

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



Foto: Selvaag Bolig

Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen på Vestlandet – Studie for ingeniørfag

Brann

Av: Steffen Oliver Sæle	<i>Kand.nr.</i> 4
Torbjørn Instebo Warhuus	<i>Kand.nr.</i> 20
Kjell Andre Korneliussen Sangolt	<i>Kand.nr.</i> 2

BACHELORPROSJEKT

Studentenes navn: Steffen Oliver Sæle
Torbjørn Ingebø Warhuus
Kjell Andre Korneliussen Sangolt

Linje & studieretning: Bachelor i ingeniørfag, Brannsikkerhet

Oppgavens tittel: *Er det mulig å rømme forbi åpne vinduer i svalgang ved brann?*

Oppgavetekst:

Svalgang inngår i mange bygg som en del av rømningsveien, slik at tilsluttende vegger ofte må utføres med brannmotstand. Dette kravet gjelder også vinduer, og VTEK10 presiserer i tillegg at brannklassifiserte vinduer ikke må kunne åpnes i normaltstand. Manglende mulighet for åpning kan føre til konflikt med krav om utlufting av oppholdsrom, noe som medfører at svalganger i enkelte tilfeller prosjekteres med fraviksløsninger.

Denne oppgaven skal undersøke hvordan ulike vindusinnretninger mot svalgang påvirker mulighet for passering av åpent brannklassifisert vindu, ved brann i innenforliggende rom. Oppgaven skal blant annet løses ved hjelp av fullskalaforsøk med brann i forsøksrom tilknyttet svalgang via åpning. Åpningen skal i størst mulig grad representere egenskaper ved forskjellige vindusutførelser, i form av ulike hengslingsvarianter og grad av åpning.

Endelig oppgave gitt: Fredag 3. mars 2017

Innleveringsfrist: Onsdag 10.mai 2017 kl. 12.00

Intern veileder: Kristian Grimstvedt

Ekstern veileder: Stein Kyrre Kvinge, Firesafe

Adresse ekstern veileder: Heien 4, 5037 Bergen

**Godkjent av
studieansvarlig:**

Dato:

J.C. Lindang

19/4-17

Forord

Denne rapporten skrives som avsluttende oppgave på treårig bachelorgrad ved Høgskolen på Vestlandet, avd. Haugesund. Firesafe v/senioringeniør Stein Kyrre Kvinge presenterte problemstillingen til oppgaven høsten 2016, og endelig oppgavetekst ble formulert påfølgende februar. Firesafe ønsket erfaringsbasert kunnskap om rømningsforhold i svalgang, dersom rømmende må passere et brannklassifisert åpent vindu, der det brenner på innsiden.

Vi vil takke **Stein Kyrre Kvinge** fra Firesafe som ekstern veileder og **Kristian Grimstvedt** som intern veileder ved HVL.

-Takk for gode råd og tilbakemeldinger gjennom produksjonen av oppgaven

Takk til mammaen til Torbjørn I. Warhuus, **Gro Harriett Instebo**, for hjelp med rettskriving og oppbygging av rapporten.

-Takk for at rapporten nå i større grad er lesbar

Forsøkene denne oppgaven bygger på ble utført på ResQ Sikkerhetssenter. Der fikk vi hjelp av ansatte til å finne frem til nødvendig utstyr for rydding og rigging, i tillegg til koordinering av annet arbeid som skulle foregå på samme felt.

-Takk for velvilje og hjelp med å finne frem til utstyr på ResQ. Spesielt takk til mekanikeren som hjalp oss med å få på plass taket til svalgangen med traktor.

Høgskolelektor ved HVL, **Arjen Kraaijeveld**, var vår kopling mellom Høgskolen og ResQ sikkerhetssenter. Han gav oss innføring i rutiner vedrørende måleutstyr og sikkerhet, hvor vi kunne finne diverse ressurser og hvor kaffeautomaten befant seg.

-Takk for all hjelp før og under vårt opphold på ResQ, og oppfølging i etterkant.

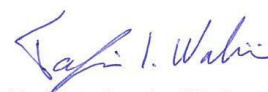
Montér i Haugesund gav oss alt vi hadde behov for av materialer for bygging og tilvirkning. Takk til **Leif Olav Tjomsland** og **Tone Hagland Skarstein** for dette, i tillegg til lån av tilhenger for frakting.

-Takk for bidraget og at vi kunne få avklart dette tidlig i prosessen.

Arbeidet med oppgaven har vært lærerikt og vi håper den vil være nyttig for fremtidig prosjektering og utføring av svalganger.


Steffen Oliver Sæle


Kjell Andre Korneliussen Sangolt


Torbjørn Instebo Warhuus

Innholdsfortegnelse

Forord	ii
Figurer	vii
Tabeller.....	viii
Bilder	viii
Ordforklaringer.....	ix
Symboler	xi
Sammendrag.....	xii
Summary	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Oppgavens formål.....	1
1.3 Tidligere arbeider	2
1.4 Antagelser og begrensninger	2
2 Brannfaglig teori	4
2.1 Varmeproduksjon	4
2.1.1 Brenselskontrollert brann	4
2.1.2 Ventilasjonkontrollert brann	5
2.2 Varmetransport	5
2.2.1 Konduksjon	5
2.2.2 Konveksjon.....	6
2.2.3 Termisk stråling.....	6
2.3 Rombrann	7
2.3.1 Faser	7
2.3.2 ISO 834 – Standard brannkurve	9
2.3.3 Den svenske metoden.....	10
2.3.4 Røykarakteristikk i rombranner.....	11
2.4 Sikkerhet ved rømning.....	13
2.4.1 Akseptkriterier.....	13
2.4.2 Strålingsintensitet over kortere tidsperioder	13
3 Brannfaglig betraktning av svalgang	16
3.1 Definisjon og hensikt.....	16
3.2 Lovhierarkiet	16

3.3	Brannklassifisering av bygningsdeler.....	17
3.4	Svalgang som rømningsvei.....	18
3.4.1	Nylige endringer i VTEK.....	18
3.4.2	Videreførte ytelser.....	19
3.5	Klassifisering av vinduer.....	21
3.5.1	Vinduer uten brannmotstand.....	21
3.5.2	Vinduer med brannmotstand.....	21
3.6	Konflikt mellom krav om brannmotstand og termisk inneklima.....	22
4	Metode.....	23
4.1	Alternativ metode.....	23
4.2	Grunnleggende forsøksoppsett.....	24
4.2.1	Forsøksrom og tilknytning til svalgang.....	24
4.2.2	Dimensjonering av brann.....	25
4.2.3	Vurdering av rømningsforhold.....	26
4.3	Forsøksserie.....	26
5	Utførelse og utstyr.....	27
5.3	Konstruksjon og tilvirkning.....	27
5.3.1	Utførelse av forsøksrom.....	27
5.3.2	Utførelse av svalgang.....	29
5.3.3	Utførelse av vindusekvivalent.....	29
5.3.4	Plassering av brensel.....	31
5.4	Utstyr.....	33
5.4.1	Datalogger.....	33
5.4.2	Termoelement.....	33
5.4.3	Totalfluksmåler.....	34
5.4.4	Platetermometer.....	34
5.4.5	Kamera.....	35
5.4.6	Vindmåler.....	35
5.4.7	Brannslange og røykdykker.....	35
5.5	Plassering av utstyr.....	35
5.5.1	Rømningsssone i svalgang.....	35
5.5.2	Forsøksrommet.....	37
5.5.3	Forsøksområdet.....	37

5.6	Gjennomføring av forsøk.....	38
6	Resultater	39
6.1	Hengslingsmetode	40
6.1.1	Brensel og værforhold.....	40
6.1.2	Røykkarakteristikk og observasjoner	40
6.1.3	Temperaturer i forsøksrom.....	42
6.1.4	Forhold i svalgangen	43
6.2	Topphengsling	45
6.2.1	Brensel og værforhold.....	45
6.2.2	Røykkarakteristikk og observasjoner	45
6.2.3	Temperaturer i forsøksrom.....	48
6.2.4	Forhold i svalgangen	49
7	Diskusjon	51
7.1	Krav om brannmotstand og behov for lufting	51
7.2	Alternative utførelser for å unngå konflikt mellom lufting og brannsikkerhet	52
7.2.1	Vinduer med alternativ lukkemekanisme.....	52
7.2.2	Ventilering og planløsning	52
7.2.3	Trapper i brannklassifisert materiale.....	52
7.3	Brannforløp.....	53
7.3.1	Påkjenning på vindu	53
7.3.2	Orientering av brann.....	53
7.3.3	Brann påvirket av vind	53
7.3.4	Brann i oppholdsrom sammenlignet med forsøksbranner.....	54
7.4	Ulike vindusinnretninger og rømningsforhold	55
7.4.1	Rømningsikkerhet.....	55
7.4.2	Betydning av åpningens plassering	56
7.4.3	Betydning av åpningens størrelse.....	58
7.5	Feilkilder.....	59
7.6	Forslag til videre arbeid	60
8	Konklusjon.....	61
9	Kilder	61
10	Vedlegg	I
10.1	Vedlegg A - Dimensjonering av sannsynlig brannforløp.....	II

10.2	Vedlegg B - Dimensjonering av forsøksbrann	V
10.3	Vedlegg C - Temperatur fra platetermometer omregnet til strålefluks	IX
10.4	Vedlegg D - Forsøksplan	XI
10.5	Vedlegg E - Forsøkslogg	XX
10.6	Vedlegg F - Tilleggsresultater	XXIII
10.7	Vedlegg G - Datablader totalfluksmålere	XXXV

