfirkanten

2.1.1 Aggregattilstander

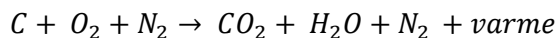
Brenselet kommer hovedsakelig i tre aggregattilstander: fast stoff, væske eller gass. For at et fast stoff eller en væske skal brenne, krever det en omdannelse over til gassfase. En væske vil kunne bli brennbar gass ved å fordampe, hvor faste stoffer ofte må smeltes først for så å fordampe. Dette med unntak når sublimasjon eller kjemisk spaltning oppstår som da frigjør gasser direkte fra fast stoff.

2.1.2 Forbrenning

En forbrenning er en eksoterm kjemisk reaksjon mellom et stoff og oksygen, hvor en brann er en kjemisk reaksjon med et inngående karbonbasert materiale (C). Dette produserer karbondioksid (CO_2), vann (H_2O) og energi (*varme*) sammen med bi-produkter som karbonmonoksid (CO) og sot.

2.1.2.1 Fullstendig forbrenning

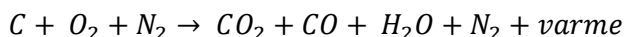
I en fullstendig forbrenning vil det være tilstrekkelig med oksygen for at alle karbonatomene går over til CO_2 og ingen bi-produkter blir produsert. Dette resulterer i en blåaktig ild av særlig høye temperaturer.



En fullstendig forbrenning er umulig å produsere i reelle forhold, men en kan blande luft og gass før den blir utsatt for en tennkilde for å skape en forbrenning uten særlig bi-produkter. Dette kalles en forblandet flamme.

2.1.2.2 Ufullstendig forbrenning

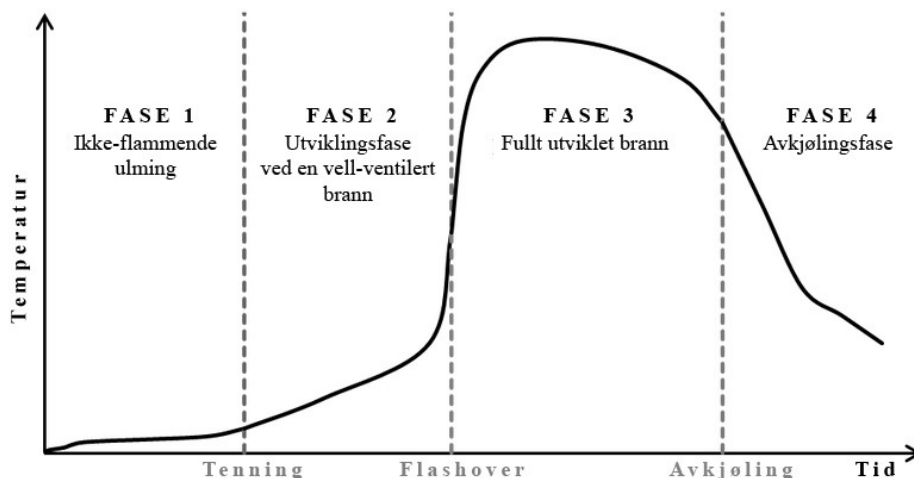
En ufullstendig forbrenning er det motsatte av en fullstendig forbrenning, hvor karbonatomene ikke har tilstrekkelig nok oksygen og gir derfor bi-produkter som CO og sot.



En ufullstendig forbrenning i en brann vil være gjenkjennelig med sine røde, oransje eller gule farger som er et resultat av veldig fine sotpartikler som blir produsert i flammen.

2.1.3 Brannfaser og vekstkurven

Hele brannforløpet oppsummeres i tre hovedfaser; utviklingsfase, fullt utviklet brann og en avkjølingsfase. Det kan også oppstå branner som starter i en tidligere fase, kalt ulmebrann. Dette er en brann uten flamme eller utsendelse av lys, hvor forbrenningen skjer direkte i det faste stoffet.



Figur 3 - Vekstkurve- og faser ved brann

2.1.3.1 Utviklingsfasen

Utviklingsfasen starter ved antennelse og vil kunne utvikles til en mulig overtenning hvis det er tilgang på nødvendig brensel og oksygen.

2.1.3.1.1 Brenselstyrt brann

Hvis en brann har rikelig med oksygen, men en minkende tilgang på brensel vil brannen kunne slukke av seg selv, dette kalles en brenselstyrt brann.

2.1.3.1.2 Ventilasjonsstyrt brann

En brann med rikelig tilgang på brensel, men begrenset tilgang på oksygen kalles en ventilasjonsstyrt brann.

En ventilasjonsstyrt rombrann kan ende opp med å bruke opp oksygenet i rommet som da etter hvert vil kunne forårsake at brannen slukker av seg selv om ikke introdusert til ny mengde oksygen. Dette kalles en overmetning. [9]

2.1.3.1.3 Overtenning og backdraft

En overtenning skjer når alt brennbart materiale i rommet har gått over til gassfase, og tar del i brannen. Dette skjer som regel når overflatene når temperaturer på rundt 300-400°C, men varierer på materialets antennelsestemperaturer. Overtenning skjer som regel når røyklaget har en temperatur på over 600°C og strålefluksen på gulvnivået ligger på rundt 20 kW/m². [10]

En brann kan også få en kraftig plutselig økning av energi som gjør at brannen går direkte fra utviklingsfasen til fullt utviklet rombrann. Denne energien skjer ofte ved en introduksjon til mer oksygen i form av knuste vinduer eller åpnede dører, som da forårsaker en eksplosjon, dette blir kalt et backdraft.

2.1.3.2 Fullt utviklet brann

Når overtenning har skjedd går brannen over til å bli fullt utviklet brann. Temperaturene vil ofte ligge på rundt 900°C, men vil variere fra forbrenningstemperaturen, ventilasjonsforholdene og varmeledningsevnen til de materialene som er involvert i forbrenningen.

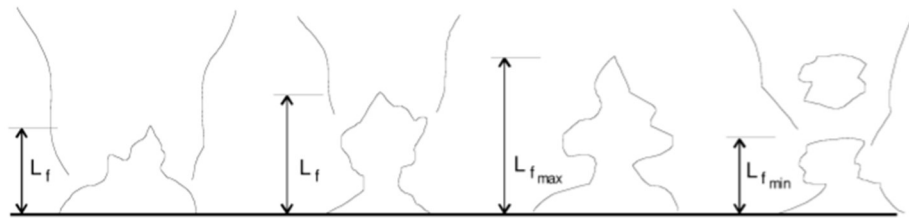
2.1.3.3 Avkjølingsfase

Når det brennbare materialet eller oksygentilførelsen begrenses, vil brannen gradvis avta og slukkes. Dette blir rettslig kalt avkjølingsfasen. Varigheten av denne fasen vil variere ut fra hvor raskt brannen utvikler seg, hvor mye brennbart materiale som gjenstår og tilgjengeligheten av oksygen. [1]

Brannen kan gå direkte fra første fase til avkjølingsfasen hvis det ikke er tilstrekkelig tilgang på oksygen, brensel eller høy nok temperatur.

2.1.3.4 Glatt- og turbulentflamme

En mindre flamme, som for eksempel fra et talglys, vil være en diffusjonsflamme som oppleves som glatt. Dette vil si at flammen er laminær og lett kontrollerbar i motsetning til en turbulent flamme som er en uforutsigbar flamme som vil beveger seg mye. En turbulent flamme blir benevnt som en flamme med dannelse av flere eddies langs ytterlaget, som er små virvler av vind som ventilerer flammen fra alle kanter. Selv om måten flammen beveger seg på er nokså tilfeldig, vil den periodisk nå topp- og bunnhøyde med en frekvens på 1 og 3 Hz, altså 3 ganger i sekundet. [11]



Figur 4 - Endring av turbulent flamme [11]

2.1.4 Brannenergi

Brannenergi (MJ) er summen av varmemengden som frigis ved forbrenning av alle brennbare materialer i et område. [12]

For beregning av brannenergi i et bygg må alt brennbart innhold i bygningen omfattes, inkludert kledning og innredninger. [12] Netto brennverdi (H_{ui}) og mengden (ΣM_i) av de ulike type materialene som ligger i området er derfor av interesse.

For lukkede rom med brannbeskyttelse som er dimensjonert for å tåle påkjennelsen, telles dette ikke med i brannenergiregnskapet. Det legges heller til en beskyttelsesfaktor (Ψ_i) for de beskyttede materialene ut ifra hvor god man antar at beskyttelsen er. [4]

$$Q_{fi,k} = \Sigma M_i \cdot H_{ui} \cdot \Psi_i = \Sigma Q_{fi,k,i} (MJ) \quad (2.1)$$

Det vil videre være mulig å beregne ut den spesifikke brannenergien (MJ/m^2), som ser på den totale brannenergien per arealenheter i en branncelle.

$$q_{fi,k} = \frac{Q_{fi,k}}{A} \left(\frac{MJ}{m^2} \right) \quad (2.2)$$

Hvilken arealenhet som blir brukt vil variere ut ifra hvilken metode eller standard som ligger til grunn. Omhyllingsflaten kan brukes, hvor summen av arealet av gulv, tak og vegger er tatt med i betraktning, eller så kan bare arealet av gulvflaten brukes. Veiledningen til TEK17 bruker omhyllingsflaten. [12]

2.1.5 Varmeproduksjon

Energiproduksjonen (\dot{Q}) fra en brenselskontrollert brann blir beskrevet med massetapsrate (\dot{m}), forbrenningseffektivitet (χ), brenseloverflate (A_f) og forbrenningsvarme (ΔH_c). [11]

$$\dot{Q}_F = \dot{m} \cdot \chi \cdot A_f \cdot \Delta H_c \quad (2.3)$$

2.1.6 Varmetransport

Varmetransport er overførselen av varme gjennom et medium eller materiale. Dette skjer gjennom tre forskjellige måter, varmeledning (konduksjon), varmestrømning (konveksjon) eller varmestråling.

2.1.6.1 Varmeledning

Varmeledning, eller konduksjon, er varmeoverførselen som skjer når det er ulik temperatur i deler av stoffet og temperaturen jevnes ut etter tid. Evnen til å lede varme gjennom et stoff kan måles og angis som stoffets spesifikke varmeledningsevne, eller dens termiske konduktivitet. En høyere konduktivitet gir bedre evne til å lede elektrisitet og varme. [1]

Tabell 1 - Konduktivitet i ulike stoffer. [13]

Materiale	Konduktivitet ($W/K \cdot m^2$)
Sølv	420
Aluminium	230
Stål	50
Betong	1 – 0,3
Tre	0,2 – 0,1

Konduksjon kan føre til brannspredning ved å lede varme gjennom vegger og andre overflater slik at temperaturen på den ikke-branneksperte siden kan bli høy nok til antennelse av brennbart materiale.

2.1.6.2 Varmestrømning

Varmestrømning, eller konveksjon, er metoden for varmeoverførsel som skjer gjennom en strøm av fluider. En røyksky som oppstår fra en brann, vil kunne lede den høye temperaturen fra brannen videre ut til rommet og kan antenne vegger og annet brennbart materiale.

2.1.6.3 Varmestråling

Når røykskyen har spredt seg rundt i rommet og samlet høy nok temperatur, vil materialer som ikke er i nærheten av flammen også kunne antenne, selv om materialet ikke er i kontakt med røykskyen. Dette er et resultat av varmestrålingen som nå har varmet opp stoffet over dens antennelsestemperatur.

Varmestråling er den mest dominerende varmetransportsmetoden ved en fullt utviklet brann, hvor styrken avhenger av fire ulike faktorer; konfigurasjonsfaktor ($F_{1,2}$), emissivitet (ϵ), arealet (A) og temperatur (T).

$$\dot{Q}_{1,2}'' = F_{1,2} \epsilon \sigma AT^4 \quad (2.4)$$

- Konfigurasjonsfaktoren ($F_{1,2}$) er en dimensjonsløs faktor som sier hvor stor del av strålingen som kommer fra en flate til en annen. Denne varierer ut fra avstanden, utforming og vinkelen mellom flatene. [11]

- Emissiviteten (ϵ) forklarer et legemes strålingsevne, og kan variere mellom 0 til 1, hvor 1 er høyest og lik den energien som et svart legeme ved samme temperatur ville ha sendt ut.
- Stefan-Boltzmanns konstanten (σ) er proporsjonalitetskonstanten for Stefan-Boltzmanns lov som beskriver hvordan utstrålt effekt per areal fra et termisk svart legeme vokser med en fjerde potens av den absolutte temperaturen til gjenstandens overflate. Denne konstanten er lik $5,6703 \cdot 10^{-8} \text{ W}/(\text{m}^2\text{K}^4)$.
- Arealet (A) til overflaten som avgir strålingen, gitt i m^2 .
- Temperaturen (T) er den absolutte temperaturen til legemet, gitt i Kelvin.

2.1.7 Røyklaget og røykspredning

Når røyken forlater flammen, vil det dannes en oppdrift av varm røyk, direkte over flammen, dette kalles en røyksøyle eller røykplum. Oppdriften forårsakes av den høye temperaturen i røyken som gir den en lavere tetthet enn den kalde luften som omringer den. Tettheten til røyken avtar gradvis des lengre avstand fra flammespissen den har grunnet nedkjøling fra ny luft som kommer inn i systemet. I lukkede rom med begrenset ventilasjon, vil det være mindre avkjøling som gir en dårligere forbrenning til flammen. Dette forårsaker høyere temperaturer i røyklaget samtidig som det øker konsentrasjon av sot og giftige gasser. [14] Når røyken når takhøyden, sprer den seg raskt ut mot alle retninger inntil den stoppes av vegger, eller andre hindringer. Røyken vil gradvis fylle rommet og sive ut gjennom åpninger som ventilasjon, vindu eller lignende. Dette kan forårsake forurensning av luften utenfor brannens opprinnelse og mulig starte brannspredning i andre deler av bygget og/eller utenfor bygget.

Det er mange forskjellige modeller som viser røykspredningen, men alle modellene viser hvordan røyken stiger opp i taket i en V-form fra et område rundt brannens opprinnelse. De vanligste røykmodellene er den ideelle røyksøylen, oppdriftsstyrt asymmetrisk røyksøyle og Heskestad-Zukoski modellen. Den største forskjellen mellom disse modellene er hvordan utregningen gjøres. [11]

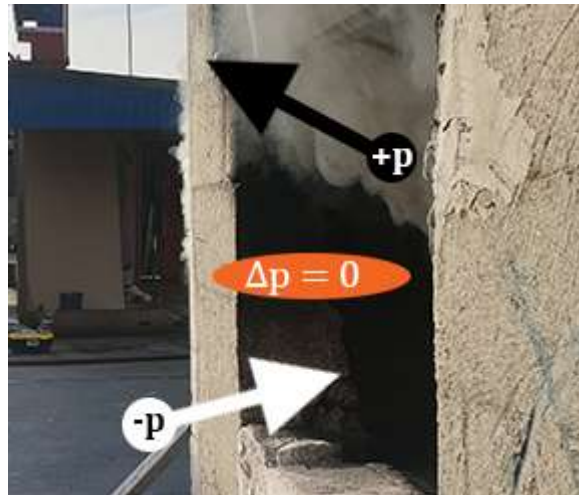
2.1.7.1 Sotproduksjon

Sot er bi-produkter som kommer fra ufullstendige forbrenninger og forårsaker dårlig sikt gjennom flammen og røyklaget. Røyklaget vil variere noe i farge og tykkelse ut fra brenselets egenskap til å produsere sot. Produkter som gir en renere forbrenning, slik som metanol, vil avgi mindre sot og dermed også forårsake mindre synlig røyk i motsetning til stoffer som råolje. [14] Produksjonen av sot blir vanligvis uttrykt som en andel av brannraten, mengden brensel som brenner pr. sekund, og blir målt som gram/gram eller som en prosentdel.

2.1.8 Nøytralplan og trykkforskjeller

Under et brannforløp vil de varme gassene fylle rommet, og trykket inne i rommet øker. Dette gjør at rommet får et høyere trykk enn omgivelsene på utsiden og røyk vil forsøke å forlate systemet gjennom en åpning. En slik åpning, kan være et vindu, døråpning eller liknende.

Den varme røyken som forlater systemet vil unnsnippe fra oversiden av åpningen, samtidig som fersk luft kommer inn i systemet fra undersiden. I en høyde av åpningen vil de varme gassene og den kalde luften møtes og en netto-null trykkforskjell oppstår. Dette området, hvor luften står stille, kalles et nøytralplan. [11]



Bilde 1 - Nøytralplanet

2.1.9 Rombrann

En brann i et lukket område vil få en ekstra energitilførsel (Q_E) fra røyklaget som er oppsamlet i taket grunnet varmestråling, men en del av denne energitilførselen vil også forsvinne når røyken siver ut fra rommet (Q_L). På grunn av den ekstra energien tilført, vil brenselet ha en hurtigere massetapsrate (\dot{m}) enn en brann i det fri. Massetapsraten kan beskrives ved følgende formel.

$$\dot{m} = \frac{(\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L'')}{L_v} \cdot A_f \quad (2.5)$$

L_v er energikravet som brenselet har for å skifte aggregattilstand til gassform. Overflate arealet (A_f) er arealet som blir eksponert for forbrenningen. [15]

Den økte massetapsraten og energitilførselen fører til en økt energiproduksjon som kan resultere i en kjedereaksjon hvor fenomener som selvantennning, flashover og backdraft kan oppstå.

2.2 Klassifisering av brannmotstand

Byggteknisk forskrift stiller krav om at byggverk skal være prosjektert og utført slik at tilfredsstillende sikkerhet for personer, materielle verdier og miljø-/samfunnsmessige forhold blir bevart.

Byggevarer og bygningsdeler blir tildelt en klassifisering for dens brannmotstand og funksjon ut fra den europeiske standarden *NS-EN 13501-2*. Forkortelsene for de forskjellige funksjonene er oppsummert i tabellen nedenfor.

Tabell 2- Brannklassifisering av bygningsdeler og konstruksjoner

Forkortelse	Betydning
R	<i>Bæreevne</i> . Evnen bygningsdelen har til å bevare tilstrekkelig bæreevne under spesifikke mekaniske laster ved brann på én eller flere sider i en bestemt tidsperiode. [16]
E	<i>Integritet</i> . Evnen en bygningsdel med skillefunksjon har til å motstå branneksposering på bare én side uten at brannen overføres til den ueksponte siden som følge av gjennomgang av flammer eller varme gasser. Disse kan forårsake at enten den ueksponte overflaten eller et materiale nær denne overflaten antennes. [16]
I	<i>Isolasjonsevne</i> . Evne til å motstå branneksposering på bare én side uten at brannen overføres som følge av betydelig overføring av varme fra den eksponte siden til den ueksponte siden. Overføringen skal begrenses slik at hverken den ueksponte overflaten eller noe materiale nær overflaten antennes. [16]
W	<i>Stråling</i> . Bygningsdelens evne til å motstå branneksposering på bare én side for å redusere sannsynligheten for at en brann overføres som følge av betydelig strålevarme enten gjennom bygningsdelen eller fra dens ueksponte side mot tilstøtende materialer. [16]
M	<i>Mekanisk motstand</i> . Bygningsdelens evne til å motstå støt, som representerer de tilfellene der konstruksjonssvikt i en annen komponent i en brann forårsaker støt på den aktuelle bygningsdelen. [16]
C	<i>Selvlukking</i> . Evnen til en åpen dør eller et åpent vindu til å lukkes helt i tilhørende karm og utløse eventuelle monterte fastholdingsinnretninger, uten menneskelig påvirkning, ved hjelp av lagret energi eller kraft fra strømmettet som er sikret med lagret energi i tilfelle strømbrudd. [16]
S	<i>Røyketetthet</i> . Bygningsdelens evne til å redusere eller eliminere gjennomgang av gass eller røyk fra den ene siden av bygningsdelen til den andre. [16]
G	<i>Motstand mot «sotbrann»</i> . Bygningsdelens evne til å motstå sotbranner. [16]
K	<i>Brannbeskyttende evne</i> . Den brannbeskyttende evnen en kledning på vegg eller i himling har til å beskytte materialet bak kledningen mot antenning, forkulling og annen skade i en spesifisert tidsperiode. [16]

Branntekniske krav til byggevarer følger også Euroklassesystemet hvor de er beskrevet etter den europeiske klassifiseringsstandard *EN 13501-1* og oppsummeres under tre kategorier

1. Konstruksjonsprodukter
2. Gulvbelegg
3. Lineære rørisolasjonsprodukter

Konstruksjonsproduktene testes i henhold til internasjonal standard hvor tid til overtenning, varmeavgivelse og brannutbredelse måles. Kriteriebrudd blir betraktet som «for stor brannutbredelse og for høy varmeproduksjon oppstår». [17]

Tabell 3 - Brannklasser for andre bygningsprodukter

Forkortelse	Betydning
A1	Ubrennbart materiale
A2	Materiale med svært begrenset brennbarhet
B	Brennbart materiale, men gir svært begrenset bidrag til brannen. Minst 20 minutter til kriteriebrudd.
C	Brennbart, men gir begrenset bidrag til brannen. Minst 12 minutter til kriteriebrudd.
D	Brennbart, men gir akseptabelt bidrag til brannen. Minst 10 minutter til kriteriebrudd.
E	Krav til begrenset antennelighet. Brennbart, men gir akseptabelt bidrag til brannen. Minst 2 minutter til kriteriebrudd.
F	Uklassifisert produkt

Samlingen av bokstavene som gjelder for gitt material eller bygningsdel, blir etterfulgt av et tall. Dette tallet representerer, i minutter, hvor lenge det er beregnet til å kunne tåle en designbrann ut fra standardens kriterier.

2.2.1 Preaksepterte ytelser for brannmotstand i svalgang

Svalganger skal utføres med materialer og konstruksjoner som begrenser brannspredningen og ivaretar krav til sikker rømning. Preaksepterte ytelser for konstruksjoner og overflater i svalganger varierer ut fra brannklassen den er plassert i, Tabell 4 viser preaksepterte ytelser for vanlige boligbygninger. [18]

Tabell 4 - Bygningsdeler svalgang [18]

Bygningsdel	BK 1 (to etasjer)	BK 2 (tre og fire etasjer)	BK 3 (mer enn fire etasjer)
Svalgangsdekke	REI 30	REI 60 ¹⁾	REI 60 A2-s1,d0 ¹⁾
Søyler	R 30	R 60 ¹⁾	R 90 A2-s1,d0 ¹⁾
Branncellebegrensende yttervegg	EI 30	EI 60	EI 60 A2-s1,d0
Overflate yttervegg mot svalgang	B-s3,d0	B-s3,d0	B-s3,d0 ²⁾
Kledning i rømningsvei	K ₂ 10 B-s1,d0	K ₂ 10 A2-s1,d0	K ₂ 10 A2-s1,d0
Underside av dekke/himling	B-s3,d0	B-s3,d0	B-s3,d0
Gulv/overside av dekke	D _{fl} -s1	D _{fl} -s1 ³⁾	D _{fl} -s1 ³⁾
Rekkverk	B-s3,d0	A2-s1,d0	A2-s1,d0

¹⁾ Typiske løsninger er massive konstruksjoner i betong eller lette stålkonstruksjoner med brannbeskyttelse

²⁾ Forslag til ny, preakseptert ytelse for bygninger på mer enn 8 etasjer: A2-s1,d0

³⁾ Overflaten på gulvet bør ha brannteknisk klasse A2-s1,d0

2.3 Automatiske sprinklere

Et riktig utformet og installert boligsprinklersystem kan oppdage og kontrollere en brann i en tidlig utviklingsfase og utløse en brannalarm. Når systemet aktiveres, reduserer det raskt varme- og røykutviklingen, noe som gir beboerne mer tid til å evakueres eller reddes. [19] Erfaringer fra hele verden viser at 97 % av alle branner slukkes eller kontrolleres i bygninger hvor sprinkleranlegg er installert. [20]

Sprinkleranlegg blir derfor ofte brukt som kompensierende tiltak under analysebasert brannteknisk prosjektering for å gi økt tilgjengelig rømningstid eller redusere nødvendig rømningstid.

2.3.1 Vindusprinkler

Spesielle dyser blir også laget for å bli installert ved vindusoverflater. Disse har en flate som vannet speiles på og videre fører vannet direkte til vinduet. Dette gir en konstant flyt av vann som dekket vindusoverflaten og kjøler ned vinduet som da kan gi en ekstra brannmotstand på rundt 2 timer. [21] Dette kan derfor også være en tilfredsstillende løsning for brannvindu hvor denne brannmotstanden er ønskelig.

2.3.2 Vannvegg

En vannvegg er som navnet foreslår, en vertikal vegg laget av vann hvor hovedmålet er å stoppe brannspredning fra et område til et annet. Det er flere metoder å bruke en vannvegg på, hvor brannvesenet kan koble en spesiell dyse på enden av en brannslange som ligger langs bakken og lager en høy vegg av vann som kan hindre en husbrann til å smitte over til nærliggende bygg. For dette bruksområdet brukes det utstyr som kan bruke over 1000 liter vann i minuttet med høyt trykk for å få ønsket effekt.

For å få effekten av en vannvegg i et sprinkleranlegg, kan en slik dyse også monteres i takhøyde. En sprinklerdyse som speiler vannet direkte nedover uten å dekke stort horisontalt areal blir benyttet slik at det kan hindre brannspredning mellom de to sidene av vannveggen.

2.3.3 Bruk av standarder for dimensjonering av sprinklere

Standarder er gitt for å sikre at installerte sprinklersystemer gir ønsket effekt gjennom hele livssyklusen. Disse standardene innebærer hvordan sprinkleranlegget skal dimensjoneres, installeres og vedlikeholdes.

I Norge ble det utarbeidet egen standard i 2009, NS-INSTA 900-1, denne norske standarden har i senere tid blir utfaset og erstattet av den europeiske standarden *NS-EN 16925:2018+NA:2019 Faste brannsløkkesystemer – Automatiske boligsprinklersystemer – Dimensjonering, installering og vedlikehold*. [22]

2.4 Byggteknisk forskrift

Byggteknisk forskrift, TEK17, stiller flere funksjonskrav som må oppfylles for at et byggverk skal kunne oppføres lovlig i Norge. Et par godkjente løsninger for å oppfylle disse funksjonskravene er videre gitt i forskriftens veiledning, VTEK17.

Det kan også være ønskelig å bruke andre løsninger enn de preaksepterte løsningene som er spesifisert i veiledningen. En slik løsning blir kalt en fraviksløsning, hvor det må vises til analyser som viser at disse nye løsningene er like gode, eller bedre enn ytelseskravene gitt i forskriften.

2.4.1 Brannbegrensende bygningsdeler

Kapittel 11 i TEK17 spesifiserer sikkerhet ved brann hvor § 11-8 sier at brannceller skal være utført slik at de forhindrer spredning av brann og branngasser til andre brannceller i den tiden som er nødvendig for rømning og redning. [4] Veiledningen spesifiserer videre hvilke egenskaper som er ønsket for veggene.

Veiledningen gir også preaksepterte ytelser om at vindu med brannmotstand ikke skal kunne åpnes i vanlig brukstilstand og at det må ha samme brannmotstand som veggen de står i, med et par spesielle unntak gitt i tabell 3, tilgjengelig i TEK17, § 11-8, andre ledd. Dette da spredning av brann fra et vindu og videre til yttervegg eller brennbart tak ofte er en vanlig årsak til brannspredning.

2.4.2 Ventilasjon

Samtidig som forskriften sier at brannvinduer ikke skal kunne åpnes, stiller den også krav til inneklima og helse i kapittel 13, hvor § 13-4 gir krav til luftventilering av boligbygninger. Kravene for luftventilering kan derfor være en utfordring i boliger hvor brannvinduer må installeres.

2.4.3 Rømningsvei

I henhold til krav gitt i TEK17 § 11-14 stilles det krav til at rømningsveier skal være utført som egne brannceller. Dette gjør at soverom og andre nærliggende rom til svalgangen ofte må sikres med brannbegrensende vegger som da også innebærer bruk av brannvinduer i enheter som er vendt mot svalgangen.

2.4.3.1 Svalgang brukt som rømningsvei

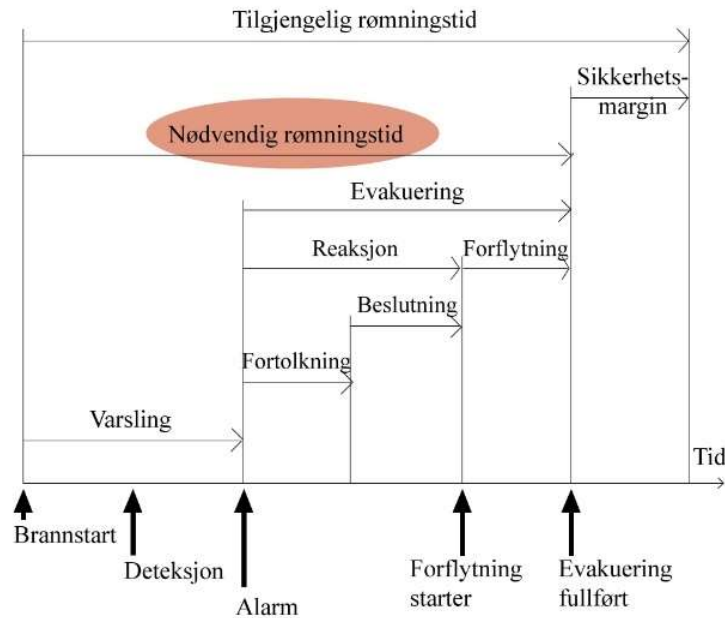
Svalganger som strekker seg over 5,0 m skal ifølge TEK17 § 12-6 femte ledd punkt b ha minst fri bredde på minimum 1,5 m. I svalganger som strekker seg over 30 m gis det preaksepterte ytelser om at det skal være møteplasser tilgjengelig som tillater to rullestolbrukere å passere hverandre. Møteplassen skal ha bredde minst lik 1,8 m og skal strekke seg over minimum 2 m lengde. For svalganger som er under 5,0 m uten dører stilles det krav til minimum 1,2 m fri bredde.

Flere preaksepterte ytelser for svalgang brukt som rømningsvei stilles i VTEK17 § 11-14 første ledd punkt b, hvor det blant annet sies at følgende skal være utfyllt:

- Svalgang skal utføres slik at de tilfredsstillende forutsetningene om to uavhengige rømningsveier med mindre branncellene også har direkte utgang til sikkert sted. Svalgang må derfor ha minst to trapper til terreng, en i hver ende og avstanden mellom trappene må ikke overstige 60 meter.
 - For byggverk i brannklasse 1 hvor det er tilrettelagt for bruk av vindu som rømningsvei, kan det være tilstrekkelig med én trapp hvis det er maks 15 meter avstand fra dør i branncelle til trappen og det ikke rømmes forbi uklassifiserte vinduer i annen branncelle.

2.5 Rømningstid

Rømningstiden kan deles opp i to deler, hvor nødvendig rømningstid er den totale tiden det tar fra brannstart til alle evakuerende er ute av bygningen, og tilgjengelig rømningstid er den tiden det tar fra brannstart til det blir kritiske forhold i bygget. Den totale tilgjengelige rømningstiden inneholder den nødvendige rømningstiden sammen med en tillagt sikkerhetsmargin.



Figur 5 - Sammenheng mellom ulike begreper knyttet til rømningstid [23]

2.5.1 Nødvendig rømningstid (RSET)

Nødvendig rømningstid summerer opp den tiden det tar for evakuerende å flykte fra den risikoutsatte bygningen eller seksjonen og adderer tid for menneskelige faktorer som å måtte fortolke signaler og varsle andre før forflytning skjer. Dette blir omtalt som «*Required Safe Egress Time*», altså, RSET.

For å finne RSET kan det brukes hydrauliske beregninger som ser på mennesker i en rømningssituasjon som en strømning hvor det begrensende elementet er den utslagsgivende faktoren.

$$RSET = t_d + t_n + t_{p-e} + t_e \quad (2.6)$$

t_d : Tid fra antenning til deteksjon

t_n : Tid fra deteksjon til brannalarm

t_{p-e} : Tid fra alarm til deltakere starter evakuering

t_e : Tid fra starten av evakuering til alle er evakuert til sikkert sted

For å finne tiden for evakuering beregnes forflytningstiden som det tar å gå til utgangen av branncellen, t_{gang} , og den tiden det tar å passere gjennom døren eller åpningen ut av branncellen, $t_{dør}$.

$$t_{forflytning} = t_{gang} + t_{dør} = \frac{L}{v} + \frac{N}{F_c} \quad (2.7)$$

Maksimal lengde det evakueres gjennom (L), antall personer som skal passere åpningen (N), beregnet strømningsrate (F_c) og ganghastighet (v) må da vites. Ganghastigheten beregnes videre ut fra persontettheten og stigningen i terrenget, men standardverdier blir brukt for personer med nedsatt

funksjonsevne med lav persontetthet. Dette spesifiseres til å være 1 m/s for horisontalt terreng, og 0,33 m/s for trapper. [24]

Det finnes dataverktøy som hjelper med å gjøre slike beregninger med flere ulike faktorer og gir en normalfordeling av rømningstiden, inkluderende menneskelige begrensninger som handikap, alder og beruselse. [25] Ved datasimuleringer blir også skulderbredden til evakuerende tatt til betraktning, hvor programvare som Pathfinder benytter standard skulderbredde på 18 tommer (~ 0,46 m). Denne skulderbredden baseres ut på dimensjonene for den menneskelige figuren. [26]

2.5.2 Tilgjengelig rømningstid (ASET)

Den tilgjengelige rømningstiden, «*Available Safe Egress Time*» (ASET), forklarer den tiden det tar for et gitt område oppnår kritiske tilstander. Slike tilstander er forklart under akseptkriteriet for menneskelige tålegrenser, gitt i Tabell 6 under Metode.

For å finne ASET er det mulig å bruke avanserte dataverktøy for å simulere et scenario eller brannforsøk med det gitte tiltaket. Datasimuleringer vil hovedsakelig være estimer, grunnet brannens kompleksitet av ulike faktorer som turbulens, sot produksjon, trykkforskjeller og liknende. Likevel vil simuleringer ofte bli benyttet over gjentatte tidskrevende og kostbare forsøk i den virkelige verden. Det stilles per i dag ingen absolutte minimumskrav for sikkerhetsmarginen, men må bestemmes ut fra erfaringsbaserte vurderinger i hvert enkelt tilfelle. Sikkerhetsmarginen skal alltid være et positivt tall, hvor det tas betraktning til at minst ett tiltak eller én forutsetning for den beregnede nødvendige eller tilgjengelige rømningstiden feiler. [23]

2.6 Tålegrense

For å bedømme virkningen på løsningen i rapporten blir det utført forsøk som stilles mot akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser gitt i *SN-INSTA/TS 950*. Disse kriteriene skal danne et grunnlag for å se om sikkerheten til evakuerende vil være bevart.

2.6.1 Branngasser

Ufullstendige forbrenninger vil ofte oppstå ved rombranner og forårsaker at reststoffer som karbonmonoksid og karbondioksid blir produsert sammen som oksygenivået reduseres. Karbonmonoksid er en giftig gass som fester seg til røde blodlegemer og hindrer kroppen i å ta opp oksygen. Karbondioksid er ikke skadelige i lave konsentrasjoner, men kan forårsake økt pustefrekvens som vil øke inntaket av andre reststoffer. Ved høyere konsentrasjoner kan oksygenet fortrenses, og pusteproblemer kan oppstå.

2.6.2 Sikt

Intensjonen med akseptkriteriet for sikt er å sikre at det er minst én mulig vei med tilfredsstillende sikt i den tiden som er nødvendig for rømning. [23] Sikten er avhengig av sotproduksjonen i brannen, hvor sotpartiklene som oppstår under brannforløpet påvirker hvor tett røyken blir og dermed sikten gjennom rømningsveien. Ved redusert sikt grunnet røyk gjennom en rømningsvei kan ulike faremomenter skjules i røyken som kan forårsake personskader ved evakuering. Redusert sikt vil også gi økt usikkerhet blant evakuerende og nødvendig rømningstid økes.

2.6.3 Temperatur

Ved brann i nærliggende rom kan temperaturen øke i rømningsveien, hvor evakuerende kan utsettes for blant annet brannskader og heteslag. For å unngå dette settes akseptkriterier rundt temperaturen i området.

Brannskader kan ofte forekomme ved omgivelsestemperaturer over 120 °C, men vil blant annet variere ut fra luftfuktighet og vindforhold. Ettersom svalganger skal være åpne mot uteluft, vil det derfor tillate naturlig ventilering og tilgang på vind som kan redusere skadene.

Heteslag kan forekomme ved økt kjernetemperaturer, hvor en indre kroppstemperatur over 42,5 °C vil være dødelig uten behandling innen få minutter. [27] Alvorlige indre brannskader er kun vanlig ved luftfuktigheter over 10 % som vist i Tabell 5, eller ved omgivelsestemperaturer over 300 °C. Varme gasser som har høy luftfuktighet kan gi alvorlige indre skader helt ned til omgivelsestemperaturer rundt 100 °C [27].

2.6.4 Varmestråling

Varmestråling vil være den dominerende typen av varmetransport som er påkjent av evakuerende i en rømningsvei hvor evakuerende ikke er utsatt direkte for flammer. Varmestrålingen vil kunne varme opp hudtemperaturen slik at brannskader kan oppstå. Førstegradsforbrenninger oppstår ved hudtemperaturer over 51 °C, hvor andregradsforbrenninger skjer som regel ved en hudtemperatur høyere enn 58 °C. Oppvarmingen av huden vil variere ut fra faktorer som for eksempel personens bekleddning. Temperaturen mot naken hud blir beregnet ut fra formel 2.8, hvor forventet varmestråling og evakueringstid er av interesse. [27]

$$T - T_0 = \frac{2Q\sqrt{t}}{\sqrt{\pi kpc}} \quad (2.8)$$

T = Hudtemperatur (K)

T_0 = Hudtemperatur i starten (K)

Q = Varme tilførsel (W/m^2)

kpc = Termisk treghet 1.05 (W/mK)

t = Tid (s)

Tabell 5 – Menneskelige tålegrenser for tid eksponert ifølge SFPE [25]

Varmestrålingsmetode	Intensitet	Eksponeeringstid
Stråling	<2,5 kW/m^2	>5 min
	2,5 kW/m^2	30 s
	10 kW/m^2	4 s
Konvektiv	<60 °C 100% luftfuktighet	>30 min
	100 °C < 10 % H ₂ O	12 min
	120 °C < 10 % H ₂ O	7 min
	140 °C < 10 % H ₂ O	4 min
	160 °C < 10 % H ₂ O	2 min
	180 °C < 10 % H ₂ O	1 min

3 Metode

For å kunne svare på oppgaveteksten, ble det gjort tre forskjellige forsøk med ett fjerde forsøk som kontrollforsøk. Disse forsøkene ble gjort for å kunne observere virkningen av et sprinklerhode som lager en vannvegg foran et delvis- eller helåpent vindu mens en fullt utviklet rombrann oppsto på et soverom.

Forsøkene ble utført på lukket område ved RESQ Haugesund med godt tilsyn fra RESQ-representant fra Høgskulen på Vestlandet, Arjen Kraaijeveld.

3.1 Romtemperatur i samsvar med ISO 834

Da et brannforløp vil være avhengig av mange variabler, blir det ofte heller benyttet standardiserte former for branndimensjonering. *ISO 834* er en av de vanligste standardene som blir brukt i dag, hvor dens tid-temperaturkurve setter standarden for kvantifisering av temperaturpåkjenning gjennom et fullstendig brannforløp. Temperaturene i kurven representerer et forhold som ofte vil være mer belastende i forhold til temperaturer i en konvensjonell brann. [11] Temperaturen varierer ut fra tiden, hvor formel 3.1 blir brukt. Temperaturen er gitt i Kelvin.

$$T = 20 + 345 \cdot \log(8t + 1) \quad (3.1)$$

Forsøkene utført i rapporten har forsøkt å opprettholde temperaturer lik, eller høyere enn, temperaturene gitt i *ISO 834* og resultatene for temperatur vil derfor sammenlignes med denne tid-temperaturkurven som videre vil bli referert til som ISO-kurven.

3.2 Akseptkriteriet for menneskelige tålegrenser

Verdiene hentet fra forsøkene stilles opp mot akseptkriteriene for menneskelige tålegrenser gitt i Tabell 6 som er hentet fra *SN-INSTA/TS 950*. Varmestrålingen ble evaluert ut fra den kortvarige strålingsintensiteten da evakueringstiden gjennom det utsatte området vil være kort. Kriteriet for sikt varierer mellom bruksområde og areal. Oppgaven baserer seg på en svalgang som brukes som rømningsvei og ser på kriteriet for 2,0 m sikt i 10 m høyde.

Luftkvaliteten er ikke blitt målt grunnet mangel av instrument, hvor akseptkriteriet for giftigheten i rømningsveien er antatt godkjent ut fra svalgangens naturlige ventilasjonsmuligheter, se punkt ²⁾ i Tabell 6. Kriteriet for temperatur er også antatt godkjent ut fra svalgangens ventileringsmuligheter.

Tabell 6 - Akseptkriterier for menneskelige tålegrenser [23]

Parameter	Akseptkriterier
Sikt	Minst 3,0 m i hodehøyde i startbranncelle med areal $\leq 100 \text{ m}^2$ Minst 10 m i 2,0 m høyde i rømningsveier og brannceller med areal $> 100 \text{ m}^2$ Sikt som alternativt bestemmes som røykfri høyde på $1,6 \text{ m} + 0,1 \cdot H$, hvor H er romhøyden i meter, kan være et alternativt akseptkriterium.
Varmestråling ⁽¹⁾	Kontinuerlig strålingsintensitet $\leq 2,5 \text{ kW/m}^2$ Kortvarig strålingsintensitet $\leq 10 \text{ kW/m}^2$ dersom samlet varmemstråling ikke overstiger 60 kJ/m^2
Temperatur	$\geq 80 \text{ }^\circ\text{C}$
Giftighet ⁽²⁾	CO < 2 000 ppm. CO ₂ < 5 %

	O ₂	> 15 %
--	----------------	--------

- 1) I tillegg til energi fra bakgrunnsstråling på 1 kW/m²
- 2) Når sikten er mer enn 5 m, vil det vanligvis ikke forekomme gasser i giftige konsentrasjoner i den korte tiden man rømmer

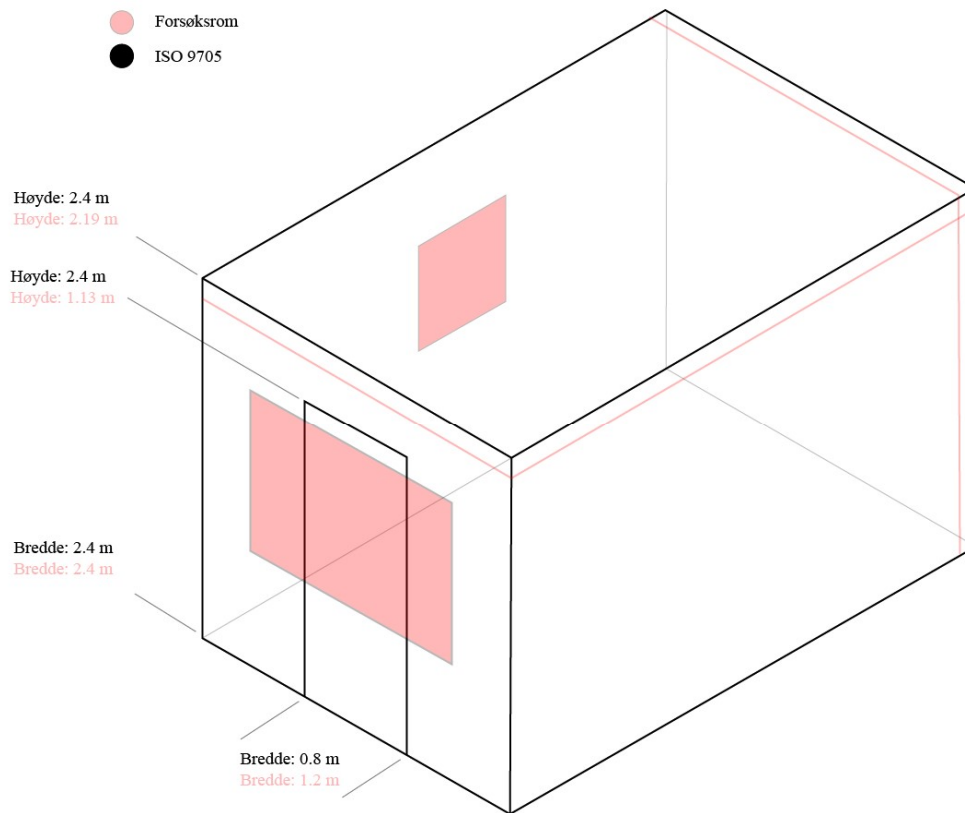
3.3 Forsøksrom

Forsøksrommets som er benyttet i forsøkene er laget etter størrelsene gitt i testoppsettet fra *ISO 9705*, men avviker noe i høyde og ventileringsdimensjoner. Avvikene i romstørrelse kan sees i Tabell 7 og illustreres videre i Figur 6.

Tabell 7 – Forskjell mellom forsøksrom og ISO 9705

Forsøksrom	Forsøksrom			Rom etter <i>ISO 9705</i>		
	Lengde (m)	Bredde (m)	Høyde (m)	Lengde (m)	Bredde (m)	Høyde (m)
Innvendig dimensjoner	3,4	2,4	2,19	3,6	2,4	2,4
Ventileringsåpning	-	1,18	0,83	-	0,8	2
Vindusåpning*	-	1,01	1,02	-	-	-

* Uten vindu installert



Figur 6 - Dimensjonsforskjeller mellom forsøksrom og ISO 9705-rom. Rødt er forsøksrom, svart er ISO 9705

Det er viktig å merke seg at rommet har en vindusåpning i kontrast til et rom etter ISO 9705 standarden, og en ventilasjonsåpning som er noe bredere i motsetning til ISO-rommet som vil ha noe høyere åpning.

Forsøksrommet var hevet 25 cm fra bakken, noe som gir en høyere totalhøyde. Denne høyden er antatt som ikke eksisterende, hvor evaluering av sikten starter ved forsøksrommets gulv i stedet for bakkenivå. Opphevingen kan sees på Bilde 3.

3.3.1 Vindu

Det er forsøkt å innhente vinduer med 2-lags glass av noenlunde samme størrelse for alle forsøkene. Disse ble hentet fra miljøparken i Årabrot og hadde bruksmerker i form av spikrer på rammen og generell slitasje, men hadde ikke skader på selve vindusoverflatene. Se Tabell 8 for nøyaktig størrelse av vindusoverflatene.

De to første forsøkene ble gjort uten vindu installert for å kunne se effekten vannveggen hadde alene sammenlignet mot ingen tiltak. Det ble bestemt at åpningen på vinduet i forsøk 3 og 4 skulle være lik 45° da det virket som en realistisk ønsket åpning på spesielt varme dager. Vinduene ble topphengslet.

Tabell 8 - Tabell over vinduene brukt

Forsøk	Vindustørrelse	Kommentar
# 1	1,01 m x 1,02 m åpning	Ingen vindu installert
# 2	1,01 m x 1,02 m åpning	Ingen vindu installert
# 3	0,89 m x 0,78 m vindusoverflate	Installert med 45 graders åpning
# 4	0,89 m x 0,89 m vindusoverflate	Installert med 45 graders åpning



Bilde 2 - Vindu installert i forsøk # 3 med 45 graders åpning

3.3.2 Drenering

Det ble drillt ett hull nær midten av rommet og to under vindusområdet for forsøkene med sprinkleranlegg ble utført. Alle hullene hadde diameter på ca. 2 cm.

To ekstra hull med diameter på ca. 3 cm ble drillt nær det sør-vestlige hjørnet av forsøksrommet etter det andre forsøket ble utført for å tillate bedre drenering.

3.4 Svalgangen

Svalgangens tak ble bygget opp av 48 x 98 cm konstruksjonsvirke på tvers med kryssfiner plater for å gi en takoverflate. Et lag med 12,5 mm gipsplater dekket overflaten som ville være i kontakt med røyklaget, for å gi brannbeskyttelse for konstruksjonen. Søylar laget av trevirke med 3 m mellomrom ble benyttet for stabilitet.

Tabell 8 – Dimensjoner av svalgangen

Dimensjonene på svalgangen	
Høyde	2,68 m
Bredde	1,56 m
Lengde	3,07 m



Bilde 3 - Ferdig oppsett før forsøk 3.

3.5 Sprinklerutstyr

For alle forsøkene utenom det første, er det blitt benyttet et røroppsett og sprinklerhode som er koblet opp mot en vanntilkobling.

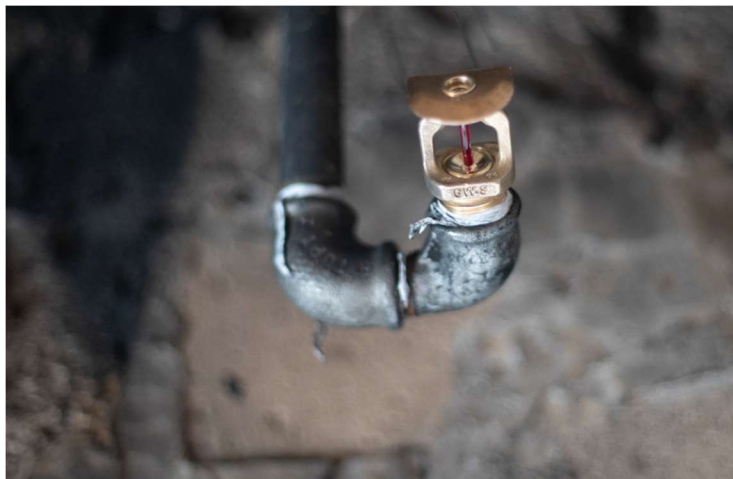
3.5.1 Røroppsett

Et fordelerør på ca. 3,5 m med indre dimensjoner på 20 mm ble benyttet for å binde sprinklerutstyret til vannforløpet. En fleksibel slange med indre dimensjoner på ca. 25 mm gjorde det mulig å justere installasjonen av røret som bandt sprinklerhodet til fordelerøret.



Bilde 4 - Fleksibel slange koblet opp mot fordeler røret.

Et 80 cm langt rør med indre dimensjoner på 18 mm var koblet opp mot fordelerøret og ble installert gjennom taket slik at 20 cm av røret var synlig fra innsiden av rommet, omtrent 8 cm fra veggen. Hullet ble deretter tettet med steinull. På enden av røret ble det montert to bender på 90° og selve sprinklerhodet. Dette gjorde det mulig å justere vinklingen av sprinklerhodet.



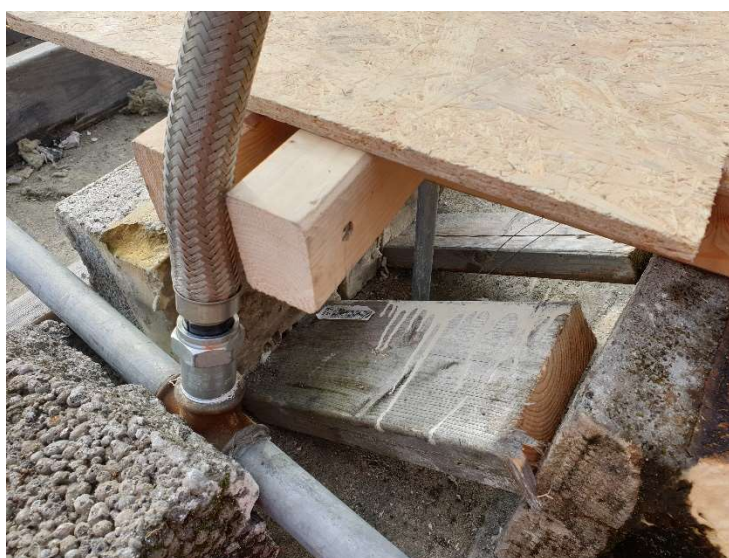
Bilde 5 - Sprinklerhodet på enden av to bender med 90° vinkling hver.

For å unngå bevegelser i røret ble det festes godt på plass på toppen av taket med hjelp av trevirke og LECA blokker som avbildet på Bilde 6 og Bilde 7.

For å forsegle sprinklerhodet og rørdeler, ble det benyttet PTFE gjengetape med 0.08 mm tykkelse og 12 mm bredde.



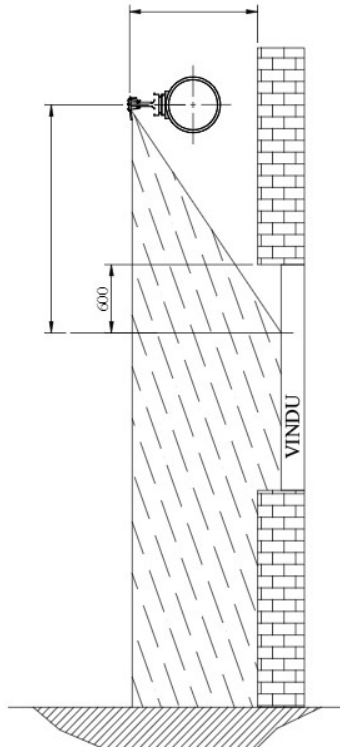
Bilde 6 - Festing av røret på taket



Bilde 7 - Festing av rør på taket. Samme oppsett som Bilde 6, med kryssfiner plate, fleksibel slange og fordelerør installert

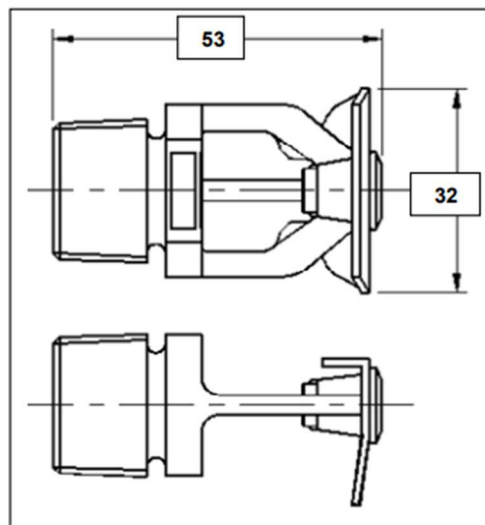
3.5.2 Sprinklerhodet

Sprinklerhodet som er benyttet i alle forsøkene bortsett fra sammenligningsforsøket (forsøk 1) er av typen Sealed Window Drencher fra GW Sprinkler A/S. Sprinklerhodet har en utløsningstemperatur på 68°C, K-faktor på 80 og er utviklet for å fukte og kjøle vertikale overflater, som for eksempel et vindu. Hodet er utstyrt med en spesiell deflektor som gir en bred vertikal spray nedover og 15° revers. Dette skal gi et jevnt fordelt vannløp på den vertikale overflaten bak den. [28]



Figur 7 - Anbefalt spredning fra sprinklerhodets produsent. [28]

Databladet til sprinklerhodet forteller at det skal installeres i horisontal posisjon med deflektoren pekende bort fra overflaten den skal beskytte, og den rundet deflektoren peker nedover.



Figur 8 - GW Sealed Window Drencher. [28]

Da oppgaven undersøker hvilken effekt en vannvegg kan ha foran et åpent vindu for å redusere varmestråling og røykopsamling, er det valgt å justere sprinklerhodet 15° opp mot taket for å få ønsket effekt.



Bilde 8 - Sprinklerhodet installert med 15 graders vinkling. To termoelementer kan sees hengende over



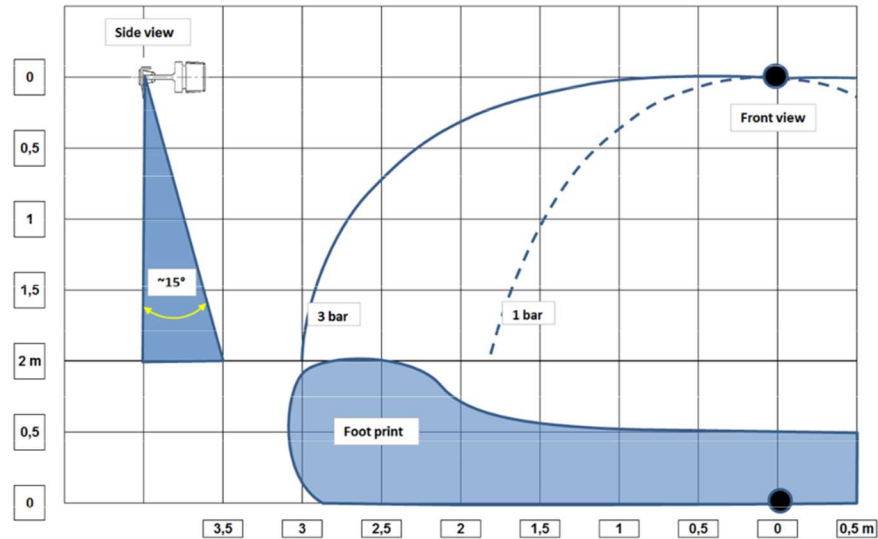
Bilde 9 - Sprinklerhodets spredemønster etter justering av vinkel

Sprinklerhodet er koblet opp mot røret som henger 20 cm ned fra taket, som resulterer i at sprinklerhodet er plassert 12 cm over vinduet og 10 cm ut fra veggen.

3.5.3 Vannforbruk og trykk

Spredemønsteret for sprinklerhodet ble testet på forskjellige trykknivå for å forsøke å finne en passende strømningshastighet som gav et spredemønster som dekket hele vindusoverflaten, samtidig som at mesteparten av vannet sprayet foran vinduet i stedet for å gå til sidene.

Databladet til sprinklerhodet spesifiserer at anbefalt arbeidstrykk er en til tre bar, med et minimum arbeidstrykk på 0,5 bar. Ut fra sprinklerhodets datablad virket det som om 1 bar trykk ville gi ønsket effekt, se Figur 9.



Figur 9 - Endring av sprinklerhodets spredemønster i følge databladet [28]

Ut fra de forskjellige testene gjort med forskjellige trykk på området, ble spredemønsteret på 1 bar litt for bredt og trykket ble derfor redusert under databladets anbefalte arbeidstrykk.



Bilde 10 - Testing av spredemønster

Strømningshastigheten ble funnet ved å plassere sprinklerhodet i en plastkasse med indre dimensjoner av 0,6 m x 0,4 m x 0,31 m (L x B x H), for å se mengden som samlet seg i løpet av ett minutt. Se Bilde 11.

Da forsøkene for strømningshastighet ble utført på bakkehøyde vil det være noen differanse grunnet løftehøyden. Ved testing av strømningshastigheten på samme måte som testingen av spredemønsteret ble gjort, ville det vært statisk trykktap som ikke ble tatt til betraktning ved utførelse på bakkenivå.



Bilde 11 - Tidtaking av sprinklerhodets egenskap til å fylle karet

Sprinklerhodet ble fjernet etter ett minutt, og en måling av vannet som var oppsamlet ble gjort. Ved ønsket spredemønster resulterte dette i en strømningshastighet på 65 l/min.

Arbeidstrykket ble så beregnet ut fra formelen for strømningshastighet, da både strømningshastigheten og K-faktor for sprinklerhodet var kjent.