Figurer

Figur 1 - Temperatur-tid kurve illustrert etter faser [4]	7
Figur 2 - Tid-/temperaturkurve dimensjonert etter en ISO 834-standardbrann	9
Figur 3 - Tid-/temperaturkurver dimensjonert etter metoden av Magnusson og Thelandersson [13]	10
Figur 4 - Temperatur- og hastighetsfordeling i røyklag langs tak [4]	11
Figur 5 - Trykkprofiler i en typisk rombrann [4]	12
Figur 6 - Strømning avhengig av motstand i åpning [14]	12
Figur 7 - Tid til følt smerte som funksjon av strålefluks.....	14
Figur 8 - Hastighet i element vs. persontetthet.....	15
Figur 9 - Prinsipiell utførelse av svalgang som overbygget (venstre) eller inntrukket (høyre) atkomstvei. [7].....	16
Figur 10 - Lovhierarkiet for forenklet brannteknisk prosjektering	17
Figur 11 - Utforming av byggets yttervegg som branncellebegrensende konstruksjon, og 5,0 m til hver side [2]	20
Figur 12 - Trapp utført som trapperom, og vegger vendt mot bygget i branncellebegrensende konstruksjon [2].....	20
Figur 13 - Illustrasjon av brannmotstandsdyktig vinduskomponent, før og etter branneksplosjon [18].....	22
Figur 14 - Vinduskonstruksjon med mål og definert lysåpning (L).....	25
Figur 15 - Illustrerende svalgangskonfigurasjon.....	29
Figur 16 - Illustrasjoner for hvordan hengsling er gjennomført. F.v.: Topphengsling, bunnhengsling, sidehengsling	30
Figur 17 - Plassering av kar i forhold til vindu og rom.....	31
Figur 18 - Plassering av totalfluksmålere i forsøk 1, 2, 4 og 5. I forsøk 3, posisjonert ved høyre karm.....	36
Figur 19 - Plassering av termoelementer.....	37
Figur 20 - Øvre flammtemperaturer - forsøk 1, 2 og 3.....	42
Figur 21 - Temperaturer ved åpninger - forsøk 1, 2 og 3.....	43
Figur 22 - Gjennomsnittstemperaturer ved vindu etter høydenivå - forsøk 1, 2 og 3.....	43
Figur 23 - Temperaturer i ganglinjen- forsøk 1, 2 og 3.....	44
Figur 24 - Gjennomsnittlig totalfluks - forsøk 1, 2 og 3	44
Figur 25 - Flammtemperaturer - forsøk 1, 4 og 5.....	48
Figur 26 - Temperaturer ved åpninger - forsøk 1, 4 og 5.....	49
Figur 27 - Temperaturer i ganglinjen - forsøk 1, 4 og 5.....	49
Figur 28 - Gjennomsnittlig totalfluks - forsøk 1, 4 og 5	50

Tabeller

Tabell 1 - Dimensjonssammenligning av forsøksrom og ISO rom.....	24
Tabell 2 - Oversikt over forsøk, datoer, type hengsling og åpning	26
Tabell 3 - Brensel og værforhold - forsøk 1, 2 og 3	40
Tabell 4 - Observasjoner - forsøk 1, 2 og 3.....	40
Tabell 5 - Brensel og værforhold - forsøk 1, 4 og 5.....	45
Tabell 6 - Observasjoner - forsøk 1, 4 og 5.....	45

Bilder

Bilde 1 - Oversiktsbilde av ResQ. Forsøksområde merket med rød firkant (www.google.com/maps)	23
Bilde 2 - Forsøksrom med tilhørende svalgang	27
Bilde 3 - Tildekning av frontåpning med gips, steinull og skamotecplate.....	28
Bilde 4 - Plating av vindu som ikke er i bruk, med tilhørende innvendig isolering	28
Bilde 5 - Vindusekvivalent brukt i forsøk	30
Bilde 6 - Plassering av paller i forsøk 1, 2 og 3	32
Bilde 7 - Plassering av paller i forsøk 4. Samme heving av paller er gjort i forsøk 5.....	32
Bilde 8 - Datalogger, Keysight 34970A Data Acquisition.....	33
Bilde 9 - Innkassering av totalfluksmålere og platetermometer.....	34
Bilde 10 - Plassering av kameraer og brannslange.....	38
Bilde 11 - Verste forhold - forsøk 1	41
Bilde 12 - Verste forhold - forsøk 2	41
Bilde 13 - Verste forhold - forsøk 3	41
Bilde 14 - Verste forhold - forsøk 4	47
Bilde 15 - Verste forhold - forsøk 5	47

Ordforklaringer

Aggregattilstand	Tilstander som stoffer/materialer kan opptre i, hhv. gass, flytende og fast [1].
Avvik	<i>Mangel på oppfyllelse av et krav [1]</i>
Branncelle	<i>Hel eller avgrenset del av byggverk hvor en brann fritt kan utvikle seg uten å spre seg til andre bygninger eller deler av byggverket i løpet av en fastsatt tid. [1]</i>
Brannklasse	Brannklasse 1,2 og 3. Ut fra den konsekvens en brann kan innebære for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljø, skal byggverk, eller ulike deler av et byggverk, plasseres i brannklasser [2]
Empirisk	<i>Erfaringsmessig, som bunner i eller stemmer med erfaring [3]</i>
Fravik	<i>Mangel på oppfyllelse av en preakseptert ytelse. [1]</i>
Funksjonskrav	<i>Overordnet målsetning eller oppgave som skal oppfylles. [1]</i>
Hydrodynamisk trykk	Trykk skapt av statisk trykk over en åpning ved en gitt høyde, hvor volumet går fra null bevegelse, til å få en fart v [4]
Hydrostatisk trykk	Trykket over en gitt åpning, uavhengig av høyde i en søyle gass eller væske [4]
ISO	Internasjonal Organisasjon for Standardisering
Kompenserende tiltak	<i>Tiltak som iverksettes for å opprettholde brannsikkerhetsnivået ved fravik fra løsninger som er akseptert på forhånd. [1]</i>
Konsekvensanalyse	<i>Systematisk fremgangsmåte for å beskrive eller beregne konsekvens. [1]</i>
Perfekt svart legeme	<i>Et tenkt legeme som absorberer all lys- og varmestråling som faller på det. [5]</i>
Persontetthet	Antall mennesker per arealenhet.
Preaksepterte ytelser	<i>Ytelse angitt av myndighet som vil oppfylle, eller bidra til å oppfylle, ett eller flere funksjonskrav. [1]</i>
Spontanantennelse	Antennelse som følge av varmeoverføring, uten ekstern tennkilde.

«Steady state»/stabil tilstand	Likevektstilstand, som tilsier at energimengde som strømmer inn i et legeme, er den samme som strømmer ut.
Termisk oppdrift	<i>Drivkrefter i oppadstigende luft eller gasstrømmer som skyldes temperaturforskjeller [1]</i>
Termisk treghet	<i>Produktet av overflatens eller gassens densitet, varmeledningsevne og varmekapasitet [1].</i>
TEK 10	Forskrift om tekniske krav til byggverk 2010, gitt i medhold av Lov om planlegging og byggesaksbehandling (pbl)
VTEK 10	Veiledning til forskrift om tekniske krav til byggverk 2010, gitt i medhold av Lov om planlegging og byggesaksbehandling (pbl)
Ytelse	<i>Teknisk, bruks- eller miljømessig kvalitet, kapasitet eller egenskap hos byggverk, bygningsdel, installasjon eller uteareal. [1]</i>

Symboler

Symbol	Beskrivelse	Enhet
A_0	Åpningsareal	[m ²]
A_f	Areal	[m ²]
A_t	Omhyllingsflate	[m ²]
D	Diameter	[m]
D	Persontetthet	[Pers./m ²]
E	Utstrålt energi	[W/m ²]
H	Høyde	[m]
H_0	Åpningshøyde	[m]
h	Konvektiv varmeoverføring	[W/m ² K]
ΔH_c	Forbrenningsvarme	[kJ/g]
$\Delta H_{c,luft}$	Spesifikk forbrenningsvarme pr. gram luft	[kJ/g]
k	Varmeledningsevne	[W/mK]
k	Konstant i ligning for ganghastighet	[m/s]
L_v	Fordampingsvarme	[J/kg]
\dot{m}	Massetapsrate	[kg/s]
\dot{m}''	Massefluks/massetapsrate pr. areal	[kg/m ² s]
\dot{Q}	Energiproduksjon/effekt	[W]
\dot{Q}''_E	Stålefluks fra omliggende overflater	[W/m ²]
\dot{Q}''_F	Varmefluks til brenseloverflate	[W/m ²]
\dot{Q}''_L	Varmetap fra brannrom	[W/m ²]
\dot{q}''	Energitransport pr. areal	[W/m ²]
\dot{q}''_R	Mottatt stråleenergi	[W/m ²]
\dot{q}''_x	Energitransport pr. areal i x retning	[W/m ²]
T	Temperatur	[K], [°C]
ΔT	Temperaturdifferanse	[K], [°C]
t	Tid	[min/s]
t_p	Tid til følt smerte	[s]
v	Hastighet	[m/s]
Δx	Endring i distanse/tykkelse	[m]
-	Grader celsius	[°C]
-	Kelvin (utgangspunkt i det absolutte nullpunkt)	[K]
ε	Emissivitet	[0< ε <1]
σ	Stefan-Boltzmann konstant	[5,67·10 ⁻⁸ W/m ² K ⁴]
$k\beta$	Materialkonstant for flytende brensel	[1/m]
φ	Synsfaktor/konfigurasjonsfaktor, 0< φ <1	[-]
χ	Forbrenningseffektivitet, 0< χ <1	[-]

Sammendrag

I bygninger der svalgang fungerer som rømningsvei, og rom for varig opphold vender mot denne, kan det oppstå konflikt mellom gjeldende krav om brannsikkerhet og termisk inneklima. Konflikten oppstår dersom veggen mellom svalgangen og rom for varig opphold må utføres som branncellebegrensende konstruksjon. Vinduer i denne veggen må da utføres med brannmotstand, hvilket også innebærer at det ikke skal kunne åpnes i normal brukstilstand. Dette fører til at vinduet ikke oppfyller krav om utlufting.

Den potensielle konflikten danner bakgrunnen for denne rapporten. Formålet med oppgaven er å undersøke hvordan åpningsbare vinduer med brannmotstand påvirker rømningsforhold i svalgangen, dersom det brenner i innenforliggende rom. Ved utførelse av fullskala forsøk vil det identifiseres forskjeller i rømningsforhold som følge av ulike vindusinretninger.