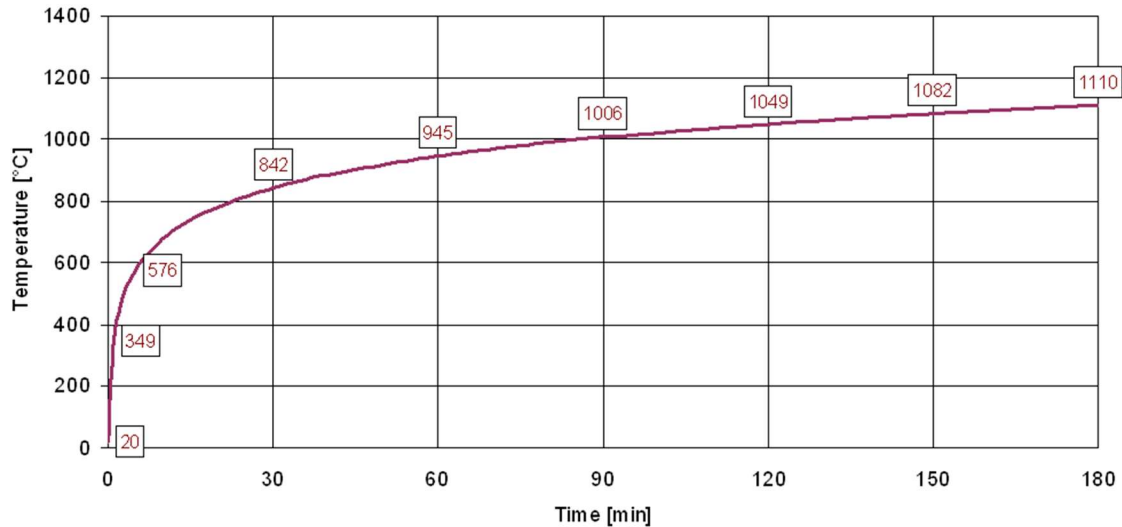
$$q = K\sqrt{p} \rightarrow p = \left(\frac{q}{K}\right)^2 \rightarrow \quad (3.2)$$

$$p = \left(\frac{65 \frac{l}{min}}{80 \frac{l}{min}}\right)^2 = 0,66 \text{ bar}$$

Ved en strømningshastighet på 65 l/min, K-faktor lik 80, resulterer dette i et arbeidstrykk på 0,66 bar som er over sprinklerhodets minimums trykk på 0,5, men under det anbefalte arbeidstrykket på 1 bar.

3.6 Brensel

Brenselet som er benyttet for forsøkene er valgt ut fra deres brannenergi i et forsøk om å oppnå temperaturendringer lik ISO-834 kurven, Se Figur 10.



Figur 10 - ISO-834 kurven [29]

3.6.1 Startbrensel

Samtidig som det var ønsket å oppnå temperaturendringer lik ISO-kurven, var det også ønskelig å simulere en rombrann som oppstår i et soverom. Det er derfor benyttet to trepaller sammen med en rammemadrass for å etterligne en seng.

Trepallene som ble benyttet som startbrensel var av typen EUR, og hadde standard dimensjoner på 1,2 m x 0,8 m x 0,144 m (L x B x H).

Rammemadrassene benyttet i forsøkene varierte noe i vekt og høyde, men alle hadde dimensjonene 90 x 200 cm og var hovedsakelig av polyeter materiale.

Tabell 9 - Dimensjoner av rammemadrasser benyttet som startbrensel

Bredde	0,9 m
Lengde	2,0 m
Høyde	0,25 – 0,35 m
Vekt	Ca. 20 kg

Et metallkar på 1 x 1 m som er 0,15 m dypt er plassert som vist i Tabell 10 og Figur 11. Karet fylles først med rundt 10 cm vann, hvor 20 L med Heptan fylles deretter. Heptanet ble benyttet for å gi en raskere oppstart av brannforløpet. Vannet sørget for at mindre varme gikk tapt til karet.

Tabell 10 - Plassering av kar med flytende brensel

Plassering av metallkar med flytende brensel		
Fra bakre vegg (cm)	Fra vegg med vindu (cm)	Fra vegg uten vindu (cm)
46,5	120	20



Bilde 12 - Startbrensel, rett før antennelse

3.6.2 Brensel underveis

For å unngå temperaturtap i et brannforløp som skulle vare opp mot 30 minutter, måtte ekstra brensel benyttes. RESQ-representant, Arjen Kraaijeveld var kledd i fullt branndykkerutstyr slik at ekstra brennbart materiale kunne kastes på brannen underveis.

Plastkasser er hovedsakelig blitt benyttet som ekstra brensel under brannforløpet. Kassene ble benyttet da plastikk har høy brennverdi og kassene allerede var tilgjengelig på området. Kassene har utvendige dimensjoner 0,64 x 0,45 m x 0,33 m og innvendige dimensjoner 0,6 m x 0,4 m x 0,31 m (L x B x H). Kassene blir referert til som «plastkasse» gjennom rapporten.



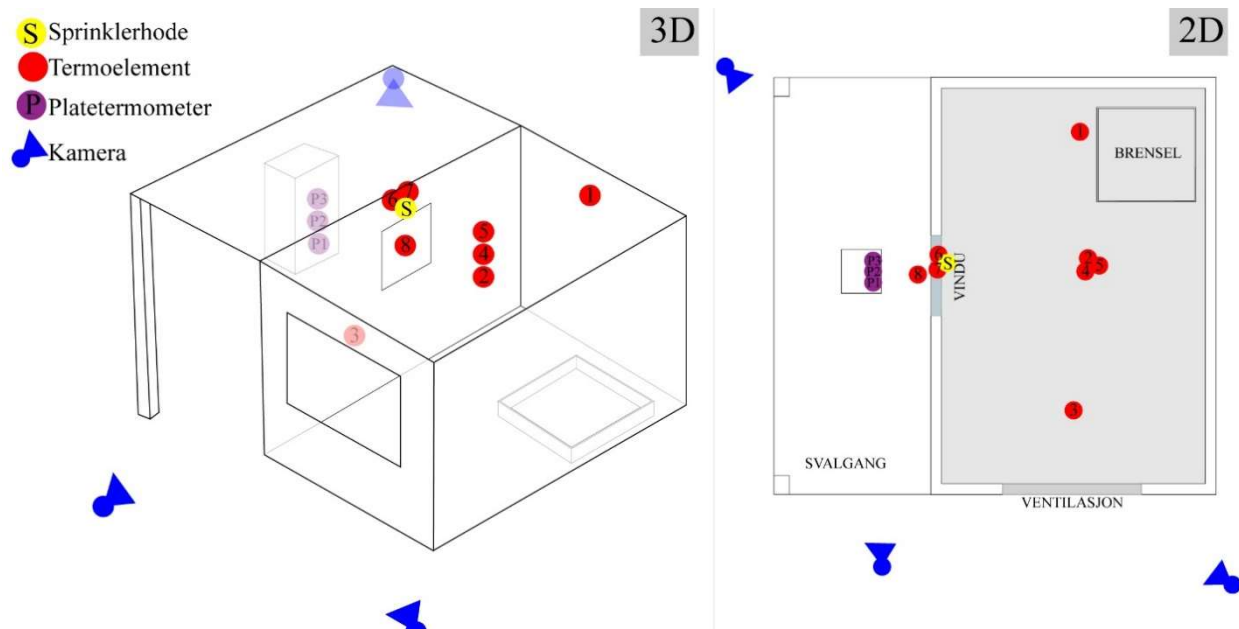
Bilde 13 - Plastkasse benyttet for alle forsøkene

Det ble også benyttet engangspaller i tre med dimensjoner 1,2 m x 0,8 m x 0,126 m og EUR-paller med dimensjoner som spesifisert i 3.6.1 Startbrensel. Annet brennbart materiale som var på området ble også brukt, som kryssfiner plater, poser med plastikk og treplanker i forskjellige størrelser og mindre møbler. Dimensjonene og vekt på disse er ukjent, men det er antatt at differansen av brenselet ikke hadde store

betydninger for forsøket da det bare ble benyttet mer brensel hvis det var nødvendig å opprettholde temperatuere. Full liste med brennbart materiale benyttet for hvert forsøk er vedlagt i Vedlegg B – Liste over brensel benyttet.

3.7 Måleutstyr

Som dokumentasjon for at akseptkriteriene ble holdt var det viktig å ha godt måleutstyr som kunne gi informasjon om varmen i rommet og strålingen ut av vinduet. Plasseringen av kameraer og annet måleutstyr vises i Figur 11.



Figur 11 - Plassering av måleutstyr, brenselkar og sprinklerhode

3.7.1 Datalogger

For å registrere data fra måleutstyret er det brukt en datalogger av typen Keysight 34970A Data acquisition. Med denne dataloggeren er det mulig å måle temperatuere i røyklaget, varmestråling fra brannen og bestemme frekvensen på målingene. Temperaturendringene over tid vil bli sendt til en PC med programvaren BrannDatalog6, som konverterer målinger til en excel fil.

3.7.2 Kamera

For å kunne observere brannforløpet og utviklingen av røyk i etterkant var det ønskelig å ha kamera som filmet hele forsøket. Actionkamera av typen Escape HD5 ble plassert slik som oppgitt i Figur 11 gjennom alle forsøkene. Kameraene filmet i 720p med overlatt tidskode. Det ble også tatt videoopptak med et Canon EOS R speilløst kamera og smarttelefoner under forsøkene.

3.7.3 Termoelementer

Termoelementer er plassert slik at temperaturen i rommet, rundt sprinklerhodet og rett utenfor vinduet kan observeres og logges.

Forsøkene bruker mineraliserte termoelementer med miniatyrplugg fra Thermosense. Termoelementer av typen K, som har kontinuerlig temperaturtoleranse opp mot 1100 °C er plassert rundt i rommet. To tynnere, mer sensitive termoelementer er plassert over sprinklerhodet for å observere aktiveringstemperaturen.

Det brukes totalt 8 termoelementer til forsøkene hvor alle ble tildelt en kanal. Kanalene gikk fra 1 til 8, hvor tabellen nedenfor er valgt til å representere rekkefølgen gjennom plasseringen i stedet. Kanalnummeret blir brukt for å beskrive plasseringen til elementene i Figur 11.

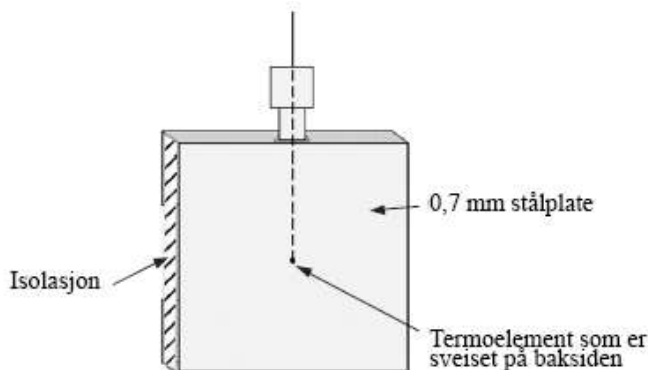
Tabell 11 - Plassering av termoelementer

Kanal	Benevnelse	Beskrivelse	Avstand fra taket (cm)
1	TE-Brensel-20	Termoelement - Omtrent over brenselet	20
5	TE-MIDT-20	Termoelement - Midten av rommet	20
4	TE-MIDT-40	Termoelement - Midten av rommet	40
2	TE-MIDT-60	Termoelement - Midten av rommet	60
8	TE-VINDU	Termoelement - Midten av vinduet	38
3	TE-VENT-20	Termoelement - Nær ventilasjonshullet	20
6	TE-SPRINKLER1	Termoelement - Over sprinklerhodet # 1	13
7	TE-SPRINKLER2	Termoelement - Over sprinklerhodet # 2	15

For å gjøre grafene som blir presentert i kap. 5 mer oversiktlige er det valgt å bare presentere benevnelsen av plasseringene gitt i Tabell 11, hvor bare termoelementene som er nærmest takhøyden blir illustrert. Dette gjør at verdiene fra MIDT-40, MIDT-60 og TE-SPRINKLER2 blir sett på som ekstra verdier og er tilgjengelig i Vedlegg E – Tilleggsresultater.

3.7.4 Platetermometer

Det er benyttet tre platetermometere, PTHFM, som er utviklet for å måle strålende varmestrøm opp til 80 kW/m². Platetermometerene har dimensjoner på 0,1 m x 0,1 m med en overflate bestående av en 0,7 mm tykk stålplate med en 10 mm tykk isolerende bakside, se Figur 12. [30]



Figur 12 - Platetermometer [30]

Platetermometerene er plassert i en boks laget av kryssfiner plater som har som funksjon å beskytte platetermometerene for vær og vind samtidig som den er opphevet slik at de er i høyde med vindusåpningen. Plasseringen av platetermometerene vises i Tabell 12.

Distansen målt fra det nederste platetermometeret til vindusåpningen var 1,2 m, men boksen var hellende mot vinduet som vist i Bilde 18. Dette gjør at det øverste platetermometeret, P3, var ca. 0,2 m nærmere

vinduet enn det nederste, P1. Dette gir det øverste platetermometeret en tilnærmet distanse på 1 m fra vinduet som er videre forklart som en feilkilde i kap. 6.

Plasseringen var bestemt ut fra kravet til utforming av svalgang gitt i TEK17 § 12-6 femte ledd punkt b som stiller krav til 1,5 m bredde for svalganger over 5 m inneholdende dører. Varmestråling er blitt vurdert ut fra P3 som var det øverste- og dermed også det nærmeste platetermometeret i forhold til vinduet.

Tabell 12 - Plassering av platetermometer

Benevnelse	Høyde fra bakkeområde	Avstand fra vindusområde
P1-LAVEST	1,525 m	1,2 m
P2-MIDT	1,74 m	~ 1,1 m
P3-HØY	1,91 m	~ 1,0 m



Bilde 14 - Platetermometere i treboks, plassert 1,2 m fra vindu

3.7.4.1 Beregning av varmemstråling

Et excel ark ble utfylt med samlede temperaturer fra alle forsøkene, hvor excel-arket gjorde to beregninger for hver registrert temperatur. Formelen under ble benyttet for å finne konveksjon varmeoverføringskoeffisient for hver temperatur, etterfulgt av formelen brukt for å finne varmemstrålingen [W/m^2].

$$h_{pT} = 76 \cdot \left(\frac{T_{pt} + T_{luft}}{2} + 273 \right)^{-0.66} \cdot |T_{pt} - T_{luft}|^{\frac{1}{3}} \quad (3.3)$$

$$\dot{q}''_{inc} = \sigma \cdot (T_{pt} + 273)^4 - \frac{h_{pT+K}}{\varepsilon_{pt}} \cdot (T_{luft} - T_{pt}) \quad (3.4)$$

Platetermometerets emissivitet (ε_{pt}) er antatt å variere mellom 0,8 til 1, men settes konstant lik 0,85 som antas å gi høyere innhentet verdier for varmemstråling enn realistisk [31]. Lufttemperaturen (T_{luft}) settes lik

20 °C og tapsfaktor grunnet konduksjon (K) settes lik 0 da platetermometerene er antatt å være perfekt isolerte.

3.7.5 Vannmåler

Det ble brukt en positiv fortreningspumpe for å måle hvor mye vann som ble benyttet i hvert forsøk. En positiv fortreningspumpe (Positive Displacement pump), flytter en gitt mengde volum væske ved å gjentatte ganger stenge vannet inne i systemet for så å åpne opp igjen ved hjelp av stempler, skruer eller tannhjul. Ved å endre slagastighet eller lengde er det mulig å vite med høy nøyaktighet hvor mye væske som blir pumpet inn i systemet.

3.7.6 Måling av sikt

Et 2.64 m langt konstruksjonsvirke montert fast i enden av svalgangen, 12 cm fra taket. Hver 10 cm ble markert på trevirket for å lettere kunne evaluere sikten gjennom kapret video. For å oppfylle kriteriet for sikt på 2 meter vil dette si at det må være god sikt helt opp til den fjerde streken, 51 cm fra taket.



Bilde 15 - Hjelpemiddel for siktvurdering

Målingene ble gjort ut fra video opptak, hvor et gruppelem så gjennom alle klippene og noterte ned alle gangene kravet om sikt ikke ble oppfylt. Målingene vil derfor være subjektive og burde bli antatt som estimer. Utfyllende siktevaluering kan finnes i Vedlegg C – Liste over siktevaluering.

4 Forsøksoppsett

Det ble totalt gjort 4 forsøk med tre forskjellige forsøksoppsett. Grunnet manglende verdier fra det tredje forsøket ble verdiene hentet fra forsøket vurdert som kontrollverdier og et ekstra forsøk # 4 ble utført.

4.1 Sammenligningsforsøk, forsøk 1

Det første forsøket ble gjennomført for å gi et sammenligningsgrunnlag for en brann med og uten tiltaket. Oppsettet er likt som beskrevet i metode, men uten vindu eller sprinklerhode installert. Det var ønskelig å gjøre dette forsøket først for å kunne teste om brenselet ville oppnå temperaturendringer tilsvarende ISO kurven og at alt av utstyr fungerte slik det skulle.

Brannforløpet skulle opprettholdes i ca. 15 minutter da dette var estimert til å gi et godt innblikk over forventet temperaturendringer, uten å gi altfor store skader på svalgangen.



Bilde 16 - Forsøksoppsett forsøk 1

4.2 Sprinkler uten vindu installert, forsøk 2

For å måle effektiviteten av vannveggen for seg selv, ble forsøk 2 gjort uten at vindu var installert i åpningen. Dette forsøket skulle simulere et brannforløp som oppsto mens vinduet var helt åpent, hvor installasjon av sprinklerhodet ble installert som forklart under kap. 3.5.



Bilde 17 - Forsøksoppsett forsøk 2. Ingen vindu installert, men sprinklerhode aktivert

4.3 Sprinkler med vindu installert med 45° åpning, forsøk 3 og 4

I disse forsøkene ble det installert sprinklerhode på samme måte som forklart i kap. 3.5, sammen med et to-lags-vindu med åpning slik avbildet i Bilde 18. Dimensjonene på vinduene som ble brukt i forsøkene, kan finnes i Tabell 8. Begge vinduene ble installert med 45° åpning.

Ettersom det tredje forsøket ikke ble datalogget, ble det bestemt å gjøre en gjentakelse av det tredje forsøksoppsettet. Forsøket ble gjort på samme måte som forsøk 3, hvor dataloggeren denne gang var aktivert.



Bilde 18 – Forsøksoppsett forsøk 3 og 4



Bilde 19 - Vindu knust fra forsøk # 3, sprinklerhode aktivt

4.4 Oppsummering av de forskjellige forsøksoppsettene

Tabell 13 - Oppsummering av forsøksoppsettene

Forsøk	Forsøksoppsett
1	Ingen sprinkler eller vindu installert. Utført for å ha et sammenligningsgrunnlag mot ingen tiltak.
2	Sprinkler installert, uten vindu. Utført for å se effekten sprinklerhodet har alene uten andre tiltak.
3	Sprinkler aktivt med vindu installert i 45° åpning. Ble ikke loggført, og derfor kontrollforsøk av forsøk 4.
4	Sprinkler aktivt med vindu installert i 45° åpning. Gjentakelse av forsøk 3, da forsøk 3 ikke ble loggført

5 Resultater

I dette kapitlet oppsummeres verdiene som er samlet fra alle de tre forskjellige forsøksoppsettene som ble utført ved RESQ Haugesund. Resultatene fra det tredje forsøket er tilgjengelig som vedlegg da verdier for temperatur og varmestråling i svalgang gikk tapt.

Apparatene som ble brukt for å måle temperaturendringer er alle tildelte egne kanaler hvor forståelse av forsøksresultatene vil være avhengig av leserens forståelse av disse.

Hver kanal starter med en forkortelse TE, eller P, som forklarer om det er et termoelement eller platetermometer. Plasseringen av termoelementene i forhold til rommet vil da etterfølge forkortelsen og avsluttes med en tallverdi for avstand fra taket i cm. Platetermometerene er navngitt etter plasseringen i forhold til hverandre. En full liste over plasseringen av måleutstyr kan finnes i kapittel 3.7 Måleutstyr.

Tabell 14 - Forkortelser brukt for måleapparater

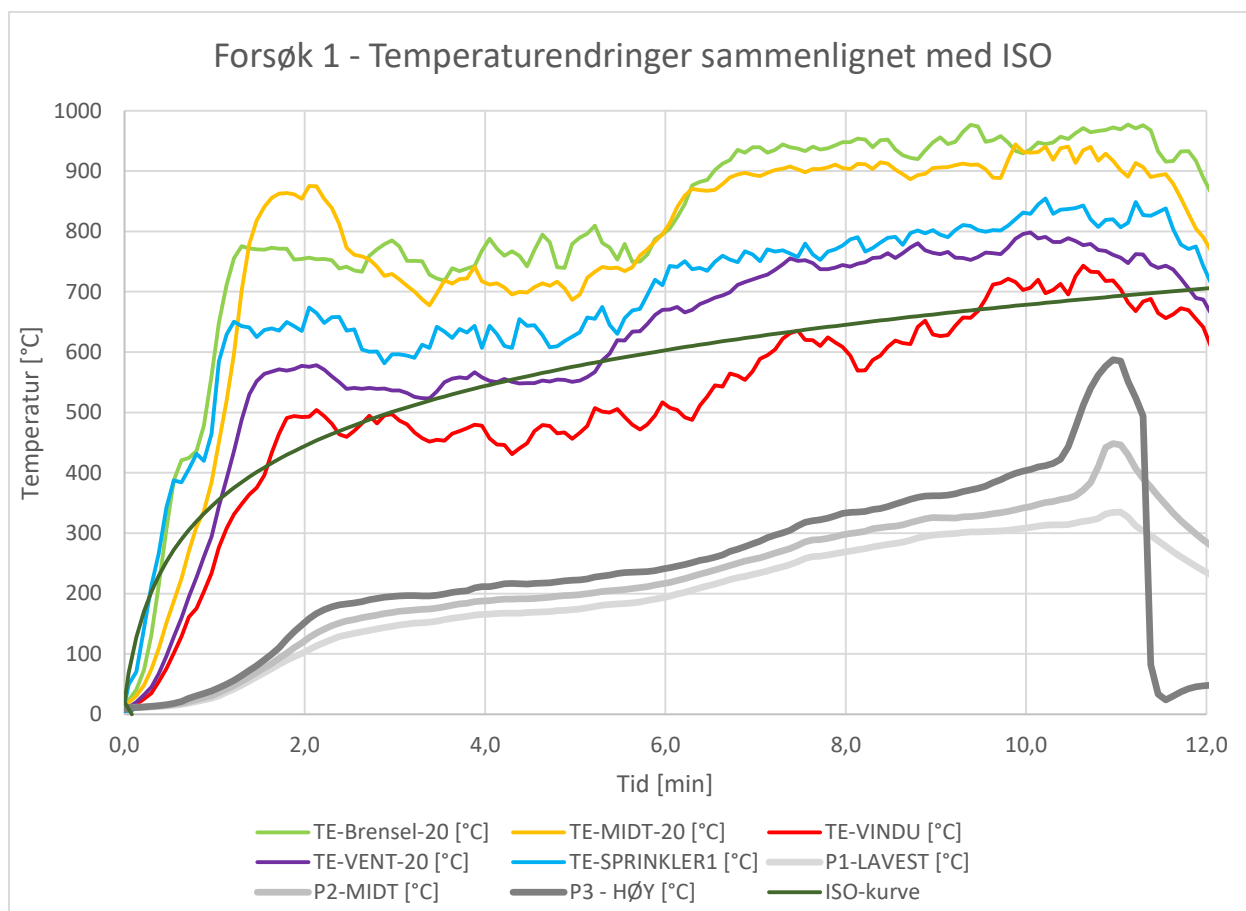
Forkortelse	Betydning
TE	Termoelement
P #	Platetermometer

5.1 Forsøk 1 - Sammenligningsforsøk, ingen vindu eller sprinkler

Forsøk 1 ble utført som et sammenligningsforsøk og hadde derfor ingen tiltak mot brannspredning ut av vinduet. Dette gjorde at boksen som holdt platetermometerene i svalgangen fikk stor varmpåkjenning, og flammer ble observert på taket av boksen etter 7 minutter og 30 sekunder. Resultatene fra platetermometerene er derfor forventet å være påvirket etter dette tidspunktet. Boksen ble fjernet etter 11 minutter og 6 sekunder for å unngå større skader på boksen og måleutstyret. Forsøket ble dermed avsluttet.



Bilde 20 - Boks med platetermometere fjernet etter 11 minutter og 6 sekunder



Figur 13 - Graf, Temperaturendringer Forsøk #1

For å opprettholde temperaturene under hele forsøket ble det kastet på tre plastkasser etter rundt 5 minutter og 30 sekunder. I dette tidspunktet økte temperaturen i rommet fra rundt 760 °C til rundt 940 °C. Mer nøyaktig tidspunkt og beskrivelse av benyttet ekstra brensel kan finnes i Vedlegg B – Liste over brensel benyttet.

Værforholdene for dagen av forsøket er hentet fra yr.no og oppsummert i Tabell 15.

Tabell 15 - Værforhold for forsøk #1

Værforhold, hentet fra Yr.no	
Vær	Sol, ingen regn
Temperatur	5,4 °C
Vind	2,8 m/s, nord/øst
Luftfuktighet	71 %

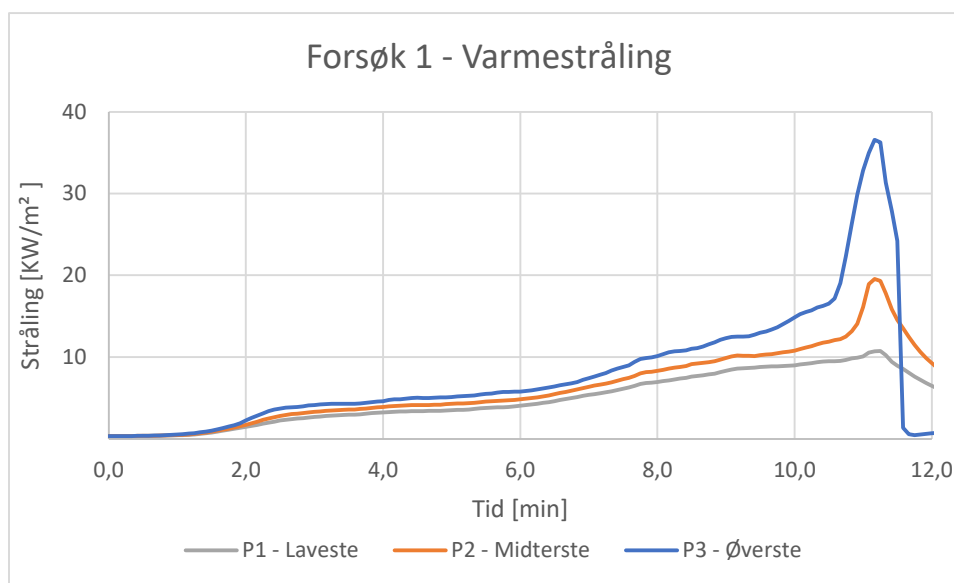
Etter at forsøket var ferdig, måtte svalgangen repareres med nytt lag av gipsplater og ny nedbyggelse over ventilasjonshullet ble laget grunnet brannskader. Platen på toppen av boksen i svalgangen ble også byttet ut.



Bilde 21 - Røykproduksjon fra forsøk 1. Boks med platetermometere med flamme på toppen. 08:59 etter brannstart

5.1.1 Varmestråling

Varmestrålingen overstiger akseptkriteriet for kontinuerlig varmestråling på $2,5 \text{ kW/m}^2$ etter 2 minutter, men overstiger ikke akseptkriteriet for kortvarig strålingsintensitet, 10 kW/m^2 , før boksen med platetermometere antennes. I den tiden mellom boksen antennes og senere fjernes, overstiger det øverste platetermometeret 37 kW/m^2 som et resultat av den ekstra varmen fra ny brann. Verdiene for stråling kan finnes i Figur 14.



Figur 14 - Graf, Varmestråling - Forsøk # 1

5.1.2 Sikt i tiden for rømning

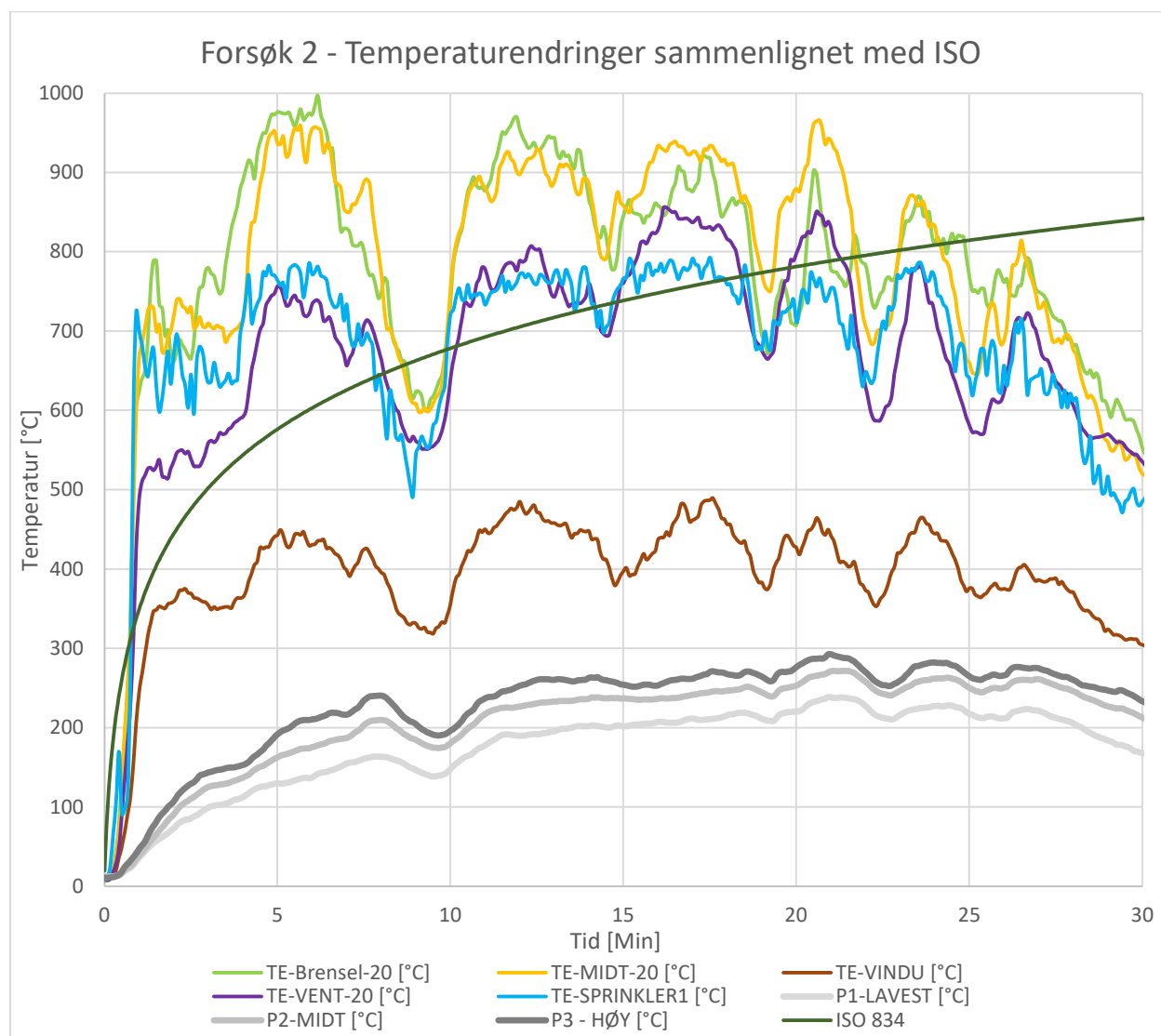
I løpet av de første 15 minuttene etter brannstart er det observert 4 minutter og 56 sekunder med dårlig sikt gjennom svalgangen. Det vil si at det var observert dårlig sikt i svalgangen ca. 33 % av tiden. Det observeres ikke at vind- og værforhold har særlig påvirkning av sikten gjennom forsøket.

Full tabell over sikteevalueringen kan finnes som vedlegg i Vedlegg C – Liste over sikteevaluering.

5.2 Forsøk 2 - Sprinkler som vannvegg uten vindu

Forsøk 2 ble utført for å teste effekten sprinklerhodet kunne ha ved et fullt åpent vindu, og det ble derfor ikke installert et vindu.

Sprinklerhodet aktiverte 20 sekunder etter brannstart og var aktivt gjennom den resterende tiden av brannforløpet.



Figur 15 - Graf, Temperaturendringer Forsøk #2

For å opprettholde temperaturene under hele forsøket ble det kastet på plastkasser og annet brennbar materiale når temperaturene ble observert dyppende. Fallet i temperatur fra 6 minutter til 9 minutter skyldes 3 minutter og 20 sekunder uten bruk av ekstra brennbar materialer. Siste brensel ble kastet på etter 22 minutter og 25 sekunder, hvor temperaturene er observert synkende etter dette. Mer nøyaktig tidspunkt og beskrivelse av benyttet ekstra brensel kan finnes i Vedlegg B – Liste over brensel benyttet. Forsøket ble deretter avsluttet, 24 minutter etter brannstart.

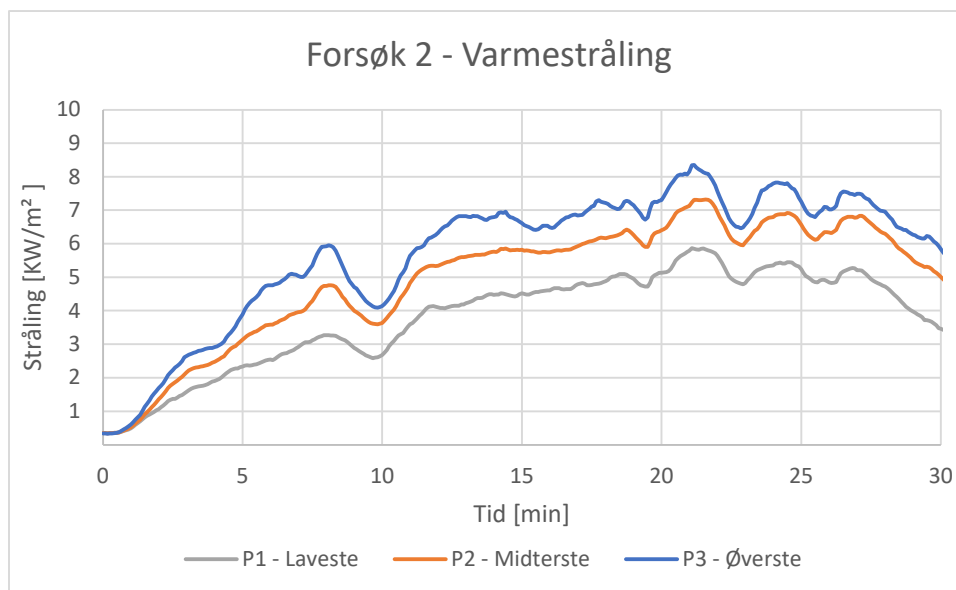
Værforholdene for dagen av forsøket er hentet fra yr.no og oppsummert i Tabell 16. Vinden ble hovedsakelig observert som noe nordvestlig på tiden av forsøket som gjør at røyk som unnslipper ventilasjonshullet også vil påvirke sikten i en mindre grad.

Tabell 16 - Værforhold for forsøk # 2

Værforhold, hentet fra Yr.no	
Vær	Sol, ingen regn
Temperatur	7,1 °C
Vind	6,1 m/s, sør/øst (Observert som nordvestlig)
Luftfuktighet	79 %

5.2.1 Varmestråling

Varmestrålingen overstiger akseptkriteriet for kontinuerlig strålingsintensitet etter 2 minutter og 12 sekunder, men holder seg under det kortvarige akseptkriteriet på 10 kW/m² gjennom hele brannforløpet. Gruppen gikk utenfor vindusåpningen for å teste påkjeningen etter rundt 18 minutter fra brannstart. I dette tidspunktet var varmestrålingen på 7 kW/m², og opplevdes som godt akseptabelt, selv med rolig gange. Påkjeningen opplevd vil være subjektiv, hvor studentene også var kledd i bekledning som gav ekstra beskyttelse for enkelte eksponerte kroppsdeler. Høyeste måling for varmestråling på det øverste platetermometeret var på 8,6 kW/m² etter rundt 22 minutter.



Figur 16 - Graf, Varmestråling - Forsøk # 2



Bilde 22 - Komfortabel nok til å gå utenfor åpent vindu ved fullt utviklet brann, 18:37 etter brannstart

5.2.2 Sikt i tiden for rømning

I løpet av de første 15 minuttene etter brannstart var det observert 6 minutter og 20 sekunder med dårlig sikt gjennom svalgangen, som vil si det var dårlig sikt 42% av tiden.

Vind- og værforhold så ut til å påvirke sikten i de siste 5 minuttene, da en nord vestlige vind gjorde at røyk som unnlapp ventilasjonshullet bidrog til dårlig sikt i svalgangen.

Full tabell over sikteevalueringen kan finnes i Vedlegg C – Liste over sikteevaluering.



Bilde 23 - Røykutvikling under forsøk # 2, 11:13 etter brannstart

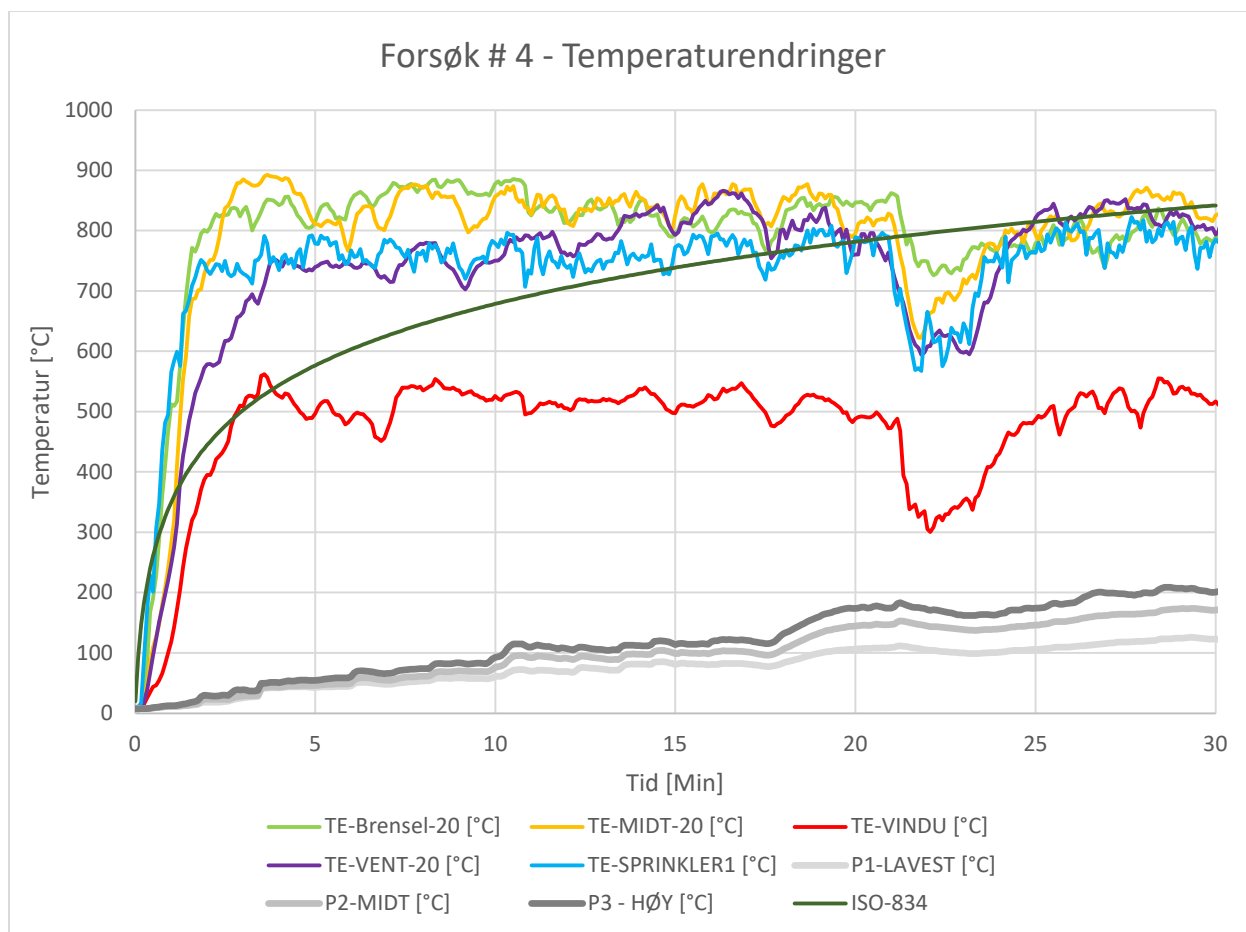
5.2.3 Vannforbruk

Det ble gjort målinger for mengde vann som ble brukt under hvert forsøk. Det tok 24 minutter etter brannstart før forsøket ble avsluttet. I denne perioden ble det brukt totalt 1336.1 liter vann og resulterer i en gjennomsnittlig vannstrøm på 55,7 l/min. Dette resulterer i et trykk på rundt 0,48 bar ut fra formel 3.2.

$$p = \left(\frac{55,7 \text{ l/min}}{80}\right)^2 = 0,48 \text{ bar}$$

5.3 Forsøk 4 – Sprinkler som vannvegg med halvåpent vindu

Forsøk 4 ble utført med sprinklerhode installert på lik måte som forsøk 2, hvor vindu også ble installert med 45 grader åpning. Sprinkler aktiverte seg etter 17 sekunder, og det første glasslaget av vinduet ble observert knust etter 3 minutter og 29 sekunder. Det andre glasslaget knuste etter 17 minutter og 29 sekunder.



Figur 17 - Graf, Temperaturendringer Forsøk # 4

For å opprettholde temperaturene under hele forsøket ble det kastet på plastkasser og annet brennbart materiale når temperaturene ble observert dyppende. Mer nøyaktig tidspunkt og beskrivelse av benyttet ekstra brensel kan finnes i Vedlegg B – Liste over brensel benyttet.

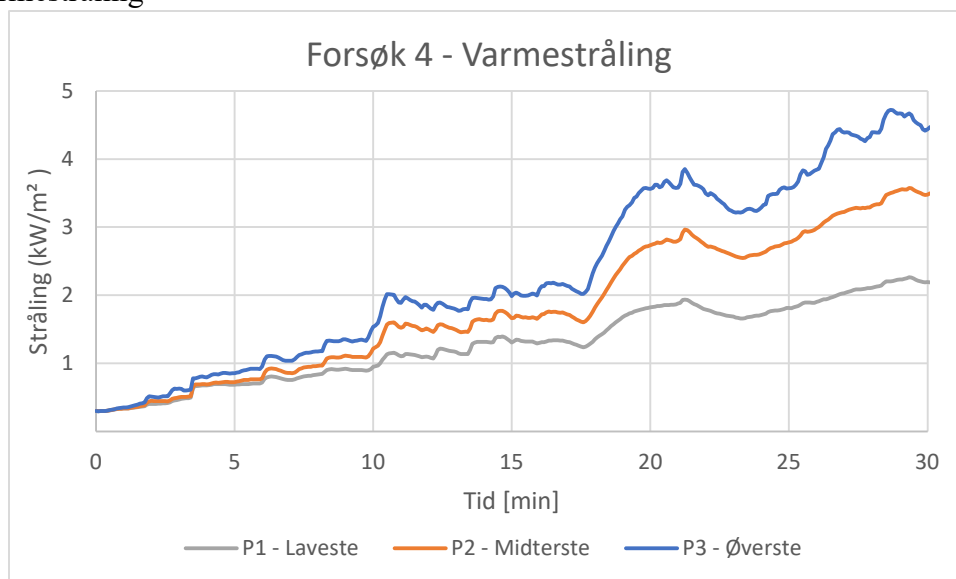
På det tredje forsøket tok det 20 sekunder før sprinklerhodet aktiverte seg og 10 minutter og 6 sekunder før begge glasslagene på vinduet knuste. Det ble observert liknende temperaturer de første 10 minuttene av forsøket, hvor det var rundt 100 °C på platetermometeret etter 8 minutter og 47 sekunder, samtidig som det var nesten 900 °C i rommet. Mer resultater fra det tredje forsøket kan finnes i Vedlegg E – Tilleggsresultater.

Værforholdene for dagen av forsøket er hentet fra yr.no og oppsummert i Tabell 17.

Tabell 17 - Værforhold for forsøk # 4

Værforhold, hentet fra Yr.no	
Vær	Overskyet og delvis regn før forsøket. Opphold under forsøket
Temperatur	7 °C
Vind	6,5 m/s, øst
Luftfuktighet	Ukjent

5.3.1 Varmestråling



Figur 18 - Graf, Varmestråling - Forsøk # 4

Varmestrålingen overstiger akseptkriteriet for kontinuerlig strålingsintensitet etter 18 minutter, men holder seg godt under det kortvarige akseptkriteriet på 10 kW/m^2 gjennom hele brannforløpet. Høyeste måling for stråling på det øverste platetermometeret var på $4,9 \text{ kW/m}^2$ etter rundt 28 minutter.

5.3.2 Sikt i tiden for rømning

I løpet av de første 15 minuttene etter brannstart er det observert 4 minutter og 4 sekunder med dårlig sikt gjennom svalgangen. Det vil si at det var observert dårlig sikt i svalgangen ca. 34 % av tiden.

Etter å ha evaluert sikten gjennom video, er det klart at vindstyrken og vindretningen var en faktor for sikten i svalgangen gjennom forsøket. Vindretningen virker som en hjelpende faktor til tider, da røyken blir presset opp mot veggen i stedet for å spre seg, og skaper god sikt i midten av svalgangen. Vinden forårsaker også at røyk som allerede har unnslippet svalgangen blir blåst under taket igjen, og derfor forverrer sikten.

Det virket som helningen på vinduet, sammen med den østlige vinden demper den horisontale farten til røyken ut av vindusåpningen før den stiger til takhøyden. Dette gjør at sikten i svalgangen oppleves for det meste slik som det er avbildet på høyresiden av Bilde 24.



Bilde 24 - Kortvarig dårlig sikt varierende 01:38 og 01:42 etter brannstart

5.3.3 Vannforbruk

Det ble gjort målinger for mengden vann som ble brukt under hvert forsøk. Det tok 70 minutter etter brannstart før vannet ble avslått. I denne perioden ble det brukt totalt 3691 liter og resulterer i en gjennomsnittlig vannstrøm på 56 l/min, og trykk på rundt 0,49 bar ut fra formel 3.2. I løpet av de første 30 minuttene er det derfor blitt benyttet totalt 1680 liter.

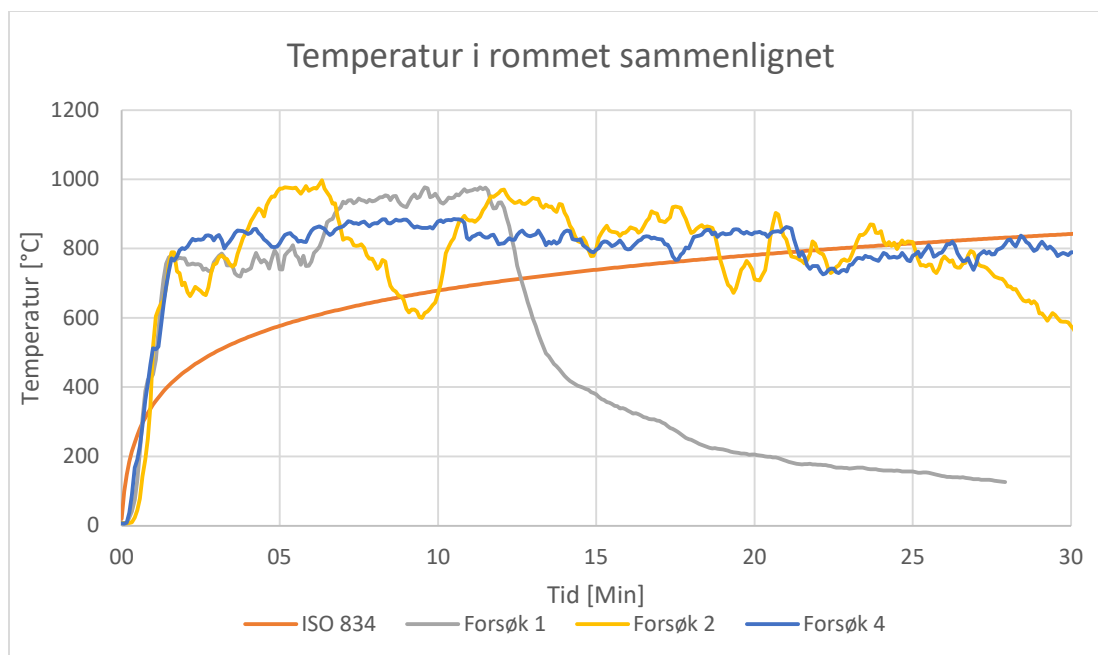
$$p = \left(\frac{56 \text{ l/min}}{80}\right)^2 = 0,49 \text{ bar}$$

5.4 Forsøkene sammenlignet

Dette kapittelet virker som en samlet oversikt over de forskjellige resultatene hentet fra forsøkene, sammenlignet mot de forskjellige akseptkriteriene.

5.4.1 Temperaturene sammenlignet

Temperaturene fra grafen i Figur 19 er tatt fra termoelementet som henger 20 cm fra taket, nærmest brenselet fra alle forsøkene.



Figur 19 - Temperaturene i rommet sammenlignet med ISO 834

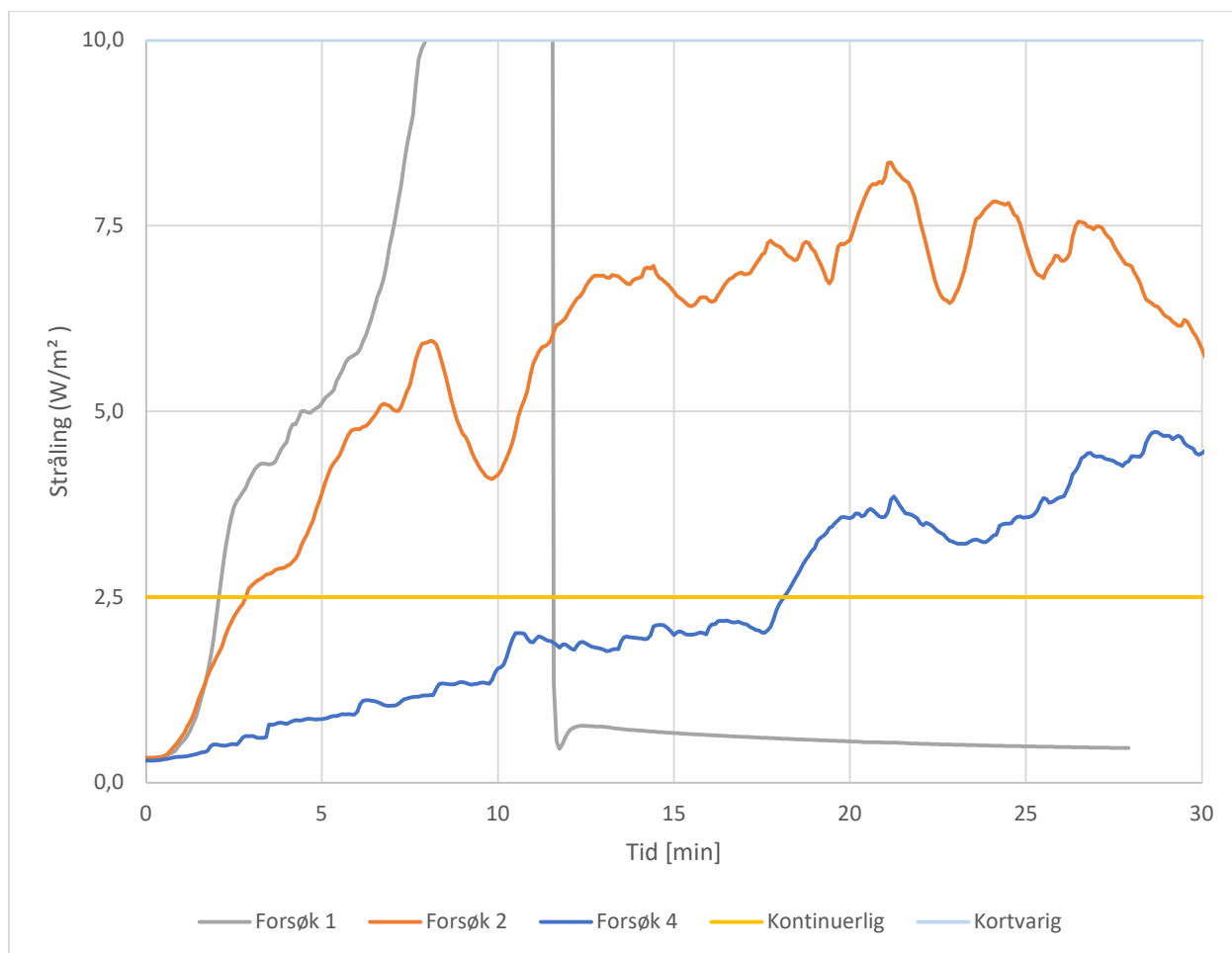
For å kunne sammenligne temperaturene mot temperaturkurven fra ISO 834 litt grundigere, er verdiene også presentert i tabellen nedenfor.

Tabell 18 - Temperaturene i rommet sammenlignet med ISO 834

	1m	5m	10m	20m	30m
Forsøk 1	436	740	947	-	-
Forsøk 2	515	973	667	714	-
Forsøk 3	-	-	-	-	-
Forsøk 4	512	828	882	847	789
ISO 834	349	576	678	781	842

5.4.2 Varmestråling sammenlignet

For å kunne demonstrere den verst tenkelige varmemestrålingen fra hvert forsøk, er det blitt benyttet påkjenningene av det øverste platetermometeret for alle forsøkene. Disse er da sammenlignet med akseptkriteriet gitt for kontinuerlig varmemestråling ($2,5 \text{ kW/m}^2$) og kortvarig varmemestråling (10 kW/m^2). Figuren nedenfor viser varmemestrålingen for alle forsøkene inntil kriteriet for kortvarig varmemestråling er brutt på 10 kW/m^2 . Forsøk 1 er det eneste forsøket som oppnår strålingsverdier over kriteriet, og stiger opp til ca. 37 kW/m^2 etter antennelse av boksen som oppbevarte platetermometerene.



Figur 20 - Varmestråling sammenlignet for forsøk 1,2 og 4

Linjen «*kortvarig*» representerer den høyeste kortvarige strålingsintensiteten som er godkjent gitt fra akseptkriteriet for menneskelige tålegrenser som forklart i Tabell 6. Linjen «*kontinuerlig*» representerer den høyeste kontinuerlige strålingsintensiteten godkjent.

Varmestrålingen kan overstige kravet for kontinuerlig varmestråling ifølge akseptkriteriene for menneskelig tålegrenser, så lenge det er innenfor kravet for kortvarig varmestråling, som også spesifiserer at samlet varmestråling ikke skal overstige 60 kJ/m^2 .

Ettersom det ble observert flammer på boksen som inneholdt platetermometerene etter 7 minutter og 30 sekunder for det første forsøket, blir verdiene for varmestråling registrert 7 minutter etter brannstart sammenlignet i Tabell 19 for å se virkningen av tiltakene.

Tabell 19 - Varmestrålingen registrert 7 minutter etter brannstart, sammenlignet mot forsøk 1

Forsøk	$\dot{Q}_{7 \text{ min}}''$ (kW/m^2)	Reduksjon (%)
1	7,7	0
2	5,2	31,7
4	1,1	86

For å finne maks eksponeringstid ut fra kriteriet om samlet varmestråling gitt i Tabell 6, deles dette kravet på varmestrålingen gitt 5-, 15- og 20 minutter etter brannstart.

$$Watt = \frac{Joule}{sekunder} \rightarrow Sekunder = \frac{60 kJ}{Varmestråling} \quad (5.1)$$

Tabell 20 - Registrert varmestråling ved 5, 15 og 20 minutter

Forsøk	$\dot{Q}_{5 \text{ min}}$ (kW/m ²)	$\dot{Q}_{15 \text{ min}}$ (kW/m ²)	$\dot{Q}_{20 \text{ min}}$ (kW/m ²)
1	5,3	-	-
2	4	6,8	7,6
3	-	-	-
4	0,9	2	3,7

Tabell 20 oppsummerer varmestrålingen registrert for hvert forsøk i løpet av 5, 15 og 20 minutter etter brannstart. Disse verdiene blir benyttet sammen med formel 5.1 for å gi verdier for maks eksponeringstid i Tabell 21.

Tabell 21 - Maks eksponeringstid tilgjengelig for evakuerende ut fra varmestrålingen på tidsintervallene 5,15 og 20 minutter

Forsøk	Eksponeringstid _{5 min} (s)	Eksponeringstid _{15 min} (s)	Eksponeringstid _{20 min} (s)
1	11,3	-	-
2	15	8,8	7,9
3	-	-	-
4	66,7	30	16,2

5.4.3 Sikt sammenlignet

Akseptkriteriet som er brukt for sikt sier at det skal minst være 10 m horisontal sikt i 2,0 høyde. Siktevalueringen er gjort ut fra observasjoner fra video opptak og vil variere ut fra brensel brukt og værforhold.

Tabell 22 - Sikt sammenlignet for alle forsøkene

Forsøk	Dårlig sikt (gjennom 15 min)
1	33 %
2	42 %
3	26 %
4	34 %

Vedlegg B lister brenselet benyttet for hvert forsøk, hvor det kommer frem at det ble brukt tre til fire ganger mer brensel i løpet av de første 10 minuttene for forsøkene gjort med sprinklerhodet installert sammenlignet med det første. Dette kan ha forårsaket at forsøk 1 hadde bedre siktbedømming enn forsøk 2 og 4.

5.4.4 Vannforbruk sammenlignet

Som spesifisert i kap. 3.5.3, ble tester gjort på bakkenivå for å finne et passende spredemønster for sprinklerhodet og dens strømningshastighet. Det ønskede spredemønsteret resulterte i en strømningshastighet på 65 l/min som gjør at arbeidstrykket hadde blitt 0,66 bar. Med det takmonterte sprinkleranlegget fra forsøk 2, 3 og 4, gir dette et statisk trykktap som forårsaker et redusert vannforbruk som vist i Tabell 23.

Tabell 23 - Vannforbruket sammenlignet gjennom 30 minutter

Forsøk	Vannforbruk	Trykk
1	-	-
2	55.7 l/min	0,48 bar
3	52.5 l/min	0,43 bar
4	56 l/min	0,49 bar

Det er forventet at liknende vannforbruk ble oppnådd under brannforløpet for alle forsøkene, men vannmengden ble redusert i slutten av det tredje forsøket for å tillate rester av brenselet til å brenne opp i slutten av forsøket. Ettersom det tredje forsøket ikke ble loggført, har vannforbruket for dette forsøket lite betydning.