I forsøkene er det benyttet et tilnærmet ISO 9705-rom, tilknyttet en svalgangskonstruksjon via forskjellige konvensjonelle vindusinretninger. Ved branner sammenlignet med sannsynlige rombranner, utprøves åpne vinduer med topp-, -bunn- og sidehengsling. Vindusåpningen er for alle disse satt til $0,18 \text{ m}^2$, i et kvadratisk vindu med sidelengder på $0,9 \text{ m}$. Topphengslet metode er i tillegg utprøvd med åpningsareal på $0,27 \text{ m}^2$.

For å undersøke rømningsforhold og minst risikoøkende hengslingsmetode, er totalfluks og temperatur i svalgangens ganglinje målt og vurdert. Målinger blir sammenlignet med akseptkriterier anbefalt av Temaveiledning HO - 3/2000, og empiriske korrelasjoner mellom stråling og følelse av smerte. Observerte forhold i svalgangen tas også i betraktning, primært med tanke på flammegjennomtrengninger, røykstrømninger og røykarakteristikk.

Oppgavens funn tyder på at brannmotstandsdyktige topphengslede vinduer vil utgjøre lavest risiko for rømmende. Ved vindusåpning på $0,18 \text{ m}^2$ og en trolig konservativt dimensjonert brann, anses passering foran vinduet som gjennomførbart. Ved samme hengslingsmetode og åpning på $0,27 \text{ m}^2$ kan ikke det samme fastslås. Imidlertid er forsøket denne påstanden bygger på, antakeligvis utført med en noe i overkant konservativ brann.

Ettersom det kun er gjort fem forsøk, må oppgavens funn imidlertid tolkes kritisk.

Summary

In buildings where the gallery (balcony) works as an exit point, and room for lasting stay is facing it, it can create a conflict between current requirements for fire safety and thermal indoor climate. This conflict occurs if the wall between the gallery and room for lasting stay must be constructed as fire resistance construction. Windows in this wall must also be fire resistance, which means they cannot be opened in normal conditions. Furthermore, this means it doesn't fulfill the requirements for ventilation.

This potential conflict makes up the background for this thesis. The purpose with this thesis is to examine how openable windows with fire resistance, affect the escape conditions in the gallery, if there is a fire in the room connected to it. By performing full scale experiments, it will identify differences in escape conditions as a result of different window fittings.

In this study, an approximate ISO 9705 – rom was used, connected to a gallery construction with different conventional window fittings. With fires compared with probable enclosure fires, open windows with top, bottom and side hinging will be tested. The window opening for all this is set at 0.18m^2 in a square window with side length of 0.9m. The top hinge method is also tested with an opening area of 0.27m^2 .

To test the escape condition and hinging with the least risk, total flux and temperature in the gallery's walk line is measured and considered. The result is compared with accept criteria recommended by Temaveiledning HO – 3/2000 with empirical correlations between radiation and the feeling of pain. Observed conditions in the gallery are also taken into consideration. This study also looked at primarily flame penetration, smoke flow and smoke characteristics.

The thesis findings suggest that top hinge windows with fire resistance, will pose the least risk for the evacuees. With the opening area at 0.18m^2 and a probably conservative dimensioned fire, passing the window will be considered feasible. With the same hinge and an opening area of 0.27m^2 , the same cannot be ascertained. However, the results from this study, is done in a somewhat exaggerated conservative fire.

It was only done five experiments in this study, which means the findings must be interpreted critical

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

SINTEF-Byggforsk definerer svalgang som en overbygget eller inntrukken atkomstvei langs byggets fasade, minimum en etasje over bakken [6]. Bruken av svalgang strekker seg tilbake til bronsealderen, og opp gjennom historien har dens hensikt vært varierende. Enkelte funksjoner har likevel vedvart, som å gi personer mulighet for å bevege seg mellom bygningens rom beskyttet mot vær og vind¹.

Som rømningsvei skal svalganger utført etter veiledning om tekniske krav til byggverk (VTEK10) [2] i utgangspunktet være like sikre som andre rømningsveier. Likevel erfares det fra tidligere boligbranner at svalganger har bidratt til brannutvikling og spredning. Blant annet har dette vært som følge av åpenheter mellom svalgang og resterende bygning, og røykopsamling under himling i svalgang.

Gjennom byggteknisk forskrift (TEK10) [7] og tilhørende veiledning [2] stiller myndighetene krav til hva som kan anses som tilstrekkelig sikkerhet i bygninger. For svalganger kan dette innebære utførelse av vegg mot resterende bygningsmasse i branncellebegrensende materialer. Dette enten som følge av beskyttelse av trappeløp, eller ved enveistrømning. I så tilfelle skal vinduer i denne veggen utføres med brannmotstand og skal ikke kunne åpnes ved normal bruk. Dette vil være medvirkende til reduksjon av brannspredningsfare til svalgang og sikker rømning for brukere av byggverket.

Norske myndigheter stiller samtidig krav om hva tilfredsstillende ventilering innebærer. TEK10 krever eksempelvis at rom for varig opphold skal ha dør eller vindu som kan åpnes mot det fri [8]. Dette vil kunne medføre konflikt mellom krav om brannmotstand og lufting i samme veggelement.

I slike tilfeller vil det kunne måtte påvises at brannmotstand i vinduet ikke er nødvendig, i en slik utstrekning som ytelseskravene tilsier. Alternativer som endring i planløsning eller andre prinsipper for ventilering eller brannbeskyttelse, kan medføre uheldige eller uønskede løsninger. Konflikt mellom krav om brannmotstand og ventilasjon kan dermed være utløsende for økninger i kostander og ressursbruk ellers.

1.2 Oppgavens formål

Oppgaven har som formål å undersøke i hvilken grad åpningsbare brannklassifiserte vinduer i svalgang vil redusere rømningssikkerhet, ved brann i innenforliggende rom. Det vil være av interesse å vurdere og sammenligne ulike vindusinnretninger, eventuelle maksimale åpninger samt plassering og orientering av denne på en ellers branncellebegrensende vegg.

For å oppnå formålet er det gjennomført fem fullskala forsøk med brann i rom tilsvarende ISO 9705-rom. Dette er tilknyttet svalgangskonstruksjon via vindusekvivalent utført i gips. De tre første forsøkene er gjennomført med ulike hengslingsmetoder, topp-, bunn- og sidehengsling,

¹ Hentet fra epost-samtale med Nils Georg Brekke, Professor KTF, Bergen Arkitektsskole

med totalt åpningsareal på 0,18 m². Forsøk 4 og 5 er gjennomført med intensivring i brannforløpet, og med henholdsvis 0,18 og 0,27 m² åpningsareal. Begge er utført med topphengsling.

Brannene er sammenlignet med en representativ tid-/temperatur kurve for en brann i oppholdsrom. Tilhørende rømningsforhold er sammenlignet med akseptkriterier vedrørende temperatur og stråling anbefalt av Temaveiledning HO - 3/2000 [9]. I tillegg er rømningsforholdene vurdert i lys av empiriske korrelasjoner mellom tid til følt smerte ved strålingseksponering, sett i sammenheng med rimelig tidsbruk for passering av vindu.

1.3 Tidligere arbeider

Tidligere arbeider innenfor oppgavens tema, omhandler problematikken rundt åpninger mot svalgang generelt. Unntaksvis berører dette, til en viss utstrekning, også vinduer i svalgangen. Eksempler på tidligere arbeider er som følger:

En utredning av mulige endringer i veiledningen til TEK10, utarbeidet av Multiconsult i 2016, på oppdrag av Direktoratet for byggkvalitet (DiBK).

I utredningen ble det gjort en komparativ analyse, der analysebyggverket var generelt utført preakseptert i henhold til VTEK10, og referansebyggverket etter veiledningen til TEK97. Fravik ved analysebyggverket var uklassifiserte åpningsbare vinduer. Det kunne konkluderes med at analysebyggverket var å foretrekke. Ved i tillegg å utføre vinduet med brannmotstand og dører mot svalgang som selvlukkende, vil et eventuelt sikkerhetsgap godt være kompensert for [10].

En rapport fra SINTEF, utarbeidet av Norges Branntekniske Laboratorium (NBL), med hensikt å vurdere den tids (2003) sikkerhetsnivå i svalganger.

Rapporten kunne konkludere med at sikkerhetsnivået vil være tilfredsstillende ved utførelse etter den tids veiledning til teknisk forskrift til plan- og bygningsloven (REN), men at et særdeles stort antall byggverk hadde avvik fra denne. En konsekvensanalyse kunne konkludere med at konsekvensene kunne bli store dersom brann i leilighet fikk spre seg ut i svalgangen. Vedrørende åpenhet fra leilighet til svalgang foreslo NBL at ytelseskravene også burde innbefatte selvlukkende dører. I tillegg var NBL av den oppfatning at uklassifiserte vinduer vil kunne knuse etter om lag 3-5 minutter etter brannstart, ved overtenning. Konsekvensene ville da være sammenlignbare med de som følger av en åpen dør [9].

1.4 Antagelser og begrensninger

Oppgaven omtaler hovedsakelig svalganger i boligbygninger. Dette da de fleste svalganger bygges i forbindelse med slike bygg. Oppgavens funn kan trolig likevel relateres til svalganger i for eksempel industribygninger og kontorbygg.

Oppgaven vurderer ikke hvordan vinduets åpning medfører tilfredsstillende luftkvalitet. Tilstrekkelig inneklime avhenger ikke bare av vinduets åpning, men også av blant annet andre klimasystemer, rommets størrelse, bruk og personbelastning. For dimensjonering av tilstrekkelig inneklime kan NS-EN 15251 *Inneklimeparametere og dimensjonering og vurdering av bygningers energiytelse inkludert inneluftkvalitet, termisk miljø, belysning og akustikk* benyttes.

Oppgaven forutsetter at sprinkleranlegg enten ikke er aktivert eller er montert.

Sprinkleranlegg har erfaringsmessig vist seg å være et godt sikkerhetstiltak. Hensikten med oppgaven er å prøve ut vindusinnretninger uavhengig av andre brannsikkerhetssystemer.

Oppgaven vurderer rømningsikkerhet som følge av stråling (vurdert etter totalfluks) og temperatur i ganglinjen. Den vurderer dermed ikke akseptkriterier vedrørende sikt og brann- og røykgassers giftighet. Dette kan være av underordnet betydning da svalganger utført preakseptert vil kunne medføre gode luftemuligheter.