6 Diskusjon

Rapporten vurderer vannvegg som en erstatning for brannvinduer mot svalgang, hvor resultatene behandles ut fra brannteknisk teori og sammenlignes mot akseptkriteriene gitt i *SN-INSTA/TS 950*. I dette kapitlet diskuteres resultatene sammen med tenkelige scenarioer rundt implementering av tiltaket.

6.1 Drøfting av forsøksresultatene

Det ble gjort totalt fire forsøk, hvor sikten har blitt evaluert for alle forsøkene, mens verdiene for varmestråling ikke er tilgjengelig for det tredje forsøket som videre forklart i Feilkilder

6.1.1 Romtemperatur

Det er forsøkt å opprettholde relativt like temperaturer i rommet for alle forsøkene, hvor målet var å ha lik eller høyere temperatur enn hva som fremstilles i tid-temperatur kurven gitt i *ISO 834*, videre beskrevet som ISO-kurven. Heptan ble brukt for å få rask brannutvikling i starten og plastkasser ble hovedsakelig brukt som brensel underveis for å opprettholde temperaturene i rommet.

Temperaturene ble for det meste opprettholdt, med noen dypp under ønsket temperatur gjennom brannforløpene. Forsøkene overstiger for det meste temperaturene med god margin gjennom brannforløpene, hvor temperaturen i røyklaget over brenselet er registrert mellom 600-800 °C for alle forsøkene sammenlignet mot ISO-kurvens 440 °C etter 2 minutter.

Ettersom forsøkene for det meste overstiger temperaturene gitt i ISO-kurven kan det være at brannforløpene i forsøkene vil være noe mer brutale enn en realistisk rombrann. Dette ettersom tid-temperaturkurven gitt i *ISO 834* er allerede laget for å representere forhold som ofte vil være mer belastende i forhold til temperaturer i en konvensjonell brann.

6.1.2 Varmestråling

For å evaluere varmestrålingen påvirket på evakuerende var det benyttet tre platetermometere som var montert i svalgangen. Varmestrålingen er én av de to kriteriene gitt i *SN-INSTA/TS 950* som rapporten veier resultatene mot. Ettersom det er tenkelig at evakuerende ikke bruker lengre tid enn 6 sekunder å evakuere forbi vinduet ut fra standardverdier for ganghastighet, er resultatene hovedsakelig veiet opp mot kriteriet for kortvarig eksponering, 10 kW/m². [24] Som sammenligningsgrunnlag stilles også forsøkene opp mot kriteriet for kontinuerlig eksponering, 2,5 kW/m².

Det første forsøket tillatte varm røyk til å unnslippe rommet og ut mot svalgangen som gav høy konvektiv stråling ut mot konstruksjonene og forårsaket antennelse av treboksen som inneholdt platetermometerene. Varmestrålingen oversteg kriteriet for kontinuerlig varmestråling etter 2 minutter, og kortvarig strålingsintensitet rundt 8 minutter etter antennelse. I dette tidspunktet hadde boksen blitt antent som forårsaket stigende varmestråling opp mot 37 kW/m² i løpet av de neste 3 minuttene før forsøket ble avsluttet.

Forsøkene gjort med sprinklerhodet installert, viser en klar forbedring for varmestrålingen mot svalgangen. Forsøket gjort uten vindu installert oversteg kriteriet for kontinuerlig strålingsintensitet (2,5 kW/m²) etter 3 minutter og 40 sekunder, hvor høyeste registrerte verdi gjennom brannforløpet var på 8,7 kW/m² etter rundt 21 minutter og 10 sekunder. Tiltaket holdt seg derfor innenfor kriteriet for kortvarig strålingsintensitet (10 kW/m²) gjennom hele brannforløpet.

Ettersom verdiene for varmestråling ikke ble målt for det tredje forsøket, ble et fjerde forsøk utført med vindu installert. Varmestrålingen oversteig kriteriet for kontinuerlig strålingsintensitet omtrent 19 minutter etter brannstart, som var omtrent 2 minutter etter at vinduet knuste. Gjennom resterende tiden av brannforløpet ble det målt verdier på 4,9 kW/m² etter 28 minutter. Dette er en reduksjon av 43 % sammenlignet mot forsøket gjort med sprinklerhode og uten vindu.

Gruppen forsøkte å gå utenfor vinduet ved de tre siste forsøkene hvor varmepåkjeningen virket akseptabel, selv med rolig gange. For det første forsøket ble det ikke testet da forholdene virket for brutale.

Varmestrålingen for alle forsøkene ville gitt andre verdier hadde platetermometerene blitt plassert nærmere, eller lengre borte fra vinduet. I forsøksoppsettet ble de plassert 1,2 m fra vinduet.

6.1.3 Evaluering av sikt

Evalueringen av sikt er gjort fra observasjoner fra videoopptak og kan derfor være noe varierende ut fra personen som gjør siktvurderingen. Dette kan forårsake en feilmargin som gjør at resultatene for sikt bør vurderes som et estimat. Grunnet redusert brannforløp i det første forsøket, er sikten blitt evaluert i løpet av de første 15 minuttene, men drastiske verdiendringer ved en lengre evalueringstid er ikke forventet.

6.1.3.1 Sikten påvirket av brensel

Brenselet benyttet for å opprettholde temperaturene i rommet var hovedsakelig av plastbasert materiale. Dette gir ufullstendige forbrenninger og resulterer i en større produksjon av tykk svart røyk enn hva som kan være normalt ved en normal soveromsbrann. Det er forventet at sikten vil være påvirket av brenselet brukt da mengde brensel varierte mellom hvert forsøk.

For forsøkene med sprinklerhode installert var det behov for å bruke mer brensel for å opprettholde temperaturene i rommet grunnet temperaturreduksjonen forårsaket av vannet. I løpet av de første 10 minuttene av forsøkene var det behov for å bruke tre til fire ganger ekstra brensel for disse forsøkene i sammenligning til det første forsøket. Dette kan ha forårsaket at det ble observert bedre sikt for forsøket gjort uten tiltak i forhold til forsøk 2 og 4. Full liste over ekstra brensel benyttet for alle forsøkene kan finnes i Vedlegg B – Liste over brensel benyttet.

6.1.3.2 Sikten påvirket av værforhold

Selv om det var forsøkt å gjennomføre alle forsøkene på dager som hadde noenlunde like værforhold, viste det seg at dette ikke skjedde i praksis. Gjennomgang av video fra forsøkene viser at det var forskjell på hvordan røyken oppførte seg ut fra vindretningen. Eksempelvis gjorde den nordvestlige vindretningen for forsøk 2 og 3 at røyk som unnslett ventilasjonshullet ble dratt inn i svalgangen og dermed også trolig forårsaket dårligere sikt.

På dagen av det fjerde forsøket var det lett regn før forsøket startet, og det var derfor mer fuktighet i rommet og svalgangen. Video fra forsøket viser at dette påvirket forsøket på negativ måte med at en mindre fullstendig forbrenning kunne ta plass, som gav ekstra røykproduksjon, spesielt i starten av forsøket.

Sikten ble observert som noe forbedret for forsøkene gjort med vindu og sprinklerhode installert, men det ble observert 6 % dårligere sikt for forsøk 4 i forhold til kontrollforsøket, noe som kan være på grunn av brensel brukt, feilmargin og andre ukontrollerbare faktorer som værforhold og turbulens.

6.1.4 Resultatene sammenlignet med hypotesen

Hypotesen antok at varmestrålingen og sikten ville bli redusert av vannveggen alene, men ikke godt nok til å være innenfor akseptkriteriet. Ved installasjon av vindu ble det antatt at varmestrålingen ville være innenfor akseptkriteriet, men ikke sikten. Hypotesen konkluderte med at løsningen derfor ikke ville være godkjent mot akseptkriteriene.

Forsøkene viste at kriteriet for kortvarig varmestråling var godkjent for alle forsøkene gjort med vannvegg, selv uten vindu installert. Ved å se bort fra at faktorer som værforhold, brensel og subjektiv røykevaluering hadde noe å si om siktkriteriet i forsøkene, viser forsøkene ingen merkbar effekt på reduksjon av røykopsamlingen i svalgangen. Sikten brytes flere ganger gjennom alle forsøkene, men ettersom det blir spesifisert at dette nødvendigvis ikke er uakseptable forhold ved første tegn for brudd, kan det ikke vurderes uten å vite utformingen av bygget. Hvis svalgangen er eneste tilgjengelige rømningsvei er akseptkriteriet ikke godkjent og det stilles derfor en korrekt hypotese.

6.2 Sprinklerhode utsatt for brukerfeil

Ved bruk av aktive brannsikringstiltak som sprinkleranlegg, vil det være mulighet for at brannsikkerheten svekkes grunnet menneskelige feil eller hærverk. Ved bruk av vannvegg som erstatning for vinduer med brannmotstand, er det viktig at sprinklerhodet får oppnå ønsket spredemønster. Hvis brukeren installerer persienner, gardiner eller annet ved vinduet kan dette komme i veien for spredemønsteret og dermed hindre funksjonen av tiltaket. Dette vil ikke derimot ikke være et problem ved bruk av brannklassifiserte vinduer.

6.3 Det optimale sprinklerhodet for oppgaven er ikke benyttet

Et sprinklerhode som er ment for å nedkjøle vinduet er blitt benyttet for alle forsøkene. Sprinklerhodet har en vannreflektor som gjør at vannet går inn mot vinduet, hvor sprinklerhodets datablad anbefaler installasjon ned fra taket slik at den kan direkte spyle vann på vinduet. For å oppnå ønsket spredemønster var det behov for å neglisjere produsentens installasjonsinstruksjoner og anbefalt trykk. Dette resulterte dermed at vannstrømmen også ble redusert som kan ha forårsaket en redusert evne til å redusere varmestrålingen og røyken gjennom vindusåpningen. Selv med endret installasjon og trykk, avgir sprinklerhodet fortsatt noe vann inn mot rommet og langs veggene på siden av vinduet. Dette gjør at deler av vannstrømmen også blir brukt for å kjøle ned veggene på siden av vinduet og flammene inne i rommet i stedet for foran vinduet.

Et sprinklerhode som er spesiallaget til dette bruksområdet med en lavere K-faktor og en flatere vannreflektor kunne ha dirigert vannet i en smalere vertikal vannvegg slik at vann ikke gikk tapt til omgivelsene og et optimalt vanntrykk kunne ha blitt opprettholdt.

Hvis forsøkene hadde blitt utført med et slikt sprinklerhode er det forventet at vannforbruket kunne ha blitt optimert, og dermed vesentlig forbedret resultatene for både varmestrålingen og røykutslippet ut åpningen.

6.4 Allerede installert boligsprinkler

I byggverk eller deler av byggverk som står i risikoklasse 4 hvor det kreves heis, vil det være preakseptert å ha automatisk brannsløkkeanlegg i henhold til VTEK17 § 11-12 første ledd bokstav a. Det vil derfor være mulig at automatisk brannsløkkeanlegg allerede er i bruk i situasjoner hvor løsningen kan være ønskelig.

6.4.1 Spredemønster og aktivering påvirket?

For byggverk hvor vannvegg vil være en potensiell løsning og annet automatisk brannsløkkeanlegg blir benyttet, må det tas hensyn til at annet sprinklerhode ikke påvirker spredemønsteret til løsningen, eller at bulben blir fuktet som kan forårsake tregere utløsning.

Hvis boligsprinkleren aktiveres først, er det tenkelig at romtemperaturen også vil reduseres som kan forårsake at vannvegg sprinkleren ikke aktiveres. Hvis dette skjer, er det tenkelig at rombrannen ikke vil

kunne utvikle seg til en fullt utviklet brann, slik at tiltaket vil fungere som redundans og trygg evakuering fortsatt kan skje utenfor vinduet.

6.5 Annen utfordring med åpne vinduer i rømningsveien

Forsøkene viser at varmestrålingen oppnådd i svalgangen er innenfor akseptkriteriene, men med åpne vinduer stilles det også andre utfordringer. Ved implementering av løsningen sammen med vinduer av samme typen som er benyttet i forsøkene vil åpningen forårsake at vinduet blokkerer deler av svalgangens fluktvei i en bredde opp mot vinduets lengde. En bredere svalgang kunne eksempelvis blitt iverksatt sammen med løsningen for å fortsatt tillate 1,5 m rømningsbredde utover vinduets maksimale lengde.

Den reduserte sikten kan også forårsake at evakuerende ikke ser vinduet og løper inn i blokkeringen. Vinduet vil også tillate knust glass til å oppstå i svalgangen som kan skade forbipasserende.

Herdet glass kunne blitt benyttet da det er designet for å smuldre opp i rektangulære biter og vil derfor påføre forbipasserende mindre skader, mens installasjon av bunnhengslede vinduer er forventet å løse begge disse problemene og burde blitt vurdert. Dette er ikke testet i forsøkene utført.

6.6 Feilkilder

Rapporten danner sine funn ut fra begrenset antall forsøk gjort utendørs med varierende værforhold. Det er også mulighet for at menneskelige feil, mangel på utstyr og ujevn bruk av brensel som kan være parametere som vil gi forskjellige resultater. Dette nevnes som feilkilder under.

- Forsøkene var gjort utendørs og dermed påvirket av vær og vind. Selv om det var forsøkt å utføre forsøkene på dager med relativt like værforhold, viste det seg at både vindretning og hastighet var forskjellig som kan påvirke resultatene.
- Dataloggeren ble ikke startet for det tredje forsøket. Dataloggeren var satt på «observasjonsmodus» og dermed logget ingen resultater. Det ble tatt video fra hele forsøket, hvor informasjon som ble sagt underveis er blitt summert i Tabell 36 og ett bilde tatt fra dataloggeren ca. 20 minutter inn i forsøket er eneste resultatene tilgjengelig. Dette forsøket blir derfor sett på som et kontrollforsøk av det fjerde forsøket hvor det tyder på at observasjonene er nokså like blant de to.
 - Det fjerde forsøket ble utført grunnet manglende resultater fra det tredje forsøket. Det var hovedsakelig tenkelig å bare utføre tre forsøk, hvor disse var planlagt etter best mulig værforhold. Ettersom det ikke ble gjort noen målinger for det tredje forsøket, var det behov for å sette opp enda ett forsøk. Dette fjerde forsøket ble anbefalt å holdes snarest for å respektere nye koronatiltak i kommunen. Forsøket ble holdt førstkommande ukedag, hvor det hadde regnet bare noen timer før forsøket ble holdt.
- Platetermometerene var plassert i en trekasse som skjermet for vind. Denne kassen ble montert på et stativ for å sette platetermometerene i samme høyde som vinduet. Stativet viste seg å ha en helning som gjorde at platetermometerene hadde ulike distanser fra vinduet. Verdiene fra det øverste platetermometeret, og dermed også det nærmeste til vinduet, er blitt benyttet for å demonstrere verst tenkelig varmestråling.
 - Ved en korrekt støttet boks inneholdende platetermometerene, kunne den ha blitt plassert 0,26 m nærmere for å kunne simulere den standardiserte skulderbredden på 18 tommer (~ 0,46 m) basert på dimensjonene for den menneskelige figuren. [26] Ettersom

resultatene hovedsakelig baserer seg på det øverste platetermometeret, P3, som er antatt å være 0,2 m nærmere vinduet enn det laveste platetermometeret P1, simulerer forsøkene en skulderbredde på evakuerende lik ca. 0,41 m hvis de flykter nærmest rekkverket. Ettersom verdiene hentet for varmestråling er beregnet med emissivitet lik 0,85, og verdiene fortsatt var godt innenfor akseptkriteriene, antas det at en nærmere plassering fortsatt ikke ville overgått akseptkriteriet for forsøkene med vindu og sprinklerhode.

- Boksen som inneholdt platetermometerene var laget av brennbart materiale som forårsaket at boksen antente på det første forsøket. Dette vil påvirke resultatene for temperaturen på platetermometerene etter antennelse for forsøket og dermed også verdien for varmestrålingen. Hadde taket på boksen hatt et lag av gips eller annet ubrennbart materiale, kunne resultater fra et lengre brannforløp ha blitt hentet inn som hadde dannet et bedre grunnlag for sammenligning av de forskjellige forsøksoppsettene.
- Teoretisk vannstrøm og trykk for sprinklerhodet ble beregnet på bakkenivå som forklart i kap. 3. Dette resulterte i at trykktapet fra høydeforskjellen mellom bakkenivå og sprinklerhodets endelige plassering ikke ble vurdert og teoretisk vannstrøm varierer derfor fra de målte verdiene. En høyere vannstrøm foran vinduet kunne forårsaket at mer av varmestrålingen kunne ha blitt stoppet.
- Det var ønskelig å bruke en kontrollert mengde uniformt brensel underveis, men annet brennbart materiale som var tilgjengelig på området ble også brukt. Dette resulterte i at brensel med forskjellige brennverdier, vekt og størrelser ble benyttet under forsøkene og kan gi noe differanse mellom temperaturendringene i rommet og røykopsamling i svalgangen. Det er forsøkt å oppsummere alt brenselet benyttet i Vedlegg B – Liste over brensel benyttet. Oppsummeringen er gjort etter observasjoner gjort gjennom videoopptak, men brensel med forskjellige dimensjoner går fortsatt under samme benevnelse, eksempelvis «Treplanke», kan være 0,5 m eller 2 m.
- Før forsøkene med sprinkleranlegg ble utført, ble det drillt hull i gulvet for å tillate drenering slik at rommet ikke fyltes med vann gjennom et 30 minutters langt brannforløp. Under det andre forsøket ble det oppdaget at noen av hullene laget ble tettet av rester fra brenselet som forårsaket oppsamling av vann. Flere, tykkere hull ble laget før forsøk 3 ble utført. Dette gjør at romtemperatur og fuktig av brensel i forsøk 2 vil være noe mer påvirket av vann i rommet enn etterfølgende forsøk.

6.7 Videre arbeid

Det ble utført et begrenset antall forsøk i forbindelse med testing av vannvegg som et tiltak, hvor det er klart at flere forsøk gjort med forskjellige konfigurasjoner hadde hjulpet med å bevise tiltakets effekt. Under er det listet noen ønskede forbedringer på testoppsett og metode for videre arbeid:

1. Flere kontrollforsøk.

Oppgaven baseres ut fra fire forsøk som er utført, hvor bare ett kontrollforsøk er blitt gjort for løsningen sammen med vindu i 45 graders åpning. Dette kontrollforsøket kunne ikke verifisere varmestrålingen ut mot termoelementene eller temperaturen i rommet da loggføringen ikke ble startet. Grunnet COVID19 var det begrenset med tid for flere forsøk, og gruppen ble anbefalt å avslutte for å ikke gå imot reglene rundt nedstengningen av Haugesund.

2. Forsøk gjort med det «ideelle» sprinklerhodet.

Selv med et sprinklerhode som ikke var laget for dette bruksområdet, ble det registrert resultater for varmestråling som er godkjente under akseptkriteriet. Det er forventet en større reduksjon av varmestrålingen ved bruk av et sprinklerhode som er spesiallaget for bruksområdet.

3. Flere vinduskonfigurasjoner

Forsøkene ble gjort med et forsøksoppsett som testet virkningen av ingen vindu og vindu med 2-lags glass med omtrent 0,9 x 0,9 m vindusoverflate som hadde en 45 graders åpning. Ved mulighet for flere forsøk kunne det vært av interesse å teste blant annet:

- a. Forskjellige vindusåpninger. Inkluderende lukket vindu.
- b. Flere vindusstørrelser.
- c. Bruk av vindu med brannmotstand. Ettersom forsøk 4 holdt seg under akseptkriteriet for kontinuerlig varmestråling i tiden hvor vinduet holdt strukturen sin, er det tenkelig at bruk av et brannvindu som kan åpnes i samme grad som testoppsettet vil kunne forårsake at varmestrålingen er kraftig redusert gjennom hele brannforløpet. Dette er ikke vurdert da rapporten fokuserer på å finne en erstatning for brannvinduer.
- d. Annen vindushengsling. Forsøkene ble utført med topphengslende vinduer slående ut mot svalgangen. Ved bruk av bunnhengslende vinduer vil dette redusere risikoen for glass- og ekstra hindring i svalgangen. Det er også tenkelig at et bunnhengslet vindu kan ha mulighet for å lukke seg selv grunnet trykkforskjellene som oppstår mellom svalgangen og soverommet ved en fullt utviklet brann.

4. Reell soveromsbrann

Forsøkene i rapporten har forsøkt å opprettholde romtemperaturer i likhet med tid-temperaturkurven fra *ISO 834*, som representerer forhold som ofte vil være mer belastende i forhold til temperaturen i en konvensjonell brann.

Det kunne vært av interesse å se på effekten av tiltaket i en brann som oppstår i et fullt innredet soverom med trevegger og veggdekor utstyrt med seng, kommode og kontorpult sammen med andre normale gjenstander som vil være på et soverom, blant annet klær, datamaskin og bøker.

7 Konklusjon

For å besvare om vannvegg kan være en erstatning for brannvinduer mot svalgang er det blitt utført totalt fire forsøk, hvor det bare er ett loggført forsøk for hvert oppsett. Dette vil gi en begrenset mengde resultater for å kunne gi et konkret svar til oppgaven ettersom resultatene fra forsøkene kan variere ut fra flere faktorer som for eksempel værforhold, utstyr og oppsett.

Vannveggen ble testet opp mot brannintensiteter som for det meste overstiger temperaturen gitt i tid-temperatur kurven fra *ISO 834*. Det ble gjort totalt to loggførte forsøk med vannvegg aktivt med forskjellige vindusåpninger, varierende mellom 24 og 30 minutters brannforløp. Akseptkriteriet for menneskelige tålegrenser ble aldri brutt for noen av disse forsøkene, hvor varmestrålingen holder seg under 9 kW/m^2 for forsøket gjort uten vindu installert og under 5 kW/m^2 for forsøket gjort med vindu i 45 graders åpning.

Akseptkriteriet for sikt blir vurdert ut fra observasjoner gjort fra de første 15 minuttene for hvert forsøk, hvor det ikke ser ut til at tiltaket har noe effekt på forbedringen av sikten i svalgangen. Ettersom akseptkriteriet for sikt har som funksjon å sikre at evakuerende har minst én mulig rømningsvei med tilfredsstillende sikt, kan sikten brytes og dermed løsningen iverksettes såfremt det finnes alternative veier med tilfredsstillende sikt. [23]

Selv med redusert antall testing, kan det konkluderes med at vannveggen har en reduserende effekt på varmestrålingen. I løpet av de første 7 minuttene er det målt en reduksjon av varmestrålingen med 31,7 % for tiltaket alene uten vindu installert. I samme tidsintervall er det målt en reduksjon av varmestrålingen med 86 % for forsøket gjort med vindu og vannvegg installert. Dette resulterer i at begge forsøksoppsettene holdt seg under akseptkriteriet for kortvarig strålingsintensitet.

Ettersom varmestrålingen også holder seg under kriteriet om samlet varmestråling på 60 kJ/m^2 i 7 sekunder for forsøket uten vindu og 16 sekunder eksponeringstid for halvåpent vindu, konkluderes det med at tiltaket gir godkjente verdier for varmestråling ved begge forsøksoppsettene.

8 Litteraturliste

- [1] «SNL - Store Norske Leksikon,» [Internett]. Available: <https://snl.no/>.
- [2] «Ufullstendig forbrenning - Kollegiet for brannfaglig terminologi,» [Internett]. Available: <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp?Uttrykk=ufullstendig%20forbrenning>. [Funnet 19 April 2021].
- [3] «Direktoratet for samfunnssikkerhet og beredskap,» Juli 2015. [Internett]. Available: <https://www.dsb.no/lover/brannvern-brannvesen-nodnett/veiledning-til-forskrift/brannsikring-av-kirkebygg--en-temaveiledning-for-kirkebyggforvaltninger/#tekniske-krav>. [Funnet 6 Mai 2021].
- [4] «Byggteknisk forskrift (TEK17),» Direktoratet for Byggkvalitet, [Internett]. Available: <https://dibk.no/regelverk/byggteknisk-forskrift-tek17/>.
- [5] T. I. W. K. A. K. S. Steffen Oliver Sæle, «Er det mulig å rømme forbi åpne vinduer i svalgang ved brann?,» Høgskulen på Vestlandet, 2017.
- [6] «SN-INSTA/TS 950,» Standard Norge, 2014.
- [7] F. Fikse, «En risikovurdering ved bruk av svalgang som rømningsvei,» Universiteter agder, agder, 2016.
- [8] «Fire Safety Advice Centre,» Safelincs, 1 April 2011. [Internett]. Available: <https://www.firesafe.org.uk/information-about-the-fire-triangle-tetrahedron-and-combustion/>. [Funnet 16 Mai 2021].
- [9] B. C. Hagen, Grunnleggende brannteknikk 2.utgave, 2018.
- [10] G. Liebe, Brann i Bygg, 2016.
- [11] J. G. Bjørn Karlsson, Enclosure Fire Dynamics.
- [12] «321.051 - Brannenergi i bygninger. Beregninger og statiske verdier,» *Byggforsk*, Desember 2013.
- [13] H. Oremestad, «Varmeledning - Store Norske Leksikon,» 27 Oktober 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/varmeledning>. [Funnet 14 April 2021].
- [14] J. P. Stensaas, «Røykproduksjon ved branner offshore,» SINTEF, Trondheim, 2007.
- [15] D. Drysdale, an Introduction to Fire Dynamics, Hoboken, new jersey: Wiley & Sons, Ltd publisher, 2011.
- [16] «NS-EN 13501-2,» Standard Norge, 2020.
- [17] G. Liebe, «Brannklassifisering - Store Norske Leksikon,» 8 Oktober 2020. [Internett]. Available: <https://snl.no/brannklassifisering>. [Funnet 11 Mai 2021].

- [18] «323.111 - Svalganger i boligbygninger,» *Byggforsk*, Februar 2021.
- [19] «NS-EN 16925:2018+NA:2019,» Standard norge, 2019.
- [20] «Generelt om sprinkler - Brannvernforeningen,» Opplysningskontoret for automatiske slokkeanlegg, [Internett]. Available: <https://brannvernforeningen.no/slokkeanlegg/ulike-slokkeanlegg/sprinkler/generelt-om-sprinkler/>. [Funnet 18 Mai 2021].
- [21] «Fireglass,» Allegion, [Internett]. Available: <https://www.fireglass.com/products/glass/firelite-plus-ws/>. [Funnet 17 Mai 2021].
- [22] «Standard.no,» [Internett]. Available: <https://www.standard.no/nyheter/nyhetsarkiv/bygg-anlegg-og-eiendom/2019/ny-standard-for-boligsprinkler/>.
- [23] «520.387 - Tilgjengelig rømningstid ved brann,» *Byggforsk*, Mai 2016.
- [24] «520.385 - Nødvendig rømningstid ved brann,» *Byggforsk*, Mai 2016.
- [25] M. Hurley, *SFPE Handbook of Fire Protection Engineering*, Springer, 2016.
- [26] «Dimensions of the Human Figure,» 20 September 2014. [Internett]. Available: <https://www.jneuhaus.com/human.html>. [Funnet 6 Mai 2021].
- [27] SFPE, «Assessment of Hazards to Occupants from Smoke, Toxic Gases, and Heat,» i *Handbook of Fire Protection Engineering, 5th edition*, New York, Springer-Verlag New York Inc., 2016, p. 3493.
- [28] «GW Sprinkler - Window Drencher datablad,» 4 Mai 2015. [Internett]. Available: <https://www.gwsprinkler.com/products/sprinkler-heads/sealed-window-drencher/51-sealed-window-drencher/file>. [Funnet 14 April 2021].
- [29] «Internation Fire Curves,» Promat International, [Internett]. Available: http://www.prtc.be/en/corporate_info/international%20fire%20curves. [Funnet 20 April 2021].
- [30] H. I. Ulf Wickström, «Measuring incident radiation heat flux using the plate thermometer,» *Fire Safety Journal*, 2007. [Internett]. Available: https://www.researchgate.net/publication/245054332_Measuring_incident_radiant_heat_flux_using_the_plate_thermometer. [Funnet 6 Mai 2021].
- [31] C. Gustavsson, «The Plate thermometer heat flux meter - An accuracy and calibration study, bachelor,» Luleå University of Technology, Luleå, 2017.

9 Vedlegg

1. Vedlegg A – Beregninger
2. Vedlegg B – Liste over brensel benyttet
3. Vedlegg C – Liste over siktevaluering
4. Vedlegg D – Liste over vannforbruk
5. Vedlegg E – Tilleggsresultater
6. Vedlegg F - Datablader

9.1 Vedlegg A – Beregninger

Før forsøkene ble utført, ble det gjort beregninger for å prosjektere ønsket brannforløp.

9.1.1 Beregninger av brannenergi, startbrensel

For å bestemme hvor mye brensel som skal brukes i forsøkene så gjøres det beregninger sammen med erfaringsbaserte beslutninger. Formålet til beregningene er å vurdere om det er mulig å oppnå maksimal effekt som følge av en oksygenstyrt brann.

9.1.1.1 Beregning av brannenergi

Brenselet som blir brukt for hvert forøk består av en seng (polysterene), Europaller og heptan. Alle tallverdier og formler som blir brukt til å regne brannenergi er hentet fra læreboken Enclosure Fire Dynamics om ikke annet er nevnt.