Oppgaven benytter ikke reelle brannklassifiserte vinduer. Det er i stedet benyttet en vindusekvivalent utført som en gipskonstruksjon. Antakeligvis er strømnings- og emisjonsegenskapene til denne omtrent like som for et brannklassifisert vindu. Realismegevinst i forhold til kostnadsnivå synes dermed å være liten, og en ubrennbar gipskonstruksjon vil trolig være tilstrekkelig for å besvare oppgaven.

Oppgaven tar utgangspunkt i kun én orientering av selve vinduet. Vinduets orientering i relasjon til en eventuell brann og svalgangen vil kunne være utslagsgivende for rømningsforhold. Dette er likevel diskutert i rapporten.

Oppgaven tar utgangspunkt i forsøk gjort utendørs. Selv om det er gjort modifikasjoner av konstruksjonen for å hindre påkjenninger av vær og vind, har dette likevel vist seg å påvirke brannforløp og resulterende rømningsforhold i svalgangskonstruksjonen. I oppgaven vil konsekvensene dette kan ha for forsøksresultatene betraktes.

2 Brannfaglig teori

Brannfaglig teori danner store deler av grunnlaget for forsøksoppsettet og resultatvurdering. Teoridelen omfatter produksjon og transport av varme, rombranner og dimensjonering av disse, i tillegg til følgene dette vil kunne ha i for personer i en rømningssituasjon.

2.1 Varmeproduksjon

Raten av energifrigjøring eller varmeproduksjonen anses som den viktigste karakteriserende faktoren for en brann. Energi frigjøres som følge av en forbrenning, der oksygen reagerer med brennbart stoff. Ofte er den maksimale varmeproduksjonen av interesse, ettersom denne vil kunne være dimensjonerende for eventuelle sikkerhetstiltak. Maksimal brannintensitet begrenses av enten tilgjengelig mengde brensel eller oksygen. Derav følger benevnelsene brenselkontrollert- og ventilasjonskontrollert brann [11].

2.1.1 Brenselkontrollert brann

Når brannen har tilstrekkelig oksygentilførsel, kan varmeproduksjonen uttrykkes ved produktet av brenselets massefluks (\dot{m}''), dets areal (A_f), forbrenningsvarme (ΔH_c) og forbrenningseffektivitet (χ) [11].

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c \quad [kW] \quad (2.1)$$

Forbrenningsvarme anses ofte som et mål på hvor mye varme som blir frigjort ved forbrenning av et spesifikt brensel og gis enhet for eksempel [kJ/g] [4].

Faktoren forbrenningseffektivitet modererer raten av energifrigjøring i beregninger, ved at den tar høyde for at ulike stoffer ikke brenner like effektivt. Eksempelvis avgir hydrokarbonbranner blant annet mye sot, og er en mindre effektiv forbrenning [4].

Massefluks er et mål på hvor mye av et stoff som omdannes til brennbar gass per tid og areal, og kan gis enheten [g/sm²]. Omdanningshastigheten er avhengig av stoffets egenskaper og hvor mye varme det utsettes for.

2.1.1.1 Varmeutveksling i en rombrann

I rombranner vil det i tillegg til varme produsert av brannen (\dot{Q}_F''), være hensiktsmessig å betrakte hvordan varme blir transportert tilbake til (\dot{Q}_E'') og vekk (\dot{Q}_L'') fra brenselsoverflaten. Ved eksempelvis store åpninger i rommet, kan større varmemengder transportert gjennom røykgasser, evakuere ut disse. I store romvolumer kan tilbakestråling fra røyklag og overflater i tillegg være effektiv. Dette kan imidlertid påvirke brannen mindre, dersom brenselets overflate (A_f) også er stort. I massetapsrate (\dot{m}), kan sammenhengen uttrykkes slik [11]:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L''}{L_v} \cdot A_f \quad [g/s] \quad (2.2)$$

der (L_v) er et uttrykk for den nødvendige varmen for at et stoff skal skifte aggregattilstand. For en væske vil dette være varmen som trengs for å fordampe. I brenselssammenheng er det energimengden som kreves for å produsere nok brennbar gass for antennelse [11].

2.1.2 Ventilasjonkontrollert brann

Dersom rombrannen er begrenset av tilført oksygen, kan varmeproduksjonen uttrykkes via oksygentilstrømning og varmeproduksjon per forbrent oksygen. Ettersom oksygenfraksjonen i luft ved atmosfærisk trykk ofte er den samme, kan varmeproduksjonen uttrykkes indirekte ved tilstrømning av luft. Under denne forutsetningen, i tillegg til at alt oksygen deltar i forbrenning, kan en ventilasjonkontrollert brann uttrykkes på følgende måte [11]:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{luft} \cdot \Delta H_{c,luft} \quad [kW] \quad (2.3)$$

lufttilstrømning kan videre betraktes som en funksjon av trykkdifferanser mellom brannrommet og tilsluttende rom. Forenklet kan dette uttrykkes via dimensjoner til åpningen mellom disse rommene, slik [4]:

$$\dot{m}_{luft} = 0.5 \cdot A \cdot \sqrt{H_0} \quad [g/s] \quad (2.4)$$

der (A) er åpningens areal og (H_0) er åpningens høyde. Da arealet er produktet av åpningens høyde og bredde, resulterer dette i at lufttilstrømning er noe mer avhengig av høyde enn bredde.

2.2 Varmetransport

Brannens energitransport blir knyttet til tre ulike mekanismer, konduksjon, konveksjon og varmestråling. Den dominerende transportmekanismen er avhengig av brannens fase og orientering i relasjon til legemet som mottar varme. [11].

2.2.1 Konduksjon

Konduksjon er mest sentral i forbindelse med varmetransport i, og gjennom faste materialer. Varmeledningsevnen er materialavhengig, der for eksempel gode elektriske ledere også er gode varmeledere. Ved «steady state» (stabil tilstand) og varmetransport i kun én retning, kan konduksjon beskrives av Fourier's lov:

$$\dot{q}_x'' = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [W/m^2] \quad (2.5)$$

der koeffisienten (k) er materialsesifikk og varierer med temperatur [11].

2.2.2 Konveksjon

Varmeutveksling mellom fluider (væske eller gass) eller fluid og fast materiale omtales som konveksjon. Følgende relasjon kan uttrykkes ved newtons avkjølingslov [11]:

$$\dot{q}'' = h \cdot \Delta T \quad [W/m^2] \quad (2.6)$$

der det konvektive varmeoverføringstallet (h) er avhengig av fluidets egenskaper, objektets overflategeometri og diverse strømningsparametere. Sistnevnte i form av for eksempel turbulens eller fluidhastighet. Ved økning i disse parameterne vil den konvektive varmeoverføringsmekanismen generelt være mer effektiv. Ved i tillegg lave temperaturer (<150-200 °C), vil den konveksjon kunne være den mest dominerende transportformen [11].

2.2.3 Termisk stråling

Til forskjell fra konveksjon og konduksjon, overføres ikke varmestråling gjennom et medium (eksempelvis fluid eller legeme). Dette ettersom energi overføres via elektromagnetiske bølger. Ved større temperaturer (400 °C<), er stråling ofte den mest dominerende formen for varmetransport [12]. Total energi utstrålt fra et legeme er i henhold til Stefan-Boltzmann-ligningen, proporsjonal med temperatur i Kelvin i fjerde potens (T^4). Den totale utstrålte strålingsenergien uttrykkes slik:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad [W/m^2] \quad (2.7)$$

der konstanten $\sigma \sim 5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2\text{K}^4$. Strålingsenergien modereres videre som følge av det utstrålende legemets fargespektrum, relativt til et perfekt svart legeme, representert ved en emisjonsfaktor ($0 < \varepsilon < 1$) [11]. Faktoren nærmer seg 1 ved mørke overflater, og reduseres ved lysere. Skal faktoren representere et røyklag, vil også røyklagets tetthet måtte tas i betraktning. Ved større tetthet vil emissiviteten øke [11].

For å beregne intensiteten et mottakende legeme vil oppleve, må den geometriske relasjonen mellom utsendende og mottakende legeme betraktes. Relasjonen representeres ved en konfigurasjonsfaktor, også kalt en synsfaktor ($0 < \varphi < 1$). Enkelt forklart, tar denne hensyn til hvor mye av legemet som stråler, som kan ses fra det mottakende legemets posisjon. Dette via avstander, vinkler og størrelser. Total stråling per arealenhet kan dermed uttrykkes slik [11]:

$$\dot{q}''_R = \varphi \cdot E \quad [W/m^2] \quad (2.8)$$

beregningen av konfigurasjonsfaktoren kan være svært kompleks, men tilnærminger kan finnes i tabell- og diagramform, i diverse litteratur.

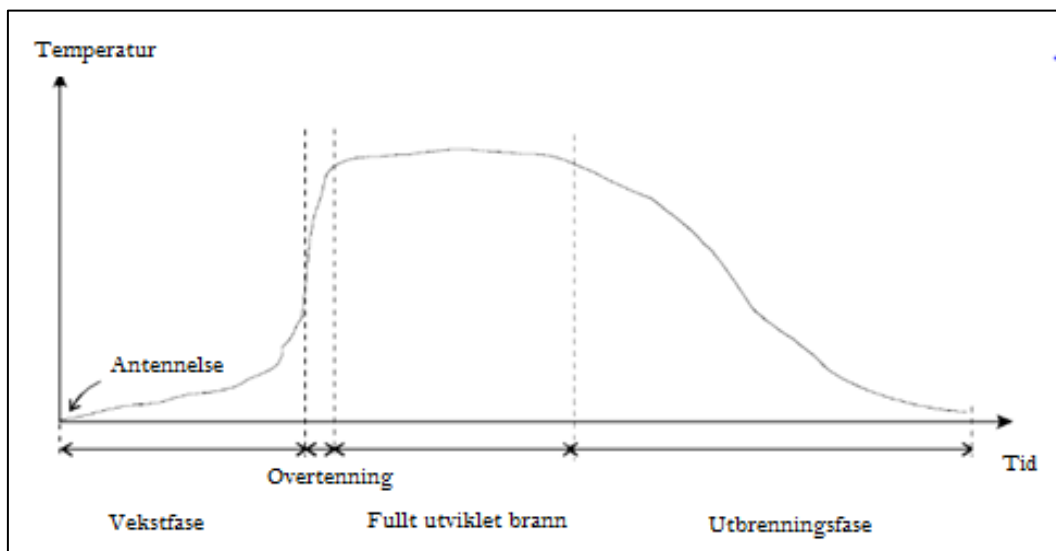
2.3 Rombrann

Brannodynamiske prosesser som styrer brannens utvikling og spredning til andre rom eller bygningsdeler, danner grunnlaget for store deler av bygningers brannsikkerhetsdesign.

Rombranner og dimensjonering av disse kan således være av stor interesse for en branningeniør [4].

2.3.1 Faser

Brannforløp i rom kategoriseres i faser, herunder antennelse, vekst, fullt utviklet og utbrenning. Rekkefølgen og varigheten av disse er varierende, og determineres generelt av tilgjengelig mengde og type brensel samt oksygentilførsel. Foruten fasene er overtenning et sentralt vendepunkt i en rombrann. Dette siden overtenning kan blant annet defineres som det fenomenet som oppstår når alle brennbare flater i rommet spontanantenner. I figur 1 er en tid-/temperaturkurve for en typisk rombrann illustrert [4].



Figur 1 - Temperatur-tid kurve illustrert etter faser [4]

2.3.1.1 Antennelse og vekst

Dersom et materiale produserer mer varme enn det gir fra seg, vil antennelse kunne finne sted. Antennelse av brennbart materiale kan skje på flere måter og fasens varighet kan variere stort. Videre vekst avhenger av egenskapene til det brennbare materialet, dets interaksjon med omgivelsene, type forbrenning og oksygentilgjengelighet [4]

2.3.1.2 Overtenning

En relativt hurtig overgang fra vekstfase til fullt utviklet brann, kan beskrives som en overtenning. Fenomenet blir ikke kategorisert som en fase ettersom rombranner kan nå fullt utviklet brann uten at dette inntreffer. Følgende kriterier vil kunne legges til grunn for å determinere tidspunktet for overtenning [4]:

- røyklaget overstiger en temperatur på omtrent 500-600 °C, noe som kan observeres ved at røyklaget antenner
- varmestråling til gulvflaten overstiger 20kWm^{-2}
- det kan observeres flammer på utsiden av brannrommet

2.3.1.3 Fullt utviklet brann

Som navnet tilsier, når brannen sin maksimale intensitet ved fullt utviklet brann. Fasen karakteriseres ved at brannvekst begrenses av oksygentilførsel eller brennbart materiale. For videre vekst, må brannen for eksempel spres til omliggende rom. Dersom oksygen er begrensende faktor, vil det kunne dannes et overskudd av brennbare gasser i røyklaget. Disse kan antenne når brann- og røykgassene unnslipper rommet, for eksempel gjennom et vindu. I så tilfelle vil det være mulig å observere stikkflammer eller kontinuerlige flammer ut vindusåpningen. Røykgasstemperaturen er ofte da i intervallet 700 til 1200 °C [4].

2.3.1.4 Utbrenning

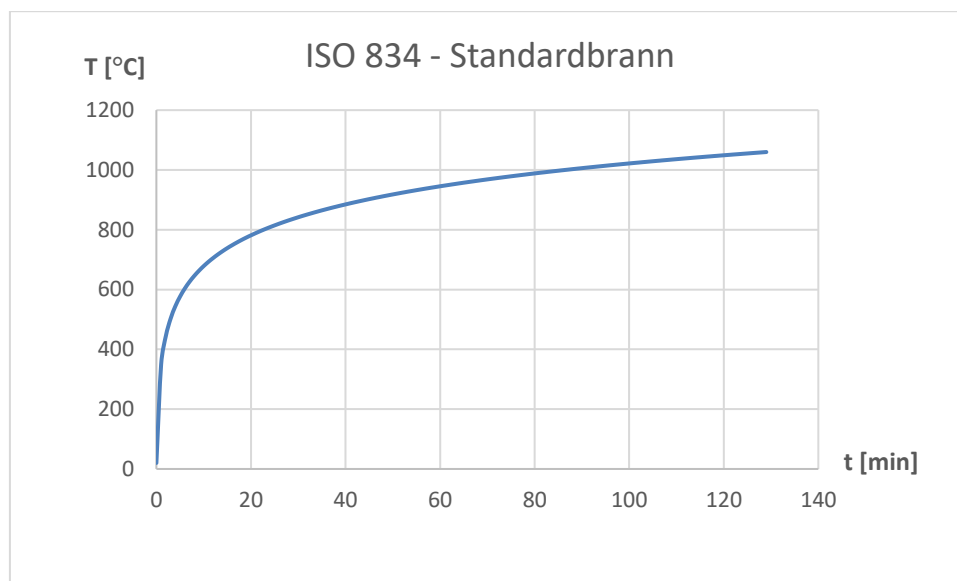
Når mengden brennbar gass reduseres vil brannens omfang ikke lenger kunne opprettholdes. Varmeavgivelse og temperatur reduseres med brannens størrelse. Fasen kan ha svært lang varighet grunnet for eksempel gjenværende glør, som krever lang avkjølingstid [4]

2.3.2 ISO 834 – Standard brannkurve

Ettersom et brannforløp avhenger av svært mange og komplekse variabler, vil det i mange sammenhenger være mer hensiktsmessig å benytte standardiserte former for branndimensjonering. En av de mest vanlige standardiserte tid-temperaturkurver er ISO 834-kurven. Denne benyttes ved klassifisering av et bredt produktspekter. Hensikten med dette er å kvantifisere hvor lenge de kan motstå temperaturpåkjenning, representativt for et fullstendig brannforløp. Av standardiseringsorganisasjonen ISO defineres den slik:

$$T = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.9)$$

der tiden (t) angis i minutter. I figur 2 illustreres kurven i tidsintervallet 0 til 130 minutter. Kurven er designet for å representere forhold som sannsynligvis er mer belastende i forhold til hva som kan ventes av en konvensjonell brann. Forenklet, benevnes dette som en «konservativ brann» [4]



Figur 2 - Tid-/temperaturkurve dimensjonert etter en ISO 834-standardbrann

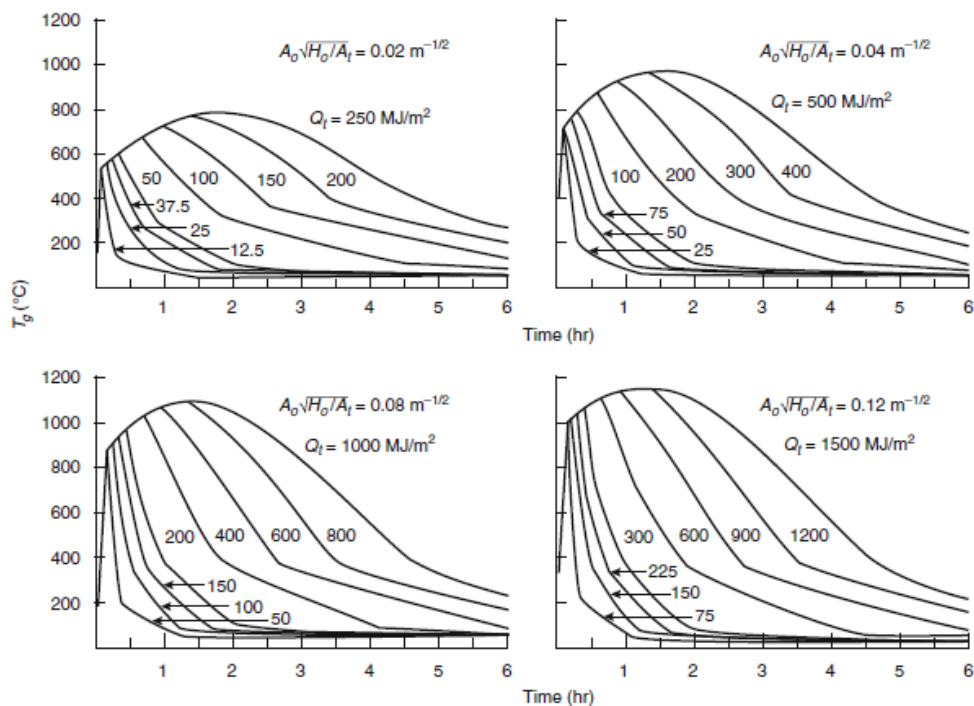
2.3.3 Den svenske metoden

En annen metode for dimensjonering av rombrann er utviklet av Magnusson og Thelandersson. Metoden er basert på ligninger for masse- og energikonservering i en rombrann, i tillegg til data fra rombranneksperimenter. Ved å ta hensyn til brannrommets størrelse, åpninger, bygningsmateriale og arealspesifikk brannenergi, kan tid-temperaturkurver estimeres. Eksempler på disse vises i figur 3. Der er kurvene gitt i intervaller av åpningsfaktor $\left(\frac{A_o\sqrt{H_o}}{A_t}\right)$ og spesifikk brannenergi (Q_t). Åpningsfaktoren er forholdet mellom lufttilstrømning og rommets omhyllingsflate ganger to [4]. Med omhyllingsflate menes summen av arealene til alle flater i et rom, herunder vegger, tak og gulv.

Spesifikk brannenergi uttrykkes ved rommets totale brannenergi dividert på omhyllingsflaten. Statistiske og dimensjonerende verdier for brannenergi tilhørende ulike typer bygninger og rom, kan videre finnes i diverse litteratur og standarder [12].

En av de største ulempene med metoden er at den forutsetter at alt oksygen reagerer med brennbart materiale, og innenfor rommet. Kurvene kan dermed overestimere temperaturen dersom store deler av energien transporteres bort fra brannrommet, for eksempel i form av røyk og flammer [4].

Kurvene i figur 3 kan tolkes dithen at dersom brennbare materialer i et rom er distribuert over et relativt stort område, vil en kort men intens brann inntreffe. Lignende scenario oppnås ved en økning i rommets lufttilstrømning, med samme arealspesifikke brannenergi [4].