9.1.1.2 Beregning av oksygentilførsel

For beregning av potensiell brannenergi fra oksygen ble følgende ligninger brukt:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_2} \cdot \Delta H_{c,O_2} \quad (9.1)$$

$$\dot{m}_{luft} = 0,5 \cdot A \cdot \sqrt{H_0} \quad (9.2)$$

$$\dot{m}_{luft} = \alpha \cdot \dot{m}_{O_2} \quad (9.3)$$

$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_2} \cdot \Delta H_{c,O_2} = \alpha \cdot 0,5 \cdot A \cdot \sqrt{H_0} \cdot \Delta H_{c,O_2} \quad (9.4)$$

$$\Delta H_{c,O_2} = 12700 \text{ kJ/Kg}$$

$$A = (1,20 \text{ m} \cdot 1,13 \text{ m})$$

$$\sqrt{H_0} = \sqrt{1,13}$$

Verdien alfa (α) regnes ut gjennom følgende steg.

Alfa (α) er massefraksjonen av oksygen i luft. Luft består av 0,79 % nitrogen og 21 % oksygen.

$$M_{\text{Nitrogen}} = 28 \text{ g/mol},$$

$$M_{\text{Oksygen}} = 32 \text{ g/mol}.$$

$$0,79 \cdot 28 + 21 \cdot 32 = 28,84 \text{ g/mol} \quad (9.5)$$

For å finne massefraksjonen, multipliseres molmassen til oksygen (32 g/mol) med prosent-andelen av oksygen i luft (0,21), og deles på M_{luft} , for å finne hvilken massefraksjon oksygenet har i luft. Dette gir:

$$\frac{0,21 \cdot 32 \text{ g/mol}}{28,84 \text{ g/mol}} = 0,23 \quad (9.6)$$

Videre settes alle tallverdier i formelen og får den endelige utregningen.

$$0,23 \cdot 0,5 \cdot (1,13 \cdot 1,20) \cdot \sqrt{1,13} \cdot 12700 \approx 2105 \text{ kW}$$

9.1.1.3 Brannenergi - heptan i kar

For beregning av potensiell brannenergi av heptanen så brukes ligningen:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot H_{c,hept.} \quad (9.7)$$

$$\chi = 0,7$$

$$\dot{m}'' = 0,075$$

$$A_f = 1$$

$$H_{c,hept.} = 44600$$

$$\dot{Q} = 0,7 \cdot 0,075 \cdot 1 \cdot 44600 = 2341,5 \text{ k}$$

9.1.1.4 Brannenergi - Polystyrene madrass

For potensiell brannenergi fra polystyrene brukes formel 9.7:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot H_{c,poly.}$$

$$\chi = 0,7$$

$$\dot{m}'' = 0,039$$

$$A_f = 1,5$$

$$H_{c,poly.} = 39200$$

$$\dot{Q} = 0,7 \cdot 0,039 \cdot 1,5 \cdot 39200 = 1605 \text{ kW}$$

9.1.1.5 Brannenergi - Europaller

Det tas utgangspunkt i følgende:

- Standard euro palledimensjon er 1.2m x 0,8m x 0,144m (LxBxH)
- Spesifikk, statistisk branneffekt (overflateareal) til stabel med paller på 5 fot: 3970 kW/m²
- 1 fot = 0,3047 m, 1 pallehøyde = 0,47 fot

$$\dot{Q}_{Palle} = \dot{q}''_{Pallestabel} \cdot A_{Pall} = \dot{q}''_{Pall} \cdot \frac{1 \text{ pall}}{\text{stabel}} \cdot A_{Pall} \quad (9.8)$$

$$3970 \cdot \frac{0.47}{5} \cdot 0.96 \approx 373 \text{ kW/pall}$$

Oppsummert:

- Maksimal brannenergi man kan få av en oksygenstyrt brann = 2105 kW
- Maksimal brannenergi man kan få av polysterene (seng) = 1605 kW
- Maksimal brannenergi man kan få av heptan = 2341,5 kW
- Maksimal brannenergi man kan få av en palle er ≈ 373 kW

Brenselet summert blir:

$$1605 + 2341 + 373 \times 2 = 4692 \text{ kW}$$

Når alt brenselet er summert så ser man at brannenergi oksygen < brannenergi brensel. Ettersom målet med heptanet bare er å få startet brannen, neglisjeres brannenergien for heptan som gir

$$1605 + 746 = 2351 \text{ kW}$$

Dette er estimater, da blant annet den nøyaktige brannenergien fra sengene vil bestå av polysterene, treverk og annet materiale som ikke har blitt tatt til betraktning. Forsøksrommet har også et annet vindu og flere sprekker i veggene som kan økte oksygentilførselen.

9.2 Vedlegg B – Liste over brensel benyttet

Oppsummeringen av brensel benyttet underveis for forsøkene er gjort etter observasjoner gjennom videoopptak. Ettersom noe av brenselet benyttet ble kastet inn da dette var tilgjengelig på området, var det brensel av forskjellige dimensjoner, vekt og brennverdi som ikke ble målt opp før det ble benyttet. Det vil derfor være brensel av forskjellige dimensjoner som går under samme benevnelse, eksempelvis «Treplanke» kan være 0,5 m eller 2 m.

9.2.1 Forsøk 1

Tabell 24 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 1

Tid etter antennelse	Brensel
00:00:00	Antennelse
00:05:13	Plastkasse
00:05:21	Plastkasse
00:05:30	Plastkasse

9.2.2 Forsøk 2

Tabell 25 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 2

Tid etter antennelse	Brensel
00:00:00	Antennelse
00:02:50	Plastkasse
00:02:59	Plastkasse
00:04:10	Plastkasse
00:07:31	Plastkasse
00:07:47	Plastkasse
00:07:59	Plastkasse
00:08:13	Plastkasse
00:08:23	Plastkasse
00:08:34	Pose med løsplastikk
00:09:54	Plastkasse
00:10:05	Plastkasse
00:10:18	Plastkasse
00:10:29	Pose med løsplastikk
00:13:40	EU-Palle
00:13:52	Plastkasse
00:14:11	Liten vintage trekommode
00:14:42	Plastkasse
00:18:13	Plastkasse
00:18:25	Pose med løsplastikk
00:18:42	Pose med løsplastikk
00:18:53	Pose med løsplastikk
00:19:21	Treplate
00:19:37	Treplate
00:21:24	Engangspalle
00:21:52	Engangspalle
00:22:14	Pose med løsplastikk
00:22:25	Pose med løsplastikk

9.2.3 Forsøk 3

Tabell 26 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk #3

Tid etter antennelse	Brensel
00:00:00	Antennelse
00:02:58	Plastkasse
00:03:08	Plastkasse
00:03:17	Plastkasse
00:03:27	Pappboks med 4 x plastikk vinglass
00:03:40	Pappboks med 4 x plastikk vinglass
00:03:51	Plastkasse
00:04:36	Treplanke
00:04:47	Treplanke
00:04:49	Treplanke
00:06:43	Plastkasse
00:06:57	Engangspalle
00:07:11	Engangspalle
00:07:26	Plastkasse
00:09:50	Treplanke
00:10:03	Treplanke
00:10:15	Treplanke
00:10:40	Treplanke
00:12:07	Kingsize overmadrass
00:12:18	Treplanke
00:12:29	Treplanke
00:12:39	Treplanke
00:12:53	Treplanke
00:14:16	Engangspalle
00:14:38	Plastkasse
00:15:21	Engangspalle
00:15:31	Plastkasse
00:15:49	Plastkasse
00:16:02	Pappboks med 4 x plastikk vinglass
00:16:27	Plastkasse
00:18:54	2 x treplanker
00:19:12	2 x treplanker
00:19:39	Plastkasse
00:19:43	Plastkasse
00:20:03	2 stk treplanker
00:20:18	Treplanke
00:20:40	2 stk treplanker
00:20:51	Treplate
00:21:09	Pose med 4 treplanker
00:23:45	Engangspalle
00:24:02	Liten sofapuff
00:24:20	Pappeske
00:24:42	Pappeske + 1 plastikkpose
00:25:11	2 stk treplanker
00:25:33	Liten sofapuff

00:25:50	Pappeske
00:26:05	2 stk treplanker
00:29:50	Pose med løplastikk
00:30:08	2 stk treplanker

9.2.4 Forsøk 4

Tabell 27 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 4

Tid etter antennelse	Brensel
00:00:00	Antennelse
00:00:53	Puff
00:01:11	Plastkasse
00:01:18	Plastkasse
00:04:07	Engangspalle
00:04:19	Treplanke
00:04:34	Engangspalle
00:05:07	Plastkasse
00:05:15	Plastkasse
00:06:19	Engangspalle
00:06:38	Plastkasse
00:08:45	Engangspalle
00:08:56	Treplanke
00:09:14	Plastkasse
00:11:22	Plastkasse
00:11:33	Plastkasse
00:11:50	Engangspalle
00:13:48	Kryssfiner plate
00:14:02	Kjøkkenstol i tre
00:14:14	Plastkasse
00:14:32	Treplanke
00:14:56	Plastkasse
00:16:58	Engangspalle
00:17:10	Plastkasse
00:18:27	Plastkasse
00:18:49	Treplanke
00:19:06	2 x Treplanker
00:19:14	Plastkasse
00:20:45	Kryssfiner plate
00:20:59	Plastkasse
00:21:17	Engangspalle
00:21:44	Kjøkkenstol i tre
00:21:56	Plastkasse
00:22:10	Plastkasse
00:22:35	Engangspalle
00:22:53	3 stk Treplanker
00:25:34	Plastikk presenning
00:26:19	Plastkasse
00:26:40	2 stk Treplanker

00:26:52	Treplanke
00:27:05	Treplate
00:27:32	3 stk Treplanker
00:27:45	Plastkasse
00:28:01	Kjøkkenstol i tre
00:28:22	Kryssfiner plate
00:28:38	2 stk Treplanke
00:29:01	3 stk Treplanke
00:29:25	Treplanke

9.3 Vedlegg C – Liste over siktevaluering

Som tidligere nevnt i rapporten er siktevalueringen gjort gjennom observasjoner fra videoklipp. Dette vil forårsake at siktevalueringen kan være noe subjektiv.

9.3.1 Forsøk 1

Det ble bare benyttet tre plastkasser som ekstra brensel for det første forsøket. Dette er en faktor som burde tas med under betraktning.

Tabell 28 - Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 1

Dårlig sikt gjennom svalgangen		
Tidspunkt (start)	Tidspunkt (slutt)	Total tid
15:25:24	<i>Tid for antennelese</i>	
15:29:38	15:30:32	54 sek
15:34:37	15:34:38	1 sek
15:34:59	15:35:05	6 sek
15:35:21	15:38:40	3 min 19 sek
15:38:47	15:38:54	7 sek
15:39:16	15:39:36	20 sek
15:39:41	15:39:45	4 sek
15:40:10	15:40:15	5 sek
15:40:24	<i>Avsluttet observasjon</i>	
Totalt		4 min 56 sek

9.3.2 Forsøk 2

Forsøk 2 som hadde vannvegg foran vindusåpningen, men ingen vindu installert, brukte totalt 13 plastkasser sammen med annet brennbart materiale i løpet av de første 15 minuttene. Det ekstra brenselet som er benyttet i forhold til det første forsøket kan ha forårsaket at det ble observert verre sikt gjennom svalgangen enn det første forsøket.

Tabell 29 - Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 2

Dårlig sikt gjennom svalgangen		
Tidspunkt (start)	Tidspunkt (slutt)	Total tid
15:38:37	<i>Tid for antennelese</i>	
15:42:23	15:44:57	2 min 34 sek
15:48:32	15:48:53	21 sek
15:48:55	15:49:04	9 sek
15:49:12	15:52:20	3 min 8 sek
15:53:29	15:53:37	8 sek
15:53:37	<i>Avsluttet observasjon</i>	
Totalt		6 min 20 sek

9.3.3 Forsøk 3

Forsøk 3 som hadde vannvegg foran vindusåpningen og vindu installert med 45 graders åpning, brukte totalt 7 plastkasser sammen med annet brennbart materiale i løpet av de første 15 minuttene. Reduksjonen av plast kasser benyttet i forhold til forsøk 2, kan ha bidratt med at sikten opplevdes bedre gjennom

svalgangen. Vindretningen virket også som den hadde stor betydning på sikteevalueringen da røyk som kom ut fra ventilasjonshullet ble dratt inn mot svalgangen som hindret sikten videre.

Tabell 30 – Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 3

Dårlig sikt gjennom svalgangen		
Tidspunkt (start)	Tidspunkt (slutt)	Total tid
13:23:40	<i>Tid for antennelse</i>	
13:24:46	13:24:51	5 sek
13:24:54	13:25:04	10 sek
13:25:10	13:25:13	3 sek
13:25:42	13:25:49	7 sek
13:28:03	13:28:05	2 sek
13:28:10	13:28:25	15 sek
13:28:42	13:28:50	8 sek
13:28:59	13:29:07	8 sek
13:29:10	13:29:11	1 sek
13:29:19	13:29:23	4 sek
13:29:34	13:30:02	28 sek
13:30:08	13:30:10	2 sek
13:31:12	13:31:30	18 sek
13:31:36	13:31:38	2 sek
13:31:45	13:32:12	27 sek
13:32:17	13:32:47	30 sek
13:33:41	13:33:58	17 sek
13:34:01	13:34:05	4 sek
13:34:18	13:34:20	2 sek
13:34:38	13:34:43	5 sek
13:34:46	13:34:53	7 sek
13:36:08	13:36:14	6 sek
13:36:20	13:36:25	5 sek
13:36:29	13:36:31	2 sek
13:36:35	13:36:39	4 sek
13:36:41	13:36:57	16 sek
13:38:40	<i>Avsluttet observasjon</i>	
Totalt		3 min 58 sek

9.3.4 Forsøk 4

Forsøk 4 som hadde vannvegg foran vindusåpningen og vindu installert med 45 graders åpning, brukte totalt 10 plastkasser sammen med annet brennbart materiale i løpet av de første 15 minuttene. Det hadde regnet noen timer før det fjerde forsøket ble holdt, som kan ha resultert i større røykproduksjon grunnet ufullstendige forbrenninger.

Etter observasjoner fra virkningen av vindretningen på det tredje forsøket ble det installert en vegg som skilte ventilasjonshullet fra svalgangen. Dette, sammen med at vinden blåste i annen retning, kan ha hatt en positiv virkning på sikteevalueringen i forhold til det tredje forsøket.

Tabell 31 - Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 4

Dårlig sikt gjennom svalgangen		
Tidspunkt (start)	Tidspunkt (slutt)	Total tid
<i>14:13:59</i>	<i>Tid for antennelse</i>	
14:15:37	14:15:41	4 sek
14:16:00	14:16:03	3 sek
14:16:32	14:16:42	10 sek
14:16:55	14:17:01	6 sek
14:17:20	14:17:22	2 sek
14:17:29	14:17:39	10 sek
14:17:41	14:17:54	13 sek
14:17:58	14:18:06	8 sek
14:18:15	14:18:32	17 sek
14:19:07	14:19:10	3 sek
14:21:01	14:21:16	15 sek
14:21:59	14:22:04	5 sek
14:22:04	14:22:14	10 sek
14:22:24	14:22:37	13 sek
14:23:39	14:23:51	12 sek
14:23:57	14:24:23	26 sek
14:24:29	14:24:36	7 sek
14:24:44	14:24:54	10 sek
14:24:58	14:25:02	4 sek
14:25:09	14:25:48	39 sek
14:26:03	14:26:20	17 sek
14:26:36	14:26:48	12 sek
14:26:52	14:27:17	25 sek
14:27:19	14:27:27	8 sek
14:28:02	14:28:20	18 sek
14:28:27	14:28:33	6 sek
14:28:58	14:28:59	1 sek
<i>14:28:59</i>	<i>Avsluttet observasjon</i>	
Totalt		4 min 4 sek

9.4 Vedlegg D – Liste over vannforbruk

9.4.1 Verdier lest av vannmåleren før og etter forsøkene

Det ble tatt bilder av vannmåleren for å notere ned vannforbruket under hvert forsøk. Dette er de verdiene som ble avlest før, og etter forsøket ble gjort ferdig. Disse verdiene er blitt benyttet i kapittel 5.3.25.2.3, 5.3.3, 5.4.4 og 9.5.1.3.

Tabell 32 – Observasjoner fra vannmåler for forsøk 2

Vannmåler for forsøk 2				
Tid fra forsøket startet [min]	Vannmåler per 100 liter	Vannmåler per 10 liter	Vannmåler per 1 liter	Vannmåler per 0.1 liter
0	4	6	1	9
24	19	7	8	0
Differanse	13	3	6	1
Liter per min		5	5	7

Tabell 33 - Observasjoner fra vannmåler for forsøk 3

Vannmåler for forsøk 3				
Tid fra forsøket startet [min]	Vannmåler per 100 liter	Vannmåler per 10 liter	Vannmåler per 1 liter	Vannmåler per 0.1 liter
0	5	4	9	0
57	34	6	9	1
Differanse	29	9	2	1
Liter per min		5	2	5

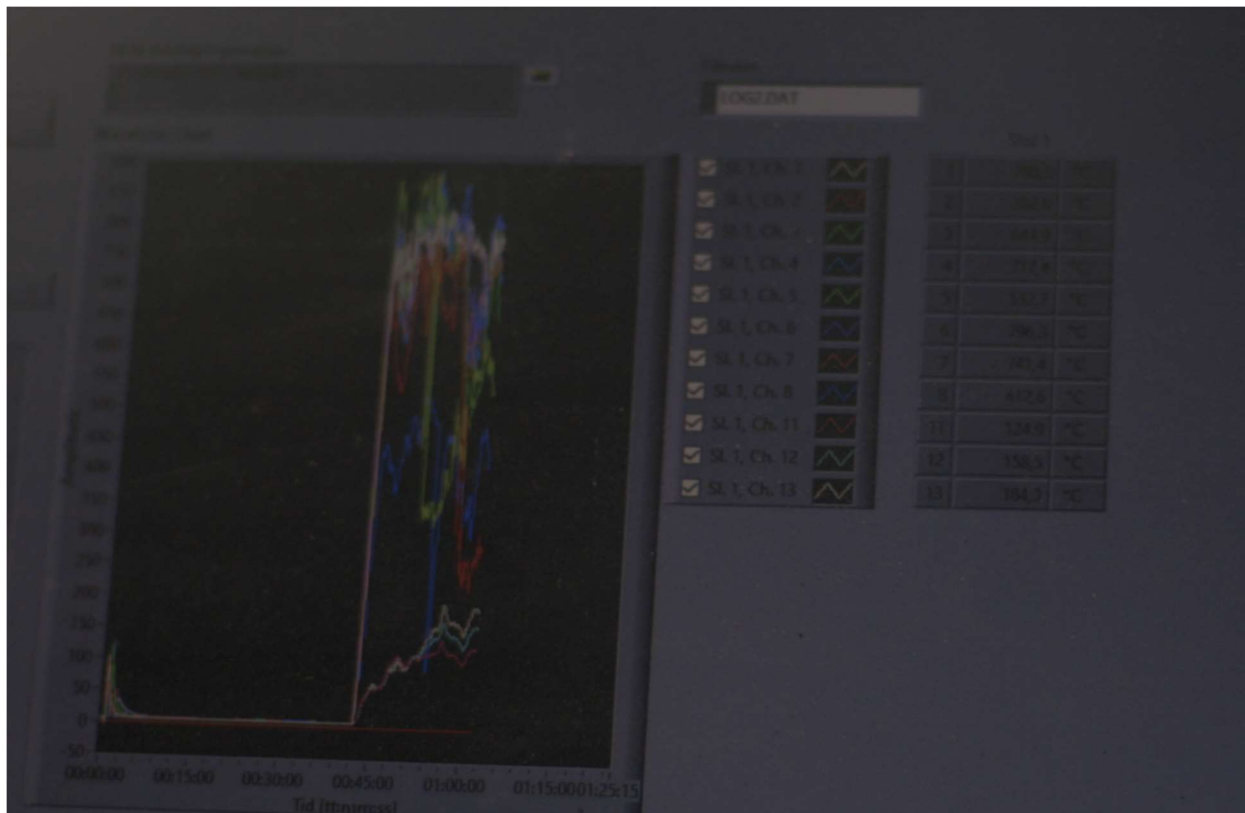
Tabell 34 - Observasjoner fra vannmåler for forsøk 4

Vannmåler for forsøk 4				
Tid fra forsøket startet	Vannmåler per 100 liter	Vannmåler per 10 liter	Vannmåler per 1 liter	Vannmåler per 0.1 liter
0	5	9	9	7
70	45	1	5	7
Differanse	36	9	1	0
Liter per min		5	6	0

9.5 Vedlegg E – Tilleggsresultater

9.5.1 Forsøk 3 – Kontrollforsøk -Sprinkler som vannvegg med halvåpent vindu

Studentene hadde ikke aktivert datalogging for forsøket og har derfor bare et bilde fra programvaren å vise til. Bildet ble tatt ca. 20 minutter inn i forsøket og verdiene avbildet er veldig utydelige. Dette resulterte i at forsøket ikke har særlig verdier å vise til og nytt forsøk ble gjort.



Bilde 25 – Bilde tatt fra Forsøk # 3 ca. 20 minutter inn i forsøket

Værforholdene for dagen av forsøket er hentet fra yr.no og oppsummert i Tabell 35. Vinden ble hovedsakelig observert som nordvestlig på tiden av forsøket.

Tabell 35 - Værforhold for forsøk # 3

Værforhold, hentet fra Yr.no	
Vær	Sol, ingen regn
Temperatur	6,2 °C
Vind	9,2 m/s, nord/øst. (Observert som nord/vestlig)
Luftfuktighet	71 %

9.5.1.1 Observasjoner under forsøket

Gruppen hadde også videokamera med lydopptak gjennom hele brannforløpet hvor informasjonen fra Tabell 36 har blitt innhentet.

Tabell 36 - Hendelser under forsøk # 3

Tid etter antennelse	Hendelse
----------------------	----------

00:00:00	Antennelse
00:00:20	Sprinklerhode aktiveres
00:02:19	800 grader er observert i rommet
00:04:59	70 grader er observert i platetermometeret
00:06:32	100 grader er observert i platetermometeret
00:08:47	Nesten 900 grader er observert i rommet
00:08:47	Fortsatt 100 grader i platetermometeret
00:10:06	Vindu knuser

9.5.1.2 Sikt i tiden for rømning

I løpet av de første 15 minuttene etter brannstart er det observert 3 minutter og 58 sekunder med dårlig sikt gjennom svalgangen. Det vil si det var dårlig sikt ca. 26 % av tiden.

Værforholdet som er tilgjengelig på yr.no tydet for en sør-vestlig vind, men var i realiteten hovedsakelig vestlig med noen drag mot nord. Dette resulterte i at noe røyk fra ventilasjonshullet bidrog med ekstra røykopsamlingen i svalgangen.

Dette er første forsøket hvor sikten blir klassifisert som dårlig før ekstra brensel blir benyttet, hvor totalt 25 sekunder med dårlig sikt har oppstått innen den første plastkassen blir kastet på.

9.5.1.3 Vannforbruk

Det ble gjort målinger for mengde vann som ble brukt under hvert forsøk. Det tok 57 minutter etter brannstart før vannet ble avslått. I denne perioden ble det brukt totalt 2992.1 liter og resulterer i et gjennomsnittlig vannforbruk på 52.5 l/min.

I løpet av de første 30 minuttene ble det derfor benyttet totalt 1575 liter.

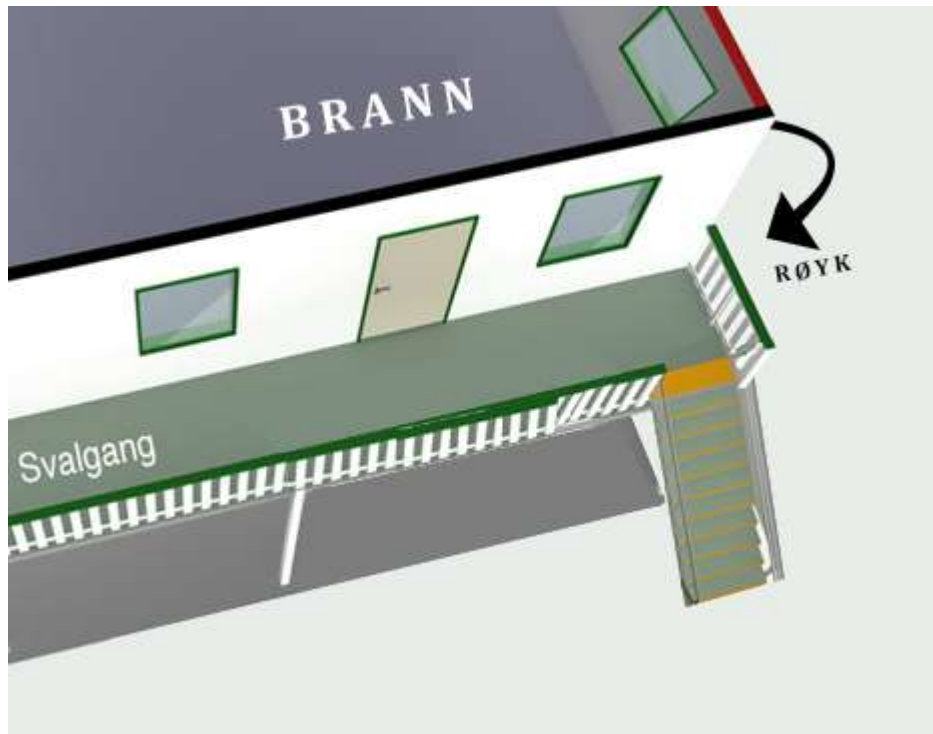


Bilde 26 - Dårlig sikt i forsøk # 3, 01:30 etter brannstart

Vindretningen påvirket også forsøket i stor grad da det ikke var bygget vegg mellom ventilasjonshullet og svalgangen. Dette resulterte i at røyken som ventileres ut fra ventilasjonshullet også påvirket sikten i svalgangen, se Bilde 27.



Bilde 27 - Sikten i svalgang, påvirket av ventilasjonshullet grunnet vindretningen, 01:13 og 01:14 etter brannstart



Bilde 28 - Ekstra dårlig sikt grunnet ventilasjonshull, illustrert i en realistisk situasjon

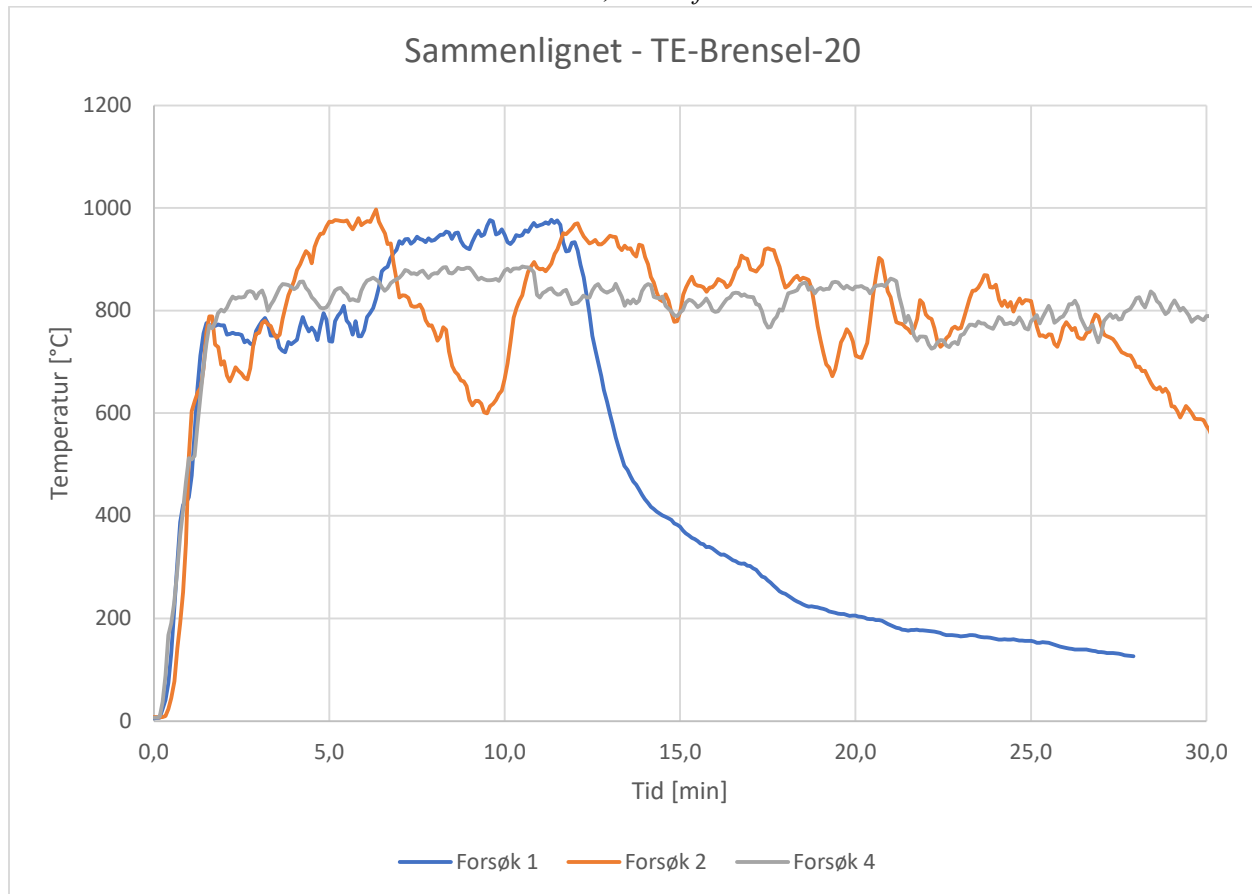
For at dette skal være en reel situasjon, må boligen som står i brann ha et vindu langs veggen som også har sprukket, slik at røyken dras inn mot svalgangen. I tillegg krever det at rømningstrappen er installert helt ytterst av svalgangen som tvinger beboerne til å flykte forbi det røykfylte området. Dette er blitt illustrert på Bilde 28.

9.5.2 Sammenligning av alle kanaler for alle forsøksoppsettene

Dette kapittelet inkluderer grafer fra alle kanalene gjennom de tre forskjellige forsøksoppsettene. Hver kanal er tildelt en figur som sammenligner temperaturene målt fra de forskjellige forsøkene. Ettersom forsøk 3 ikke ble loggført, blir bare verdier fra forsøk 1, 2 og 4 illustrert.

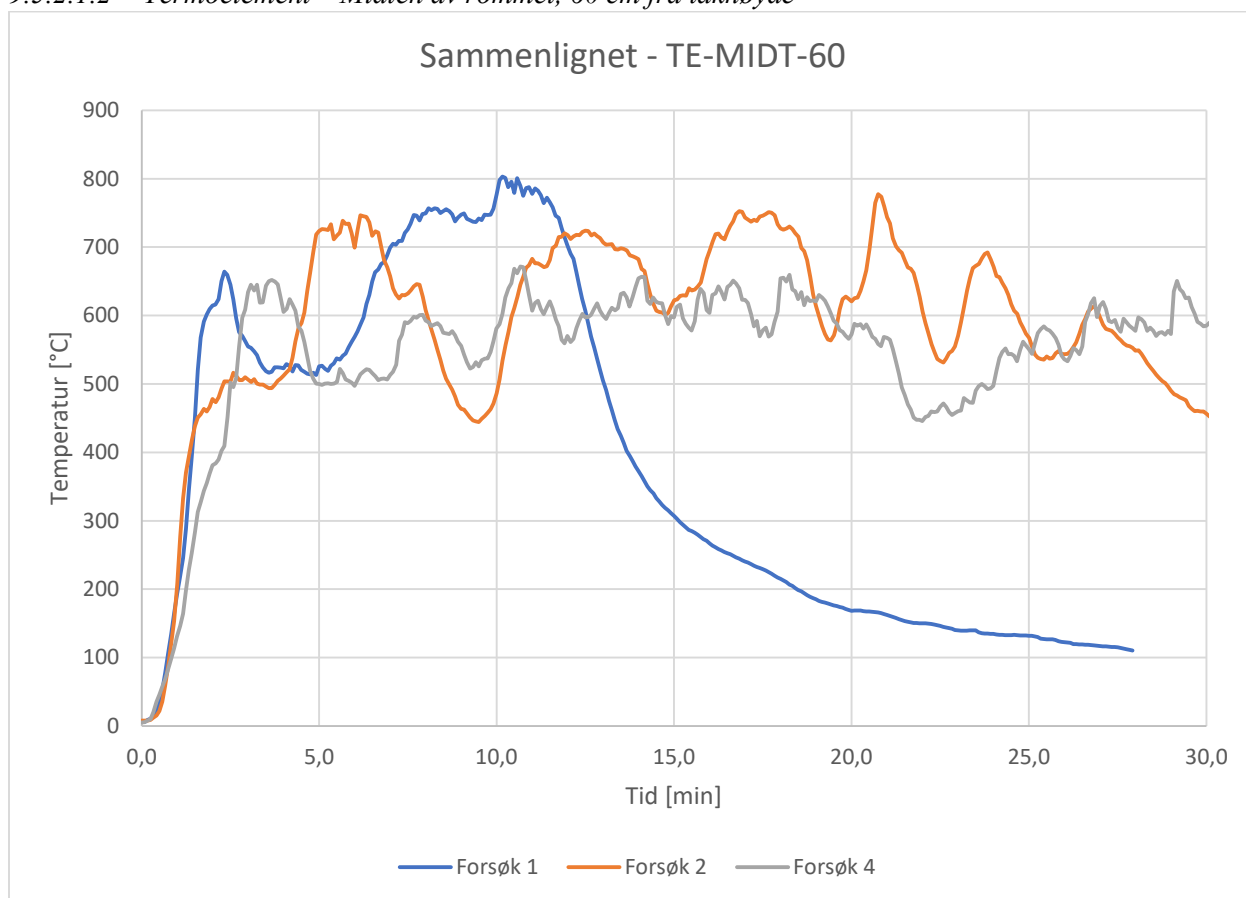
9.5.2.1 Temperaturendringer

9.5.2.1.1 Termoelement – Nærheten av brenselet, 20 cm fra taket



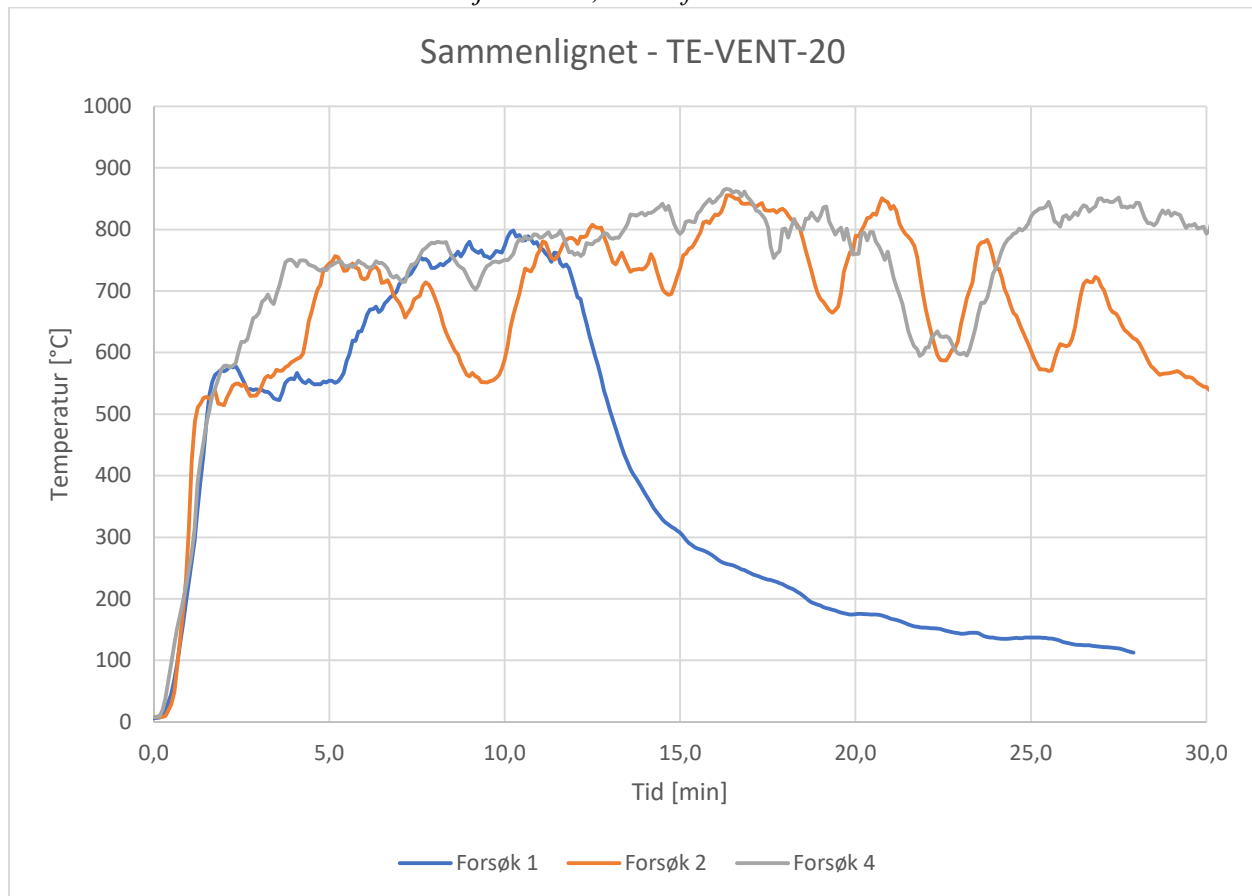
Figur 21 - Sammenligning av TE-Brensel-20 for alle forsøkene

9.5.2.1.2 Termoelement – Midten av rommet, 60 cm fra takhøyde



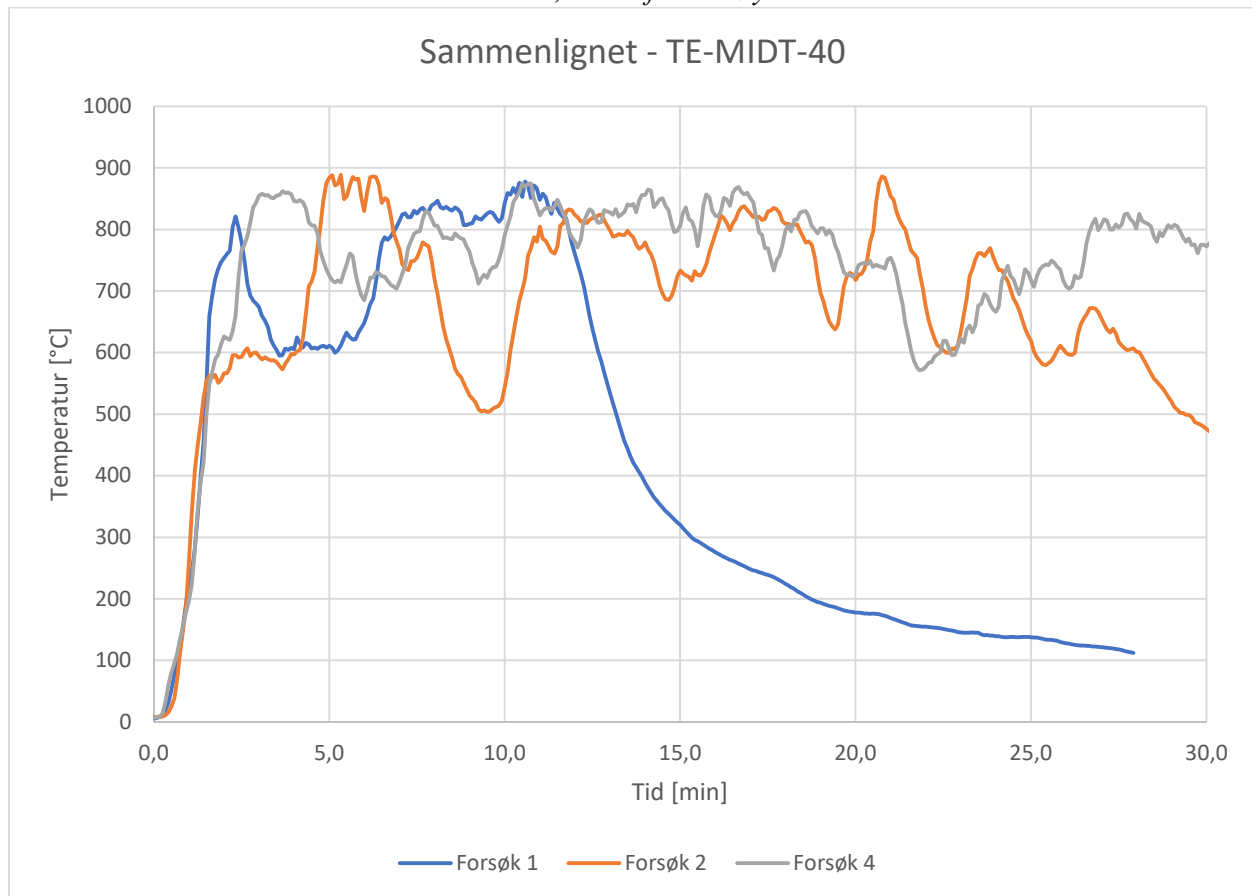
Figur 22 - Sammenligning av TE-MIDT-60 for alle forsøkene

9.5.2.1.3 Termoelement – Ved ventilasjonshullet, 20 cm fra taket



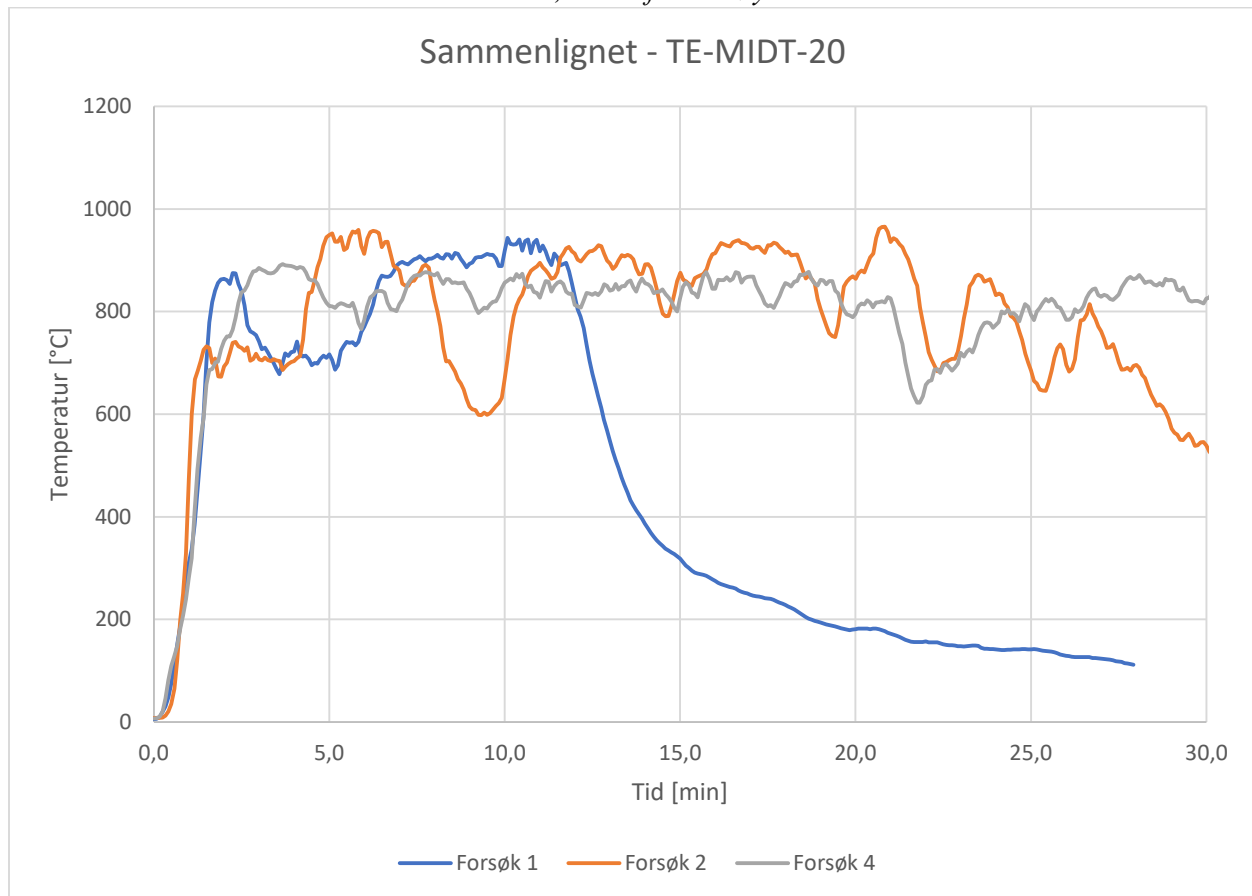
Figur 23 - Sammenligning av TE-VENT-20 for alle forsøkene

9.5.2.1.4 Termoelement – Midten av rommet, 40 cm fra takhøyde



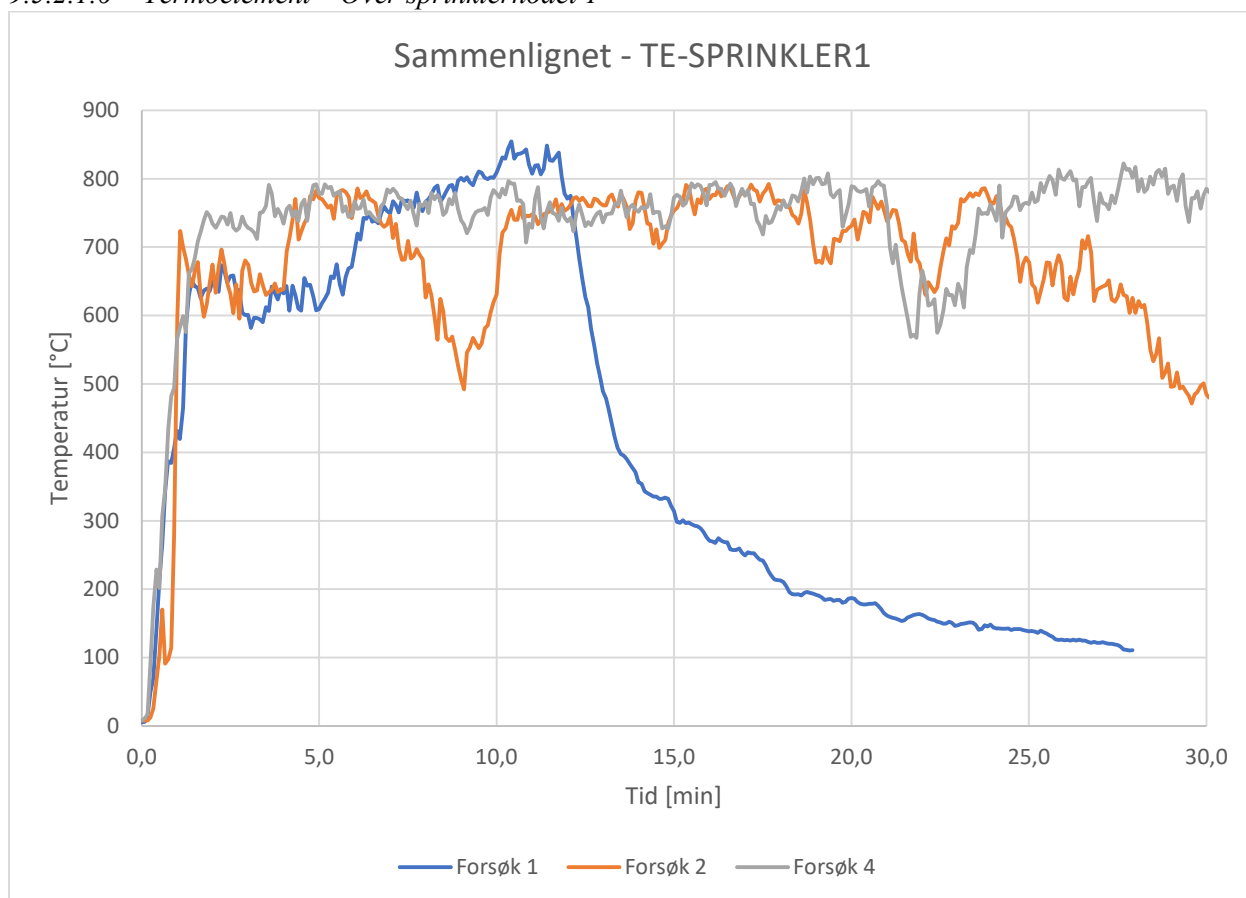
Figur 24 - Sammenligning av TE-MIDT-40 for alle forsøkene

9.5.2.1.5 Termoelement – Midten av rommet, 20 cm fra takhøyde



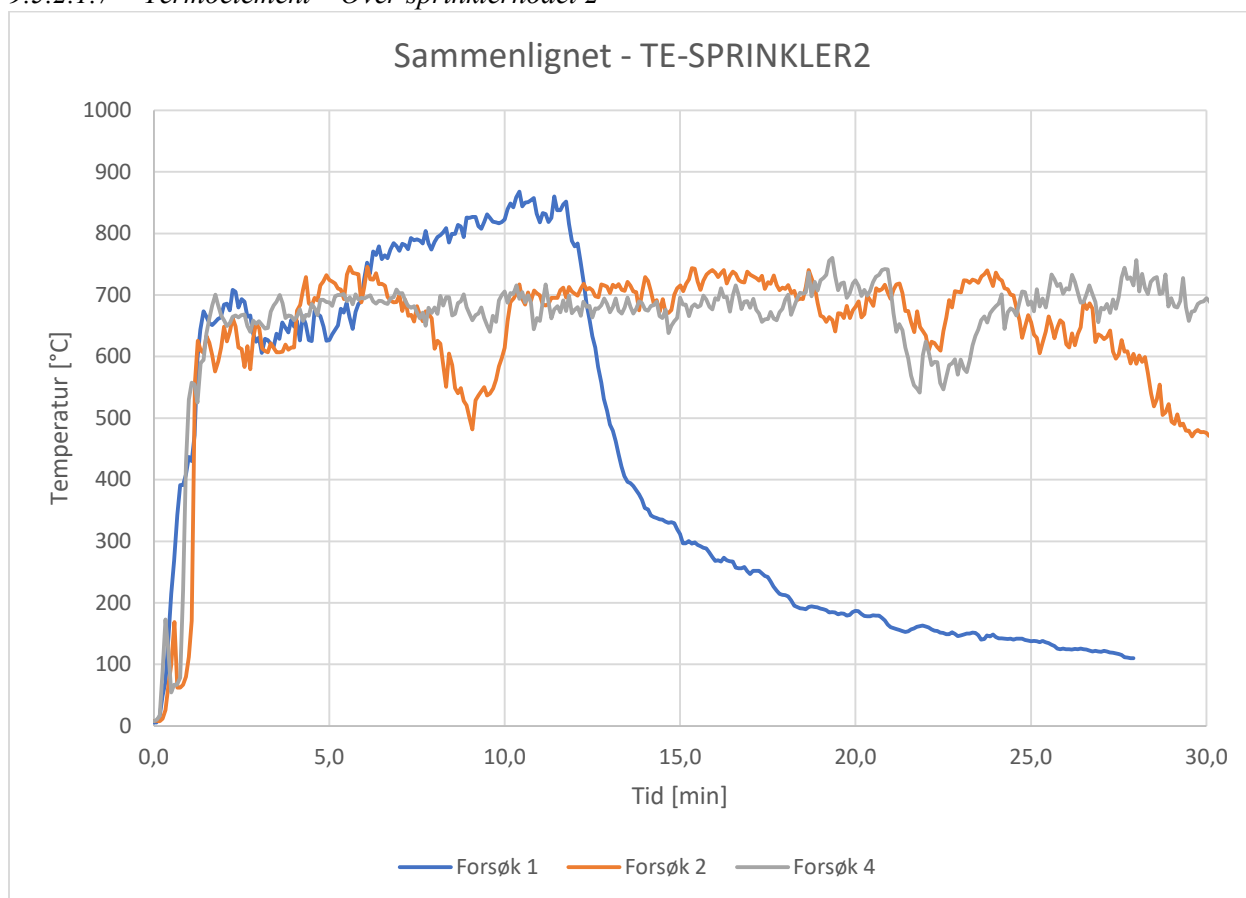
Figur 25 - Sammenligning av TE-MIDT-20 for alle forsøkene

9.5.2.1.6 Termoelement – Over sprinklerhodet 1



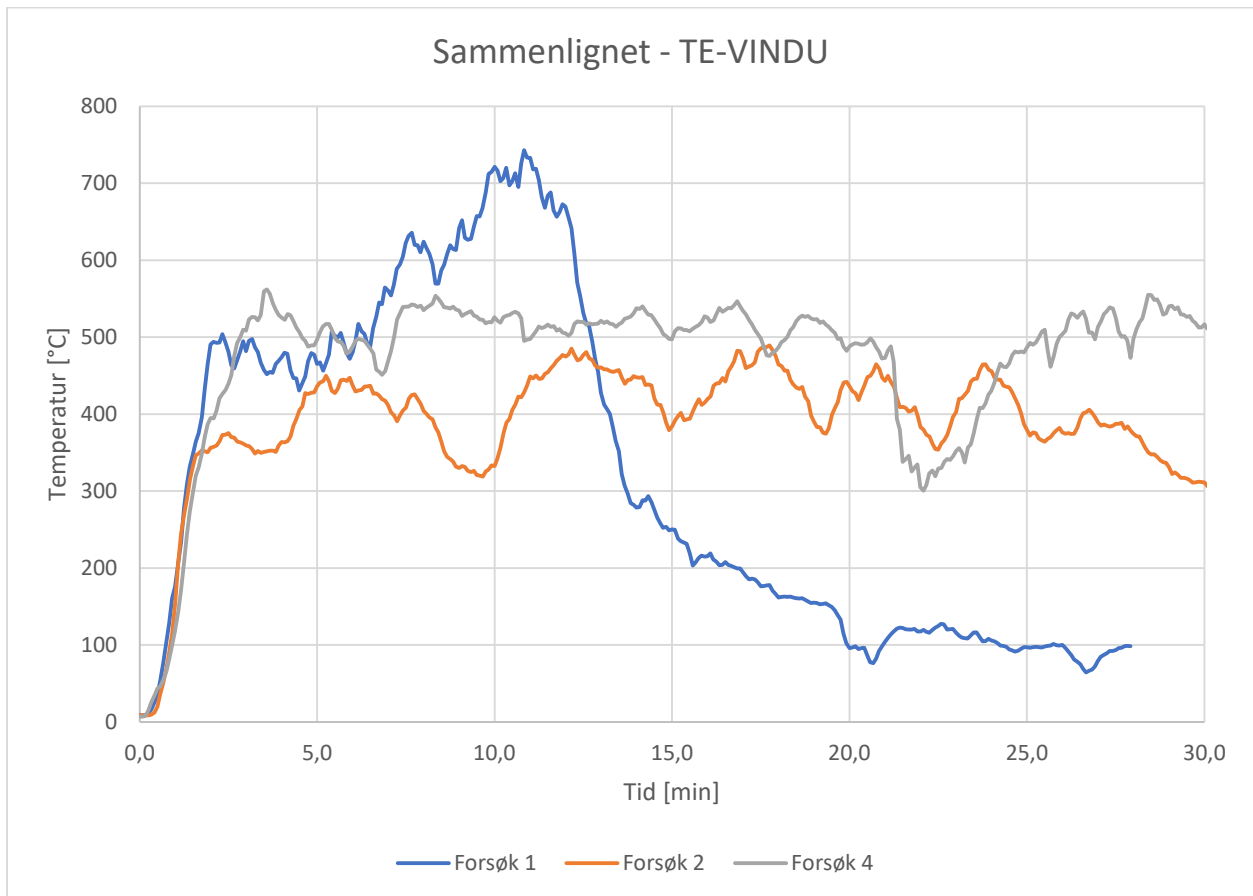
Figur 26 - Sammenligning av TE-SPRINKLER1 for alle forsøkene

9.5.2.1.7 Termoelement – Over sprinklerhodet 2



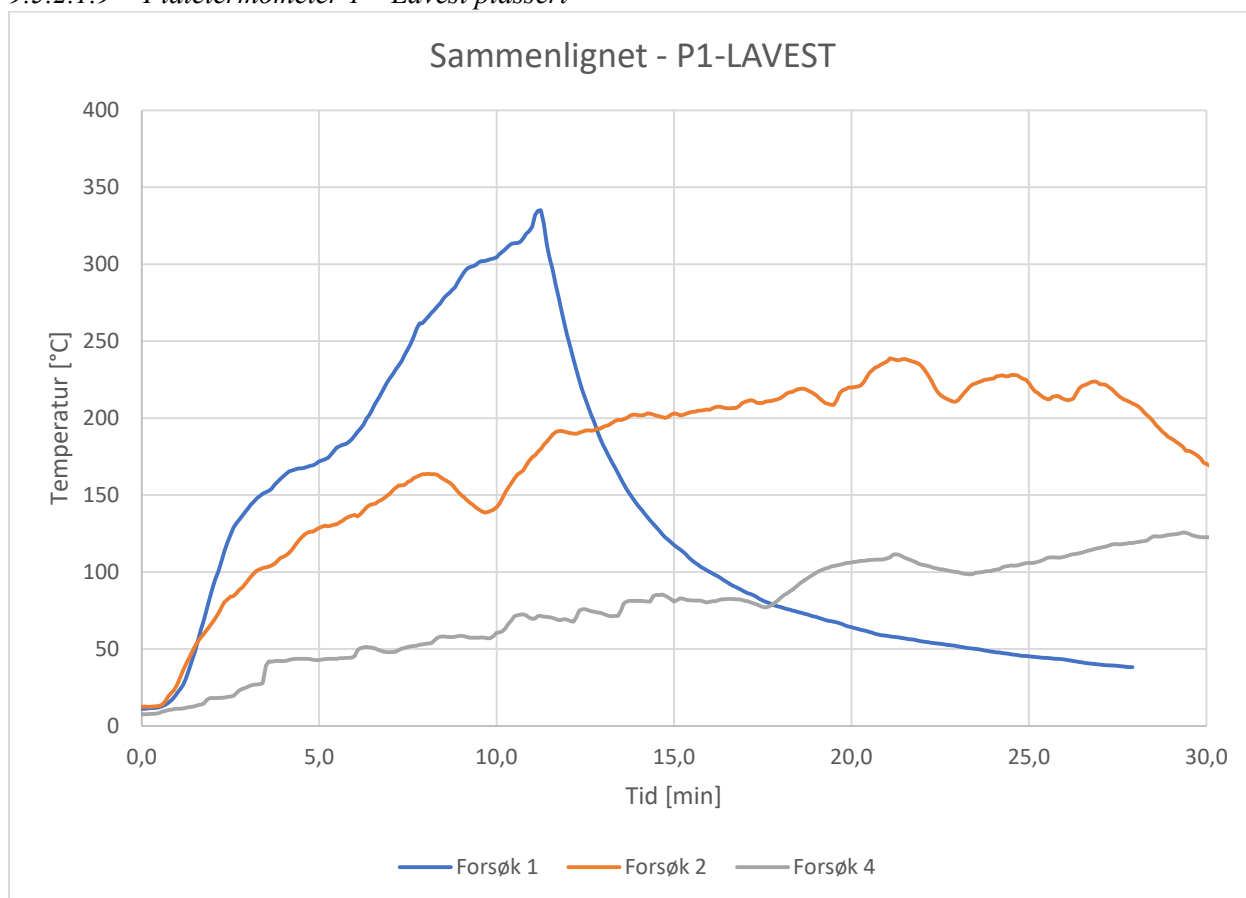
Figur 27 - Sammenligning av TE-SPRINKLER2 for alle forsøkene