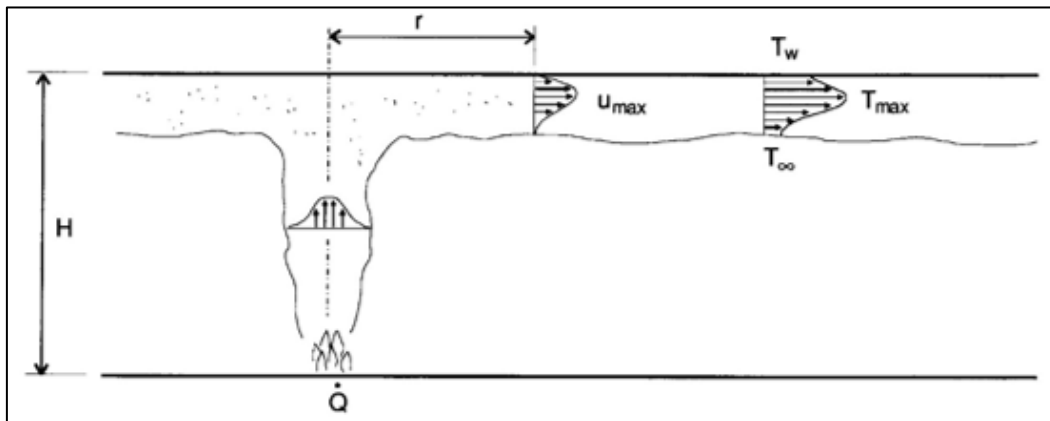
Figur 3 - Tid-/temperaturkurver dimensjonert etter metoden av Magnusson og Thelandersson [13]

2.3.4 Røykkarakteristikk i rombranner

Transport av brann- og røykgasser fra en rombrann kan være sentralt for spredning av energi og brann til andre rom og bygningsdeler. De styrende mekanismene for røyktransport avhenger i stor grad av brannens og brannrommets størrelse [4].

2.3.4.1 Temperaturfordeling i røyken

Når brannen øker i intensitet vil termiske oppdriftskrefter være dominerende transportform. Oppdrift er generelt en konsekvens av tetthetsdifferanser mellom to fluider. Termisk oppdrift er et resultat av temperaturdifferanser mellom røykgasser og romtemperaturen ellers. Ettersom større temperaturer i røykgassene medfører lavere tetthet, vil oppdriftskreftene således være en indirekte konsekvens av temperaturforskjeller. Dette fører til at røyklagstemperaturene generelt er større i rommets høytliggende deler. Temperaturene vil derimot kunne reduseres i kontakt med overflater, for eksempel tak og vegger. Dette som følge av varmeoverføring til og gjennom veggene. Resulterende temperaturdistribuering illustreres i figur 4. Her illustreres også hastighetsprofilen (u), med lignende vertikalfordeling [4].

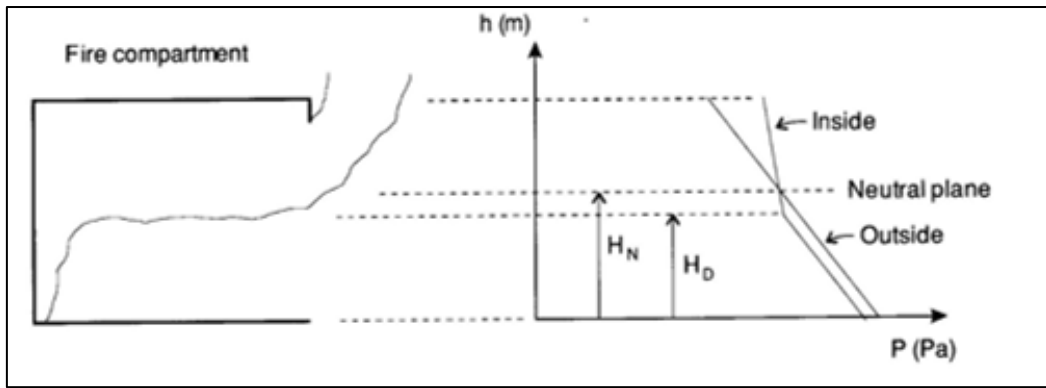


Figur 4 - Temperatur- og hastighetsfordeling i røyklag langs tak [4]

Ellers vil også temperaturen og hastigheten i røykgassene reduseres ved større avstand (r) fra flammen. Dette grunnet innblanding av omliggende luft i røykgassene, men også energitap til tak og vegger [4].

2.3.4.2 Gassutveksling mellom brannrom og omliggende rom

Røykspredning i brannens mer utviklede faser avhenger i stor grad av trykkdifferanser mellom brannrommet og omliggende rom. Ettersom oppdriftskrefter «skyver» gassene i rommet oppover, vil trykket i de høytliggende delene kunne øke, og i de lavtliggende minke. I de vertikalnivåer der trykket er større i brannrommet enn i omliggende rom, vil røykgasser forlate rommet. Der trykkdifferansen er motsatt distribuert, vil luft strømme inn i brannrommet. I figur 5 er typiske trykkprofiler for en rombrann, med røyklag samlet under taket og ned til høyde H_D , illustrert. Trykkprofilene i og utenfor brannrommet indikeres med piler («inside» og «outside»). Her vises også nøytralplanet, ved høyde H_N , der trykkdifferansen mellom utsiden og innsiden av brannrommet er null. Luft strømmer inn i brannrommet under dette planet [4].



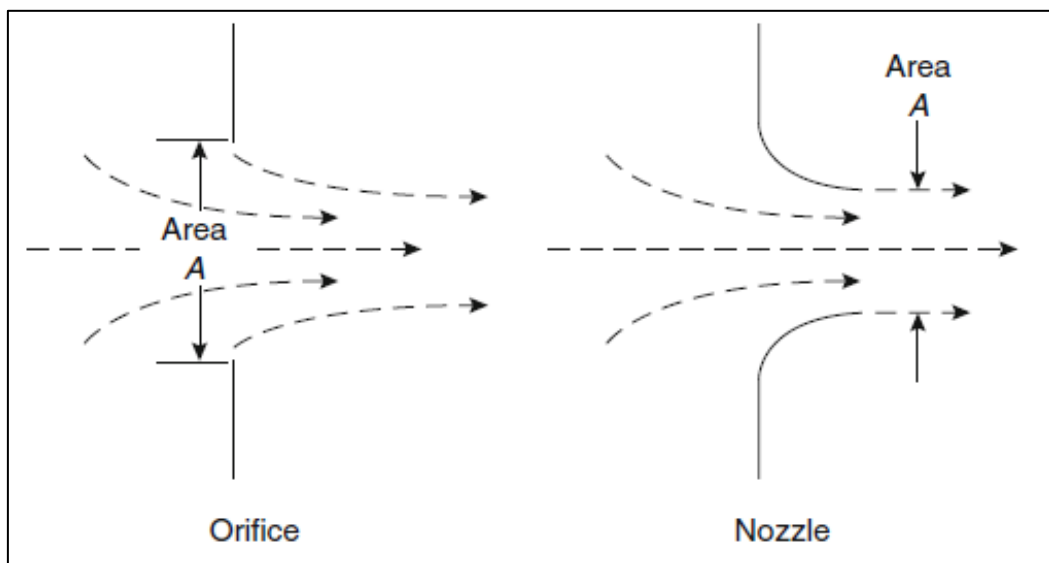
Figur 5 - Trykkprofiler i en typisk rombrann [4]

2.3.4.3 Strømning gjennom mindre åpninger

Figur 6 illustrerer røykevakueringssprinsipp gjennom større åpninger, som følge av trykkdifferanser. En slik åpning vil være karakteristisk for en åpen dør, i tilknytning til et naborom. Den lineært stigende trykkprofilen til naborommet («outside») fra høyt til lavt, er grunnet økende atmosfærisk trykk nærmere bakkenivå. Slike trykkfordelinger benevnes hydrostatisk trykk, og er generelt distribuert vertikalt.

For en mindre åpning, for eksempel en liten åpning i et vindu, vil røykstrømning være avhengig av trykkdifferanser primært grunnet røykhastighet og friksjon. Dette benevnes hydrodynamisk trykk. Ettersom røykhastigheter varierer i høyde, vil vinduets vertikale plassering på veggen også kunne være utslagsgivende for røykmengde evakuert gjennom dette. Er nøytralplanet også orientert i høyder over vinduet, kan dette medføre at mindre røyk strømmer ut av dette, men heller at oksygen strømmer inn [4].

Vinduets eller åpningens innretning vil også kunne påvirke røykhastighet i form av strømningsmotstand. I figur 6 sammenlignes motstand som oppstår ved en kantet åpning (venstre) og en mer dyseformet åpning (høyre). Sistnevnte vil skape mindre friksjon og vil fordre større hastigheter og røykmengder, da denne vil kanalisere røyken i større grad [4].



Figur 6 - Strømning avhengig av motstand i åpning [14]

2.4 Sikkerhet ved rømning

I tillegg til brann-dynamiske prosesser, omfatter brannteknisk prosjektering også hvordan personsikkerhet ivaretas ved brann. Dette er et sentralt aspekt og forutsetter generelt at mennesker skal kunne komme seg i sikkerhet uten å utsettes for unødvendig risiko. Blant annet innebærer dette at rømmende ikke skal eksponeres for påkjenninger fra brann og brann-gasser, utenfor definerte rammer.

2.4.1 Akseptkriterier

Akseptkriterier, også omtalt som tålegrenser, beskrives blant annet i SN-INSTA/TS 950 – *Analytisk brannteknisk prosjektering - Komparativ metode for verifikasjon av brannsikkerhet i byggverk*. Dette er grenseverdier for ulike påkjenninger for mennesker som følge av brann. Det defineres grenseverdier for sikt, stråling og fraksjoner av toksiske gasser, og temperatur i røyklag i rømningssone. Temaveiledning HO - 3/2000 - *Røykventilasjon* [9], av desember 2000, anbefaler følgende vedrørende stråling:

Under rømning bør ikke personer utsettes for mer enn:

- *vedvarende stråling på 1 kW/m²*
- *strålingsintensitet på 10 kW/m² i maks 4 s.*
- *samlet strålingsenergi på 60 kJ/m² (60 kW s/m²) utover energien fra en stråling på 1 kW/m²*

Temaveiledningen angir 80 °C for maksimale temperatur i røyklag.