9.5.2.1.8 Termoelement - Vindu



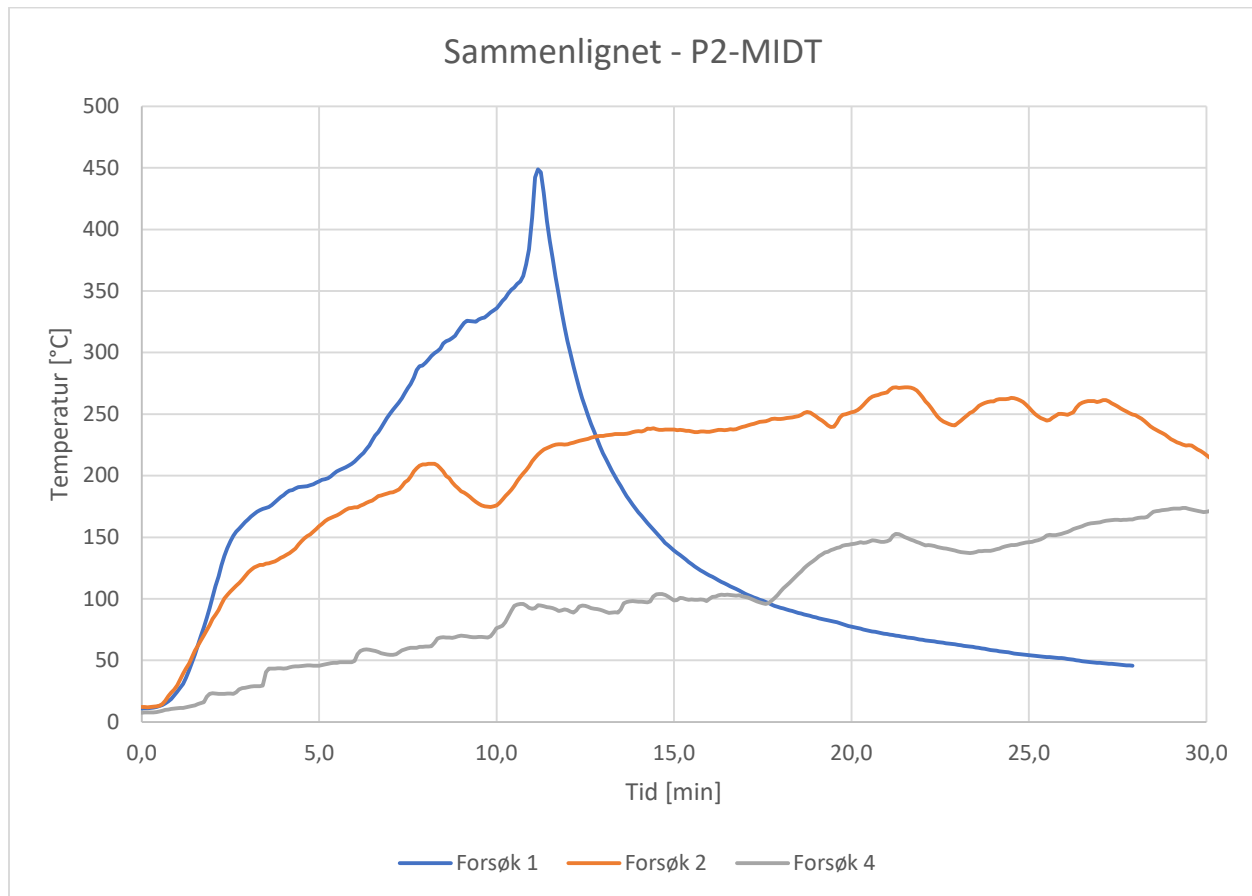
Figur 28 - Sammenligning av TE-VINDU for alle forsøkene

9.5.2.1.9 Platetermometer 1 – Lavest plassert



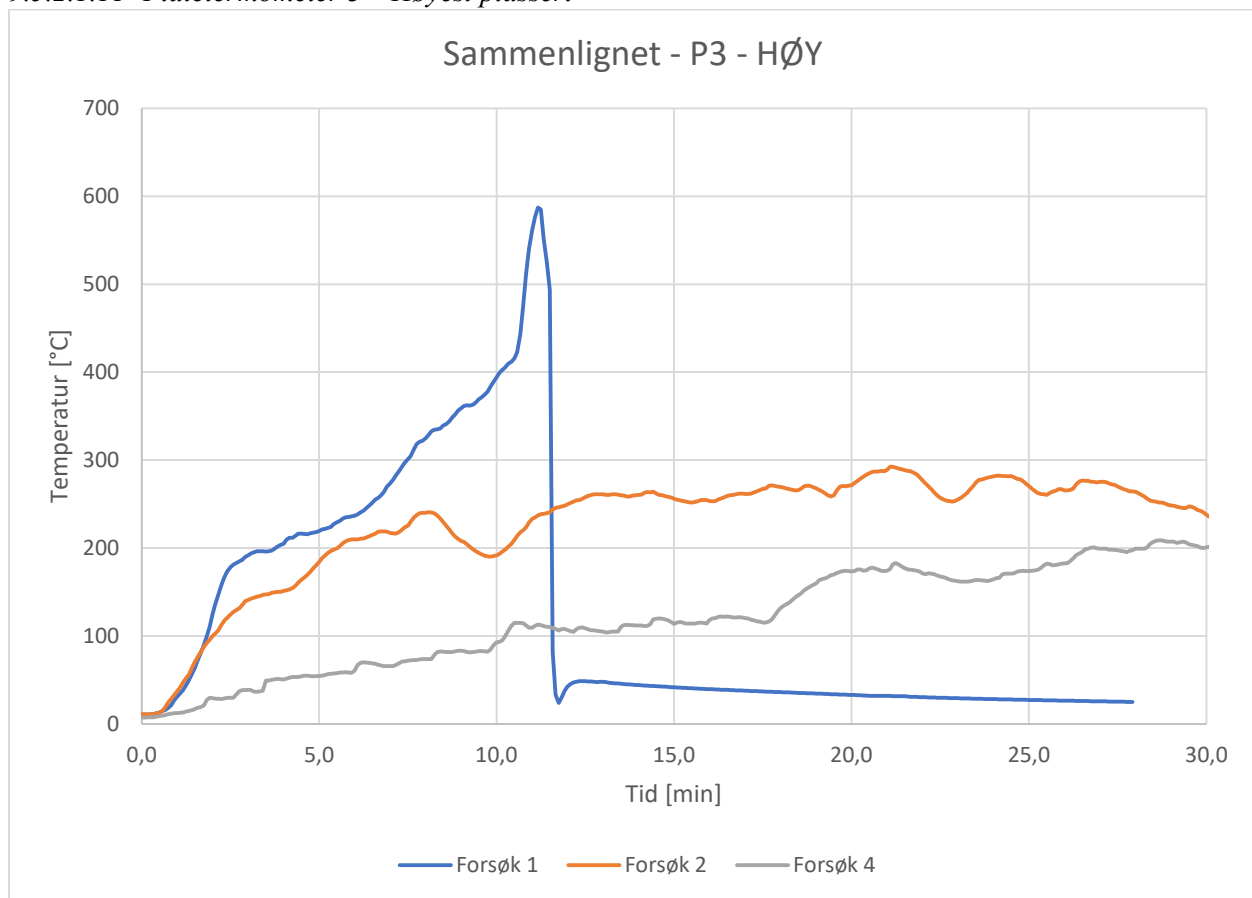
Figur 29 - Sammenligning av P1-LAVEST for alle forsøkene

9.5.2.1.10 Platetermometer 2 – Plassert i midten



Figur 30 - Sammenligning av P2-MIDT for alle forsøkene

9.5.2.1.11 Platetermometer 3 – Høyest plassert



Figur 31 - Sammenligning av P3-HØY for alle forsøkene

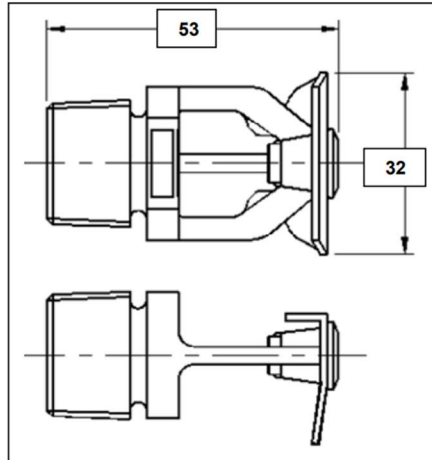
9.6 Vedlegg F - Datablader

9.6.1 Sprinklerhode datablad

GW WINDOW DRENCHER (HSW) SEALED AND OPEN



GW SPRINKLER A/S



TECHNICAL SPECIFICATION	
Threaded connection (male)	½" BSPT
K-factor (metric)	80
Max. working pressure	12,5 bar
Min. working pressure	0,5 bar
Recommended working pressure	1 – 3 bar
Max. recommended spacing	2,5 m
Installation	Horizontal
Spray type	Reverse Action
Spray angle	15°
RTI (sealed version)	~ 100 (std. response)
Bulb diameter (mm)	Ø5
Bulb temperature	57,68,79,93,141,182°C
Weight	~ 77 g
Material	Brass
Finish	Natural – or powder coated in RAL colours

Description

The GW Window Drencher is developed for wetting and cooling of vertical surfaces. It is fitted with a specially developed deflector which provides a vertical down and 15° reverse, wide spray that generates an evenly distributed water run-down on the vertical surface behind it.

Application:

The GW Window Drencher is designed for horizontal installation. It is typically installed as part of an automatic sprinkler system (sealed bulb version), or a deluge system (open nozzle version) to protect a surface or area from heat radiation. The GW Window Drencher is typically used in applications where direct cooling by water run-down is called for – i.e. windows and glazing facades.

Selection:

Nozzles should be selected to provide the required application rate for the hazard/application. It is recommended to consult NFPA 13 and 15 for more guidance on nozzle selection and installation.

GW SPRINKLER A/S

Kastanievej 15, DK-5620 Glamsbjerg, Denmark
Tel: +45 64 72 20 55 Fax: +45 64 72 22 55
E-mail: sales.dep@gwsprinkler.com

Data sheet: GW Window Drencher
Sealed and Open

Page 1 of 3

Data sheet no.: **GW WS030 1002 B**

Date: 4 May 2015

The right is reserved to vary or modify any specifications without prior notice.

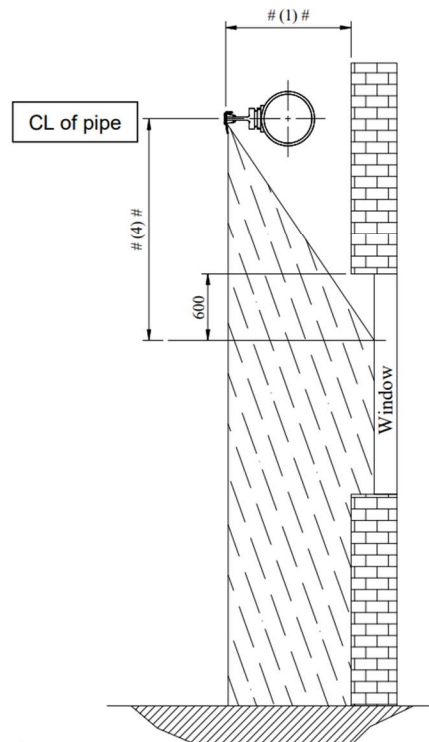
GW WINDOW DRENCHER (HSW) SEALED AND OPEN



Installation:

The GW Window Drencher is installed in the horizontal position with the deflector pointing away from the surface to be protected – and with the round part of the deflector pointing downwards. The GW Window Drencher is a reverse action sprinkler which means that the water jet is reversed when hitting the deflector – and distributed downwards, backwards and side-wards. The reverse spray angle is $\sim 15^\circ$ to vertical, giving a 1:4 installation ratio (see schematic). It is recommended that the GW Window Drencher is installed in such a way that the reverse spray strikes the window ~ 600 mm from the top/lintel. The horizontal sprinkler spacing should not exceed 2,5 m.

Schematic installation – not to scale!



Note:

For the spray to strike the window 600 mm from the top, the distance from the deflector to wall (stand-off) and CL of pipe to 600 mm below lintel should be in the approximate ratio of 1:4.

GW SPRINKLER A/S
Kastanievej 15, DK-5620 Glamsbjerg, Denmark
Tel: +45 64 72 20 55 Fax: +45 64 72 22 55
E-mail: sales.dep@gwsprinkler.com

Data sheet: GW Window Drencher
Sealed and Open

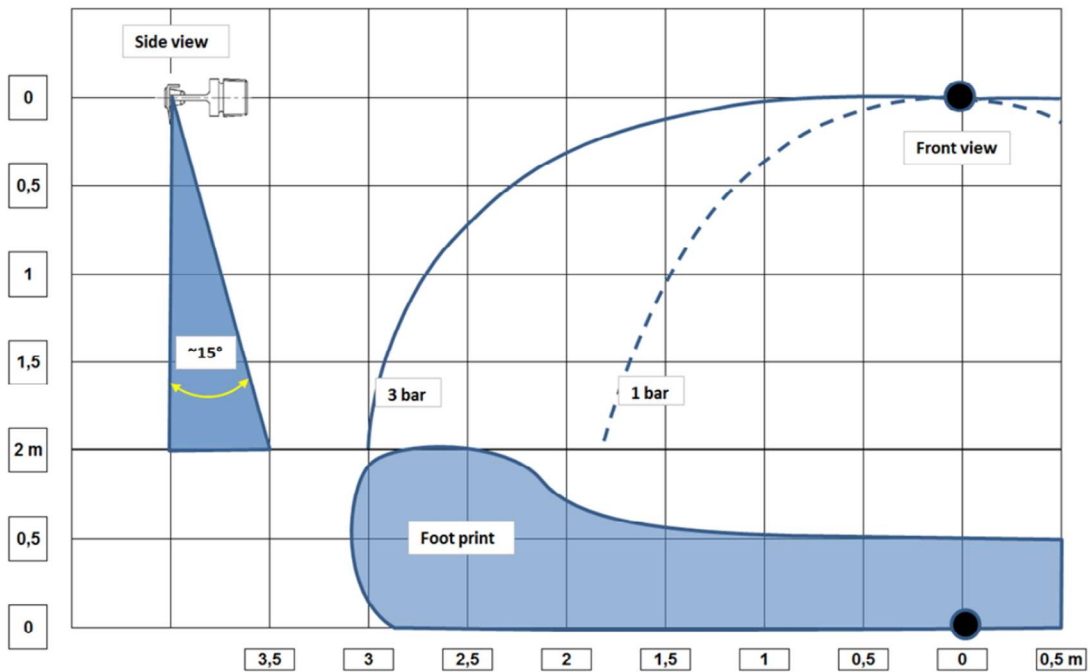
Data sheet no.: **GW WS030 1002 B**

Page 2 of 3

Date: 4 May 2015

The right is reserved to vary or modify any specifications without prior notice.

GW WINDOW DRENCHER (HSW) SEALED AND OPEN



GW SPRINKLER A/S
Kastanievej 15, DK-5620 Glamsbjerg, Denmark
Tel: +45 64 72 20 55 Fax: +45 64 72 22 55
E-mail: sales.dep@gwsprinkler.com

Data sheet: GW Window Drencher
Sealed and Open

Data sheet no.: **GW WS030 1002 B**

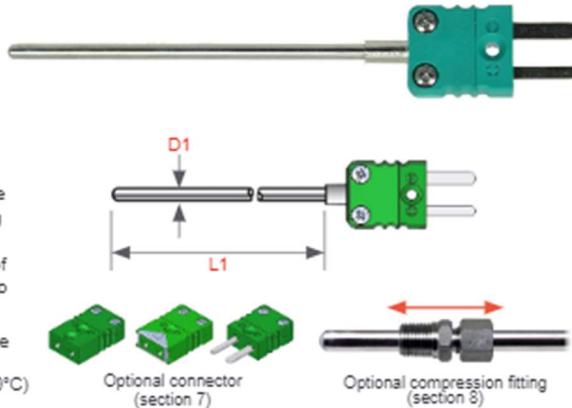
Page 3 of 3

Date: 4 May 2015

The right is reserved to vary or modify any specifications without prior notice.

TFP/TFLP/TFS Mineral Insulated Thermocouple Sensor with Miniature Plug/Socket

Commonly used in applications where a quick, simple connection is required. Available with probe diameters ranging from 0.5mm up to 3.0mm and supplied with a miniature flat-pinned plug or socket rated up to +200°C (higher temperature versions also available). Various probe sheath materials are available and the sensors can be used in a wide variety of applications, with temperatures ranging from as low as -100°C and up to +1300°C. The mineral insulated construction enables the sensors to be bent, twisted or flattened without impairing performance. The sensors can be supplied in lengths to suit your application requirements. The bending radius of the sheath is 10 x probe diameter; this can be reduced to 4 x, if a bending set is used.



- 0.5mm, 0.75mm, 1.0mm, 1.5mm, 2.0mm or 3.0mm Ø probe
- Accuracy to IEC 60584.2 Class 2 (Class 1 also available)
- Terminated with a miniature thermocouple connector (+200°C)
- Colour coded to IEC 60584.3 (BS EN 60584.3)
- Ex-stock options available

Note: Type K thermocouple shown for illustrative purposes only

1	sensor type	code
	Mineral Insulated Thermocouple Sensor with Miniature Plug	TFP
	Mineral Insulated Thermocouple Sensor with Miniature Locking Plug	TFLP
	Mineral Insulated Thermocouple Sensor with Miniature Socket	TFS

2	conductor/thermocouple type (IEC 60584.1)	conductor temperature range	code
	Nickel Chromium vs. Nickel Aluminium	0°C to +1100°C	K
	Iron vs. Constantan	-50°C to +750°C	J
	Copper vs. Constantan	-200°C to +350°C	T
	Nicrosil vs. Nisil	0°C to +1200°C	N
	Nickel Chromium vs. Constantan	-200°C to +600°C	E

3	metal sheath material	available in thermocouple types	maximum temperature	code
	321 Stainless Steel	K, J, T, E	+800°C	321
	310 Stainless Steel	K	+1100°C	310
	Inconel 800	K, N	+1100°C	800
	Nicrosil D	K, N	+1300°C	200

Also available: **Incoloy 800** (+1100°C), **253MA** (+1150°C), **Alloy C278** (+1100°C). Contact sales for further information.

4	probe diameter (D1)	code	probe diameter (D1)	code
	0.5mm	0.5	1.5mm	1.5
	0.75mm	0.75	2.0mm	2.0
	1.0mm	1.0	3.0mm	3.0

Imperial sizes also available.

5	sensing junction	simplex code
	Insulated (isolated, ungrounded)	I
	Grounded (non-isolated)	G

6	probe length (mm) (L1)	code
	As required to suit your application (stock sensors also available)	e.g. 300

7	optional thermocouple connector to match sensor termination - supplied loose (full range pages 53-58)	code
	Miniature Thermocouple Socket (to match miniature thermocouple plug) Available in Thermocouple Types K, J, T, N, E	FMJ
	Miniature Locking Thermocouple Socket (to match miniature locking thermocouple plug) Available in Thermocouple Types K, J, T, N, E	FMLJ
	Miniature Thermocouple Plug (to match miniature thermocouple socket) Available in Thermocouple Types K, J, T, N, E	FMP

8	optional 316 stainless steel compression fitting (to suit probe diameter)	code		
		1/8" BSPT	1/4" BSPT	1/2" BSPT
	0.5mm	CF05AS	-	-
	0.75mm	CF075AS	-	-
	1.0mm	CF10AS	-	-
	1.5mm	CF15AS	CF15CS	-
	2.0mm	CF20AS	CF20CS	-
	3.0mm	CF30AS	CF30CS	CF30ES

See page 60 for our full range of compression fittings.

order code (example)	1	2	3	4	5	6	7	8
	TFP	- K	- 310	- 1.5	- I	- 250	- FMJ	- CF15AS

PTHFM

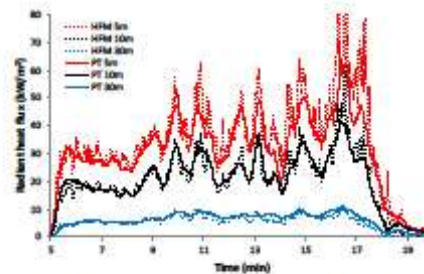
PT Heat Flux Meter for measuring radiant heat flux

No water-cooling

The PTHFM was developed for measuring incident radiant heat flux up to 80 kW/m^2 . It is a very robust instrument easy to use and requires no water-cooling.



PTHFM mounted on a movable pole to map radiant heat flux around a pool fire



Accurate and smooth measurements in comparison to water-cooled heat flux meters

Advantages

Comparing to traditional HFM gauges the PTHFM has several advantages:

- No water-cooling needed
- Robustness
- Easiness of mounting



PTHFM as now commercially available from Pentronic AB

Smoothed and accurate outputs

It measures over an area of 100 mm by 100 mm and yields therefore nice smoothed outputs.

The diagram shows and an example of incident radiant fluxes being measured with PTHFMs and traditional water-cooled HFMs at various distances from a bonfire. Notice that the curves from the PTHFMs follow the curves of the traditional HFMs but are much smoother. The accuracies of the two types of instruments are in same order of magnitude depending scenario. In addition incident radiant heat flux the PTHFM measures the adiabatic surface temperature.

For more information

Please go to www.pentronic.se or e-mail info@pentronic.se

For more detailed information on temperature analyses and use of plate thermometers, see the text-book: Ulf Wickström, 'Temperature Calculations in Fire Safety Engineering', Springer, 2016.

Tabeller

Tabell 1 - Konduktivitet i ulike stoffer. [13].....	7
Tabell 2- Brannklassifisering av bygningsdeler og konstruksjoner	10
Tabell 3 - Brannklasser for andre bygningsprodukter.....	11
Tabell 4 - Bygningsdeler svalgang [18].....	11
Tabell 5 – Menneskelige tålegrenser for tid eksponert ifølge SFPE [25]	16
Tabell 6 - Akseptkriterier for menneskelige tålegrenser [23]	17
Tabell 7 – Forskjell mellom forsøksrom og ISO 9705	18
Tabell 8 - Tabell over vinduene brukt.....	20
Tabell 9 - Dimensjoner av rammemadrasser benyttet som startbrensel.....	28
Tabell 10 - Plassering av kar med flytende brensel	28
Tabell 11 - Plassering av termoelementer	31
Tabell 12 - Plassering av platetermometer.....	32
Tabell 13 - Oppsummering av forsøksoppsettene.....	38
Tabell 14 - Forkortelser brukt for måleapparater	39
Tabell 15 - Værforhold for forsøk # 1.....	40
Tabell 16 - Værforhold for forsøk # 2.....	43
Tabell 17 - Værforhold for forsøk # 4.....	46
Tabell 18 - Temperaturene i rommet sammenlignet med ISO 834.....	49
Tabell 19 - Varmestrålingen registrert 7 minutter etter brannstart, sammenlignet mot forsøk 1	50
Tabell 20 - Registrert varmemestråling ved 5, 15 og 20 minutter	51
Tabell 21 - Maks eksponeringstid tilgjengelig for evakuerende ut fra varmemestrålingen på tidsintervallene 5,15 og 20 minutter	51
Tabell 22 - Sikt sammenlignet for alle forsøkene	51
Tabell 23 - Vannforbruket sammenlignet gjennom 30 minutter.....	52
Tabell 24 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 1	V
Tabell 25 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 2.....	V
Tabell 26 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 3.....	VI
Tabell 27 - Brensel brukt etter antennelse for forsøk # 4.....	VII
Tabell 28 - Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 1	IX
Tabell 29 - Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 2	IX
Tabell 30 – Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 3	X
Tabell 31 - Dårlig sikt observert gjennom svalgang, Forsøk # 4	X
Tabell 32 – Observasjoner fra vannmåler for forsøk 2	XII
Tabell 33 - Observasjoner fra vannmåler for forsøk 3.....	XII
Tabell 34 - Observasjoner fra vannmåler for forsøk 4.....	XII
Tabell 35 - Værforhold for forsøk # 3.....	XIV
Tabell 36 - Hendelser under forsøk # 3.....	XIV

Figurliste

Figur 1 – Svalgang som rømningsvei illustrert [4]	1
Figur 2 - Brannfirkanten	4

Figur 3 - Vekstkurve- og faser ved brann	5
Figur 4 - Endring av turbulent flamme [11].....	6
Figur 5 - Sammenheng mellom ulike begreper knyttet til rømningstid [23]	14
Figur 6 - Dimensjonsforskjeller mellom forsøksrom og ISO 9705-rom. Rødt er forsøksrom, svart er ISO 9705	19
Figur 7 - Anbefalt spredning fra sprinklerhodets produsent. [28].....	24
Figur 8 - GW Sealed Window Drencher. [28].....	24
Figur 9 - Endring av sprinklerhodets spredemønster i følge databladet [28].....	26
Figur 10 - ISO-834 kurven [29].....	28
Figur 11 - Plassering av måleutstyr, brenselkar og sprinklerhode	30
Figur 12 - Platetermometer [30].....	31
Figur 13 - Graf, Temperaturendringer Forsøk # 1	40
Figur 14 - Graf, Varmestråling - Forsøk # 1	41
Figur 15 - Graf, Temperaturendringer Forsøk # 2	42
Figur 16 - Graf, Varmestråling - Forsøk # 2	43
Figur 17 - Graf, Temperaturendringer Forsøk # 4	46
Figur 18 - Graf, Varmestråling - Forsøk # 4	47
Figur 19 - Temperaturene i rommet sammenlignet med ISO 834	49
Figur 20 - Varmestråling sammenlignet for forsøk 1,2 og 4.....	50
Figur 21 - Sammenligning av TE-Brensel-20 for alle forsøkene.....	XVIII
Figur 22 - Sammenligning av TE-MIDT-60 for alle forsøkene.....	XIX
Figur 23 - Sammenligning av TE-VENT-20 for alle forsøkene	XX
Figur 24 - Sammenligning av TE-MIDT-40 for alle forsøkene.....	XXI
Figur 25 - Sammenligning av TE-MIDT-20 for alle forsøkene.....	XXII
Figur 26 - Sammenligning av TE-SPRINKLER1 for alle forsøkene	XXIII
Figur 27 - Sammenligning av TE-SPRINKLER2 for alle forsøkene	XXIV
Figur 28 - Sammenligning av TE-VINDU for alle forsøkene	XXV
Figur 29 - Sammenligning av P1-LAVEST for alle forsøkene.....	XXVI
Figur 30 - Sammenligning av P2-MIDT for alle forsøkene.....	XXVII
Figur 31 - Sammenligning av P3-HØY for alle forsøkene	XXVIII

Bilder

Bilde 1 - Nøytralplanet.....	9
Bilde 2 - Vindu installert i forsøk # 3 med 45 graders åpning.....	20
Bilde 3 - Ferdig oppsett før forsøk 3.....	21
Bilde 4 - Fleksibel slange koblet opp mot fordeler røret.	22
Bilde 5 - Sprinklerhodet på enden av to bender med 90° vinkling hver.	22
Bilde 6 - Festing av røret på taket.....	23
Bilde 7 - Festing av rør på taket. Samme oppsett som Bilde 6, med kryssfiner plate, fleksibel slange og fordelerør installert.....	23
Bilde 8 - Sprinklerhodet installert med 15 graders vinkling. To termoelementer kan sees hengende over 25	
Bilde 9 - Sprinklerhodets spredemønster etter justering av vinkel	25

Bilde 10 - Testing av spredemønster.....	26
Bilde 11 - Tidtaking av sprinklerhodets egenskap til å fylle karet	27
Bilde 12 - Startbrensel, rett før antennelse.....	29
Bilde 13 - Plastkasse benyttet for alle forsøkene	29
Bilde 14 - Platetermometere i treboks, plassert 1,2 m fra vindu.....	32
Bilde 15 - Hjelpemiddel for siktvurdering.....	33
Bilde 16 - Forsøksoppsett forsøk 1	35
Bilde 17 - Forsøksoppsett forsøk 2. Ingen vindu installert, men sprinklerhode aktivert.....	36
Bilde 18 – Forsøksoppsett forsøk 3 og 4.....	37
Bilde 19 - Vindu knust fra forsøk # 3, sprinklerhode aktivt	37
Bilde 20 - Boks med platetermometere fjernet etter 11 minutter og 6 sekunder	39
Bilde 21 - Røykproduksjon fra forsøk 1. Boks med platetermometere med flamme på toppen. 08:59 etter brannstart	41
Bilde 22 - Komfortabel nok til å gå utenfor åpent vindu ved fullt utviklet brann, 18:37 etter brannstart ..	44
Bilde 23 - Røykutvikling under forsøk # 2, 11:13 etter brannstart	45
Bilde 24 - Kortvarig dårlig sikt varierende 01:38 og 01:42 etter brannstart.....	48
Bilde 25 – Bilde tatt fra Forsøk # 3 ca. 20 minutter inn i forsøket	XIV
Bilde 26 - Dårlig sikt i forsøk # 3, 01:30 etter brannstart	XVI
Bilde 27 - Sikten i svalgang, påvirket av ventilasjonshullet grunnet vindretningen, 01:13 og 01:14 etter brannstart	XVI
Bilde 28 - Ekstra dårlig sikt grunnet ventilasjonshull, illustrert i en realistisk situasjon.....	XVII