2.4.2 Strålingsintensitet over kortere tidsperioder

Akseptkriterier for stråling er angitt i relasjon til spesifiserte tidsintervaller. Dersom stråling ses i sammenheng med passeringstid forbi en smal varm sone, kan stråleeksponeringstid være relativt lav. Dette for eksempel et åpent eller knust vindu med brann i innenforliggende rom. I slike tilfeller kan det være mer hensiktsmessig å betrakte strålingsintensitetens betydning i forbindelse med rømningshastighet.

2.4.2.1 Tid til følt smerte

Society of Fire Protection Engineers (SFPE) har i sin håndbok for brannsikkerhetsingeniører presentert en empirisk korrelasjon mellom strålingseksponering (\dot{q}'') i [kW/m²], og tid til følt smerte (t_p). Denne kan uttrykkes på følgende måte [15]:

$$t_p = \left(\frac{35}{\dot{q}''}\right)^{1,33} \quad [s] \quad (2.10)$$

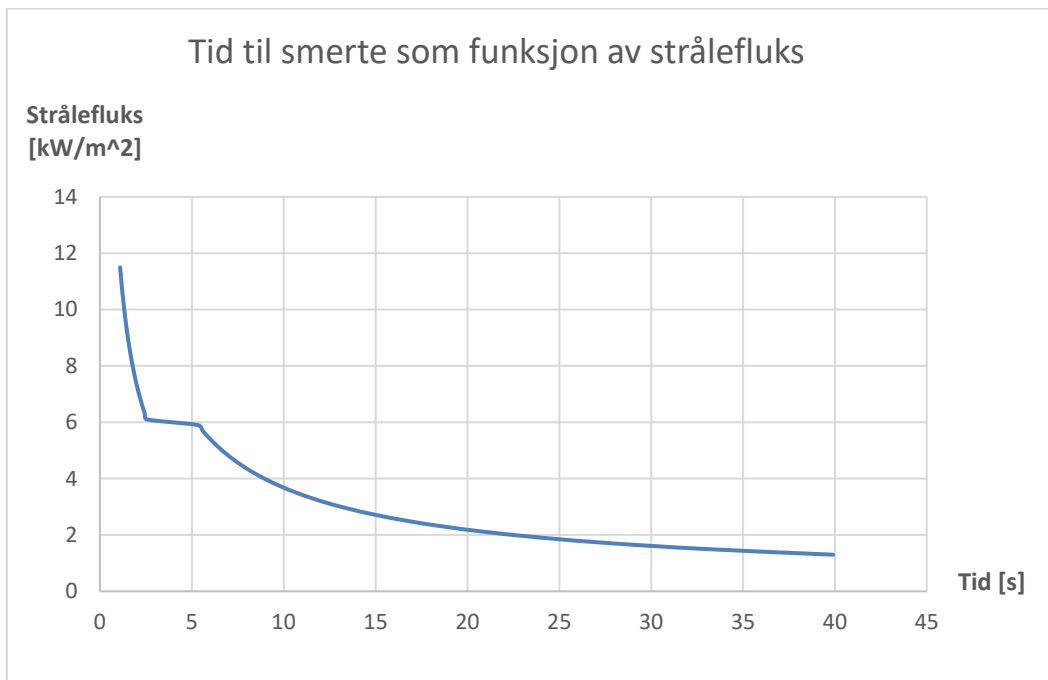
ligningen kan videre modifieres etter aktuell strålefluks. For verdier under 1,7 kW/m² ventes det ikke at personer vil oppleve smerte, uavhengig av eksponeringstid. Videre vil en konservativ tilnærming være å halvere tiden til følt smerte ved å multiplisere høyre side av likhetstegnet med 0,5. Ved strålingsintensiteter over 6,0 kW/m², kan den anslå en noe stor

tidsverdi. For korreksjon multipliseres det i stedet for med 0,25. Følgende konservative anbefalinger blir dermed [15]:

$$t_p = \frac{1}{2} \left(\frac{35}{\dot{q}''} \right)^{1,33} \quad \dot{q}'' \leq 6,0 \text{ [kW/m}^2\text{]} \quad (2.11)$$

$$t_p = \frac{1}{4} \left(\frac{35}{\dot{q}''} \right)^{1,33} \quad \dot{q}'' > 6,0 \text{ [kW/m}^2\text{]} \quad (2.12)$$

I figur 7 er tid til følt smerte plottet som en funksjon av strålefluks.



Figur 7 - Tid til følt smerte som funksjon av strålefluks

2.4.2.2 Rømningshastighet

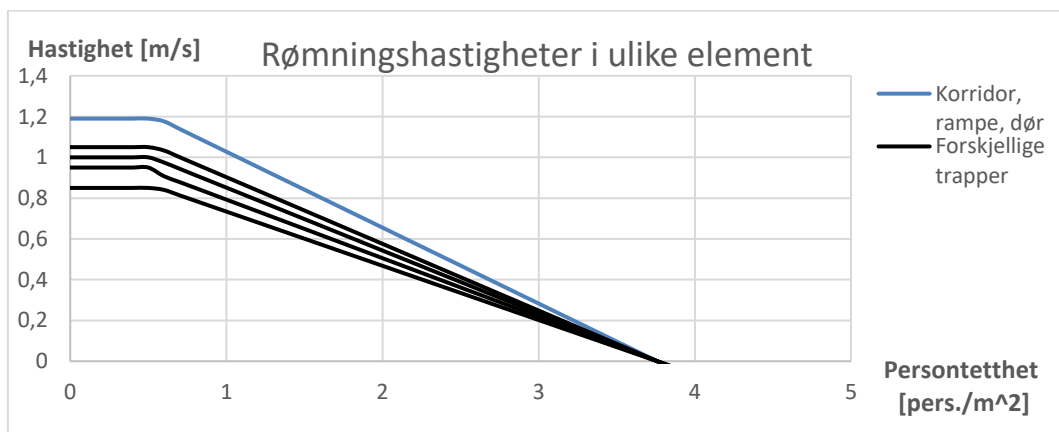
Rømningshastigheten er den hastigheten personer beveger seg med ved rømning. Den kan dimensjoneres etter typen areal som skal forseres og persontettheten (D) i arealet. Sistnevnte finnes slik:

$$D = \frac{\text{Antall personer i areal}}{\text{Areal som forseres}} \quad [\text{pers./m}^2] \quad (2.13)$$

Dersom tettheten er mindre enn $0,54 \text{ pers/m}^2$ beveger hvert individ seg etter egenbestemt hastighet, uavhengig av andre. Er tettheten større enn $3,8 \text{ pers/m}^2$, kan det antas at bevegelsen til populasjonen i området stagnerer til tettheten reduseres. Videre antas et lineært forhold mellom disse tetthetsintervallene. Rømningshastigheten (v) beskrives dermed på følgende måte:

$$v = (1 - 0,266 \cdot D)k \quad [\text{m/s}] \quad 0,54 < (D [\text{pers./m}^2]) < 3,8 \quad (2.14)$$

der k er en konstant gitt avhengig av typen areal som skal forseres, eksempelvis trapp med ulike opptrinn og inntrekk, korridor, rampe eller dør. Eksempelvis angir ligningen maksimal bevegelseshastighet i korridor til omtrent $1,2 \text{ m/s}$. I figur 8 illustreres hastighetskurver for ulike typer areal som funksjon av persontetthet [16].



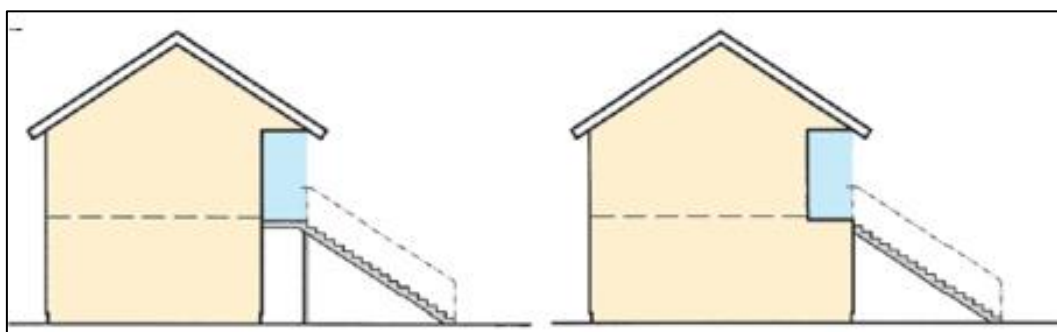
Figur 8 - Hastighet i element vs. persontetthet

3 Brannfaglig betraktning av svalgang

For å besvare oppgaven suppleres brannodynamisk teori med myndigheters krav om brannsikkerhet. Dette for å danne et vurderingsgrunnlag for betydningen av det eventuelle fraviket løsningen i oppgaven vil medføre.

3.1 Definisjon og hensikt

SINTEF-Byggforsk definerer svalgang som en overbygget eller inntrukken atkomstvei langs byggets fasade, minimum en etasje over bakken [6] og illustreres i figur 9. Hensikten er at den skal fungere som et bindeledd mellom bygningens komponenter, hovedsakelig mellom leiligheter i et boligkompleks. Dette medfører ofte at den enten leder til eller er en del av byggets rømningsvei, noe som utløser en rekke branntekniske krav.



Figur 9 - Prinsipiell utførelse av svalgang som overbygget (venstre) eller inntrukken (høyre) atkomstvei. [7]

3.2 Lovhierarkiet

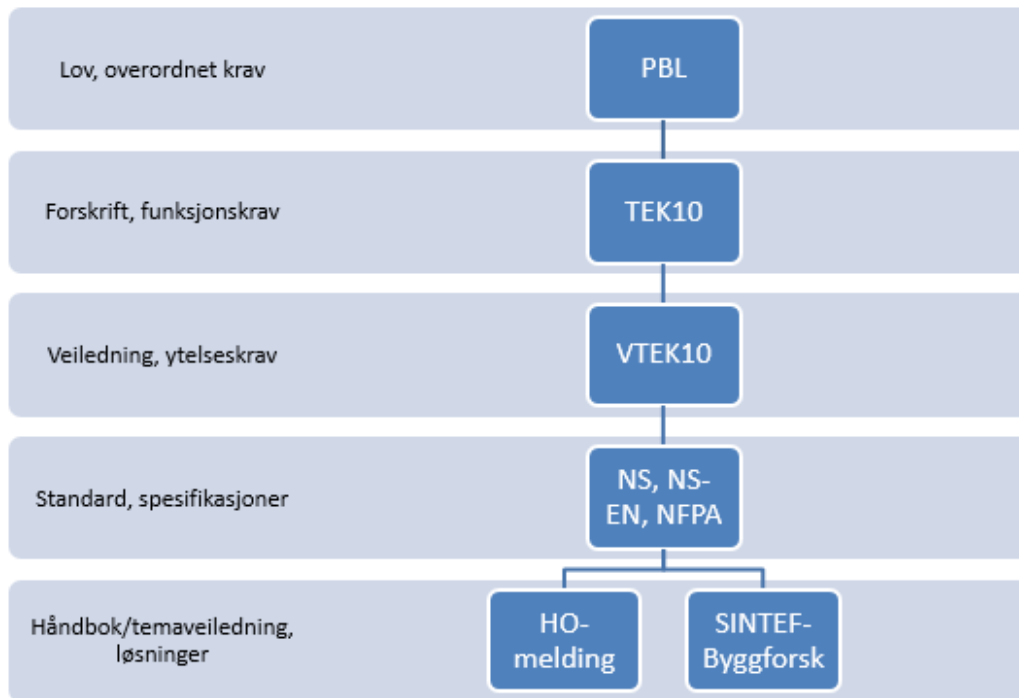
I Norge gir TEK10 føringer til hvilke branntekniske funksjoner et byggverk må etterleve, og gir utfyllende regler til plan- og bygningsloven (PBL). Krav i forskriften må følges og skal verifiseres skriftlig [2]. Dispensasjon må gis ved unntak.

Ofte er det behov for anbefalinger av veiledende karakter til å klargjøre forskriftsbestemmelsene. VTEK10 gir forslag til ytelsesnivåer/krav som kan følges, og som vil tilfredsstillende de overordnede forskriftskravene. Ytelseskravene kan også kalles for preaksepterte ytelser. Følges disse kravene ved prosjektering, benevnes dette forenklet brannteknisk prosjektering.

Dersom en velger å fravike ytelseskravene må brannsikkerheten dokumenteres ved hjelp av analyse. Dette omtales som analytisk brannteknisk prosjektering. Av analysen skal det kunne dokumenteres at brannsikkerheten ivaretas på tilfredsstillende nivå. Ved fravik av større betydning kan det gjennomføres en komparativ- eller en risikoanalyse. Gjennomføres disse i samsvar med NS 3901 - *Risikovurdering av brann i byggverk* og/eller SN-INSTA/TS 950 vil dette tilfredsstillende forskriftens krav til analyse av brannsikkerhet [2].

Temaveiledninger og håndbøker er et hjelpemiddel som angir dokumenterte løsninger og forslag til utførelse. Ofte bygger disse på metoder i samsvar med standarder, hvor det fremkommer tekniske spesifikasjoner for å oppnå kravene til brannsikkerhet i TEK10 [8].

En oversikt over hierarkiet av lovverk vises i figur 10. Gjennom disse verktøyene kan krav til brannsikkerhet tilfredsstilles ved forenklet brannteknisk prosjektering.



Figur 10 - Lovhierarkiet for forenklet brannteknisk prosjektering

3.3 Brannklassifisering av bygningsdeler

Brannklassifisering av bygningsdeler indikerer hvor lenge branntekniske egenskaper kan forventes å være opprettholdt ved brannpåkjenninger, i henhold til en standard tid-/temperaturkurve. Bygningsdelens brannmotstand kan ha betydning for både personsikkerhet og ivaretagelse av materielle verdier [2]. Eksempelvis kan branncellebegrensende bygningsdeler klassifiseres via følgende egenskaper:

- E (integritet): Bygningsdelens evne til å motstå brannpåkjenningen på en av sidene, uten at brannen smitter igjennom som følge av gjennomtrengning av flammer eller varme gasser
- I (isolasjon): Evnen til å motstå brannpåkjenning på en av sidene, uten at brannen overføres til baksiden som en følge av betydelig varmegjennomgang (varmeledning)
- W (beskyttelse mot varmestråling): Aktuelt for vinduer. Angir minimum tid der varmen fra glasset ikke overstiger 15 kW/m^2

Klassifiseringene etterfølges av et tall som beskriver hvor lenge (i minutter) egenskapen skal ventes å vare gjennom et brannforløp, eksempelvis EI 30. Ettersom disse er Euroklasser, skal foreløpig også tidligere norske klassifiseringer benevnes, påfølgende av klassifiseringen i parentes. EI 30 skal derfor benevnes EI 30 [B 30], der B 30 er tilsvarende tidligere klassifisering.

De overnevnte klassifiseringene gjelder den totale bygningsdelen. I tillegg kan det stilles krav på materialnivå for å skille brennbare og ubrennbare materialer. Eksempelvis gis sistnevnte benevnelse A2-s1,d0. Første bokstav er hovedklassen og indikeres fra A1, A2, B til F, der A1 ikke gir noe bidrag til brannutvikling, mens det for F ikke stilles krav til dette. Underklassene s og d står for henholdsvis røykproduksjon og avgivelse av brennbare dråper. Klassen s gis i skala fra 1 til 3 og d fra 0 til 2, der lavere tall klassifiserer materialer som avgir mindre av de respektive produktene ved brannpåkjenning [2].

Det gis også klassifiseringer til taktekning, isolasjon på rør og kanaler, og gulvbelegg. For sistnevnte benyttes klassene A_{f1} til F_{f1}, med underklassene s1 til s2 [2].

3.4 Svalgang som rømningsvei

Det fremgår av VTEK10 [2] at dersom svalgangen er en del av byggets rømningsvei, er det krav om at den skal være like sikker og trygg som andre rømningsveier. Den må ikke bidra til uakseptabel spredning av brann eller skape utfordrende situasjoner hva angår slokking og redning. Dette kan anses som oppnådd dersom ytelser i VTEK10 minst er oppfylt. Her spesifiseres preaksepterte krav til avstander, overflater, bygningsmaterialer, mm.

3.4.1 Nylige endringer i VTEK

Ved overgangen fra VTEK07 til VTEK10 har de preaksepterte løsningene for svalgang i noe grad blitt endret, hvor erfaringer fra opplevde branner er tatt i betraktning. I overgangen ble følgende endringer i veiledningsteksten utført [2]:

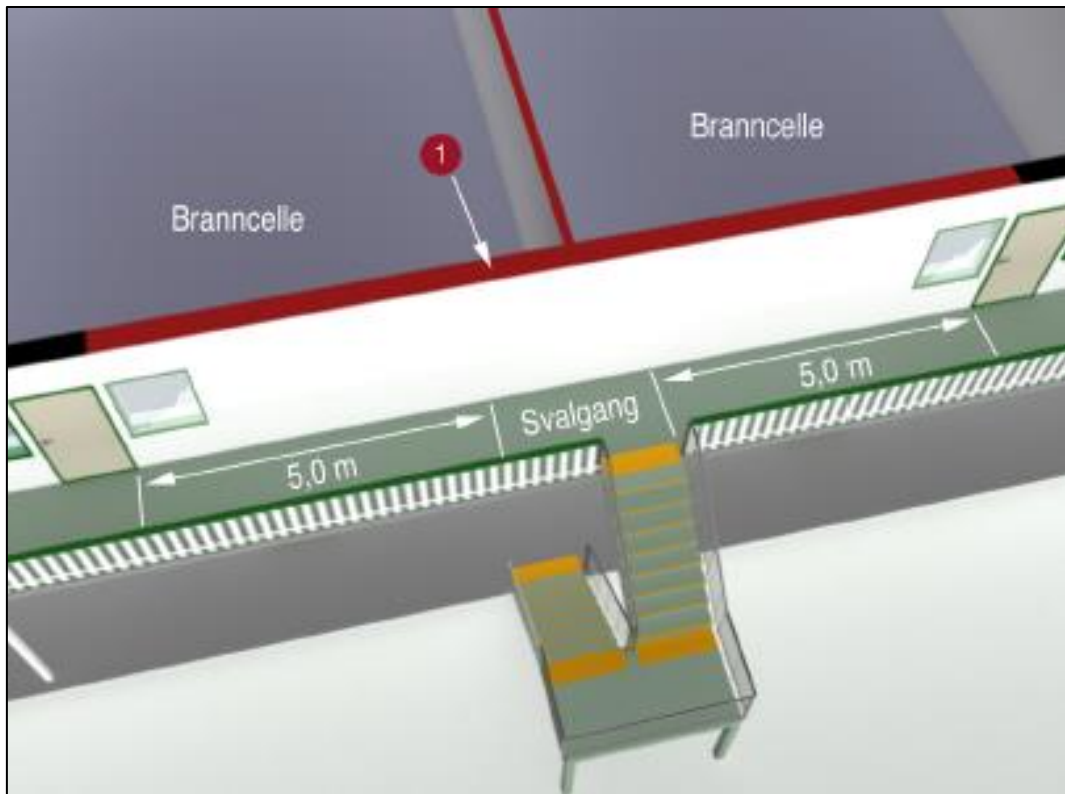
- Bredder 1,2 m ved bruk som flammeskjerm endres ved ordlyd fra "bør" til "må". Denne utgaven legger også til at takutstikk må utformes horisontalt og tett, slik at akkumulering av røykgasser og spredning til for eksempel kaldt loft forhindres.
- Det presiseres at branncellebegrensende konstruksjon i gulv/ overside av dekket må ha overflate D_{f1}-s1 (G). Erfaring tilsier at gulvbelegg i denne klassen etterhvert vil bidra til brannutvikling. Det anbefales derfor materialutførelse som ubrennbar eller begrenset brennbar dersom bygget har mer enn to etasjer. Her må også rekkverk og øvrige konstruksjoner bestå av ubrennbare eller begrenset brennbare materialer.
- Kledning i tak og vegger må være som for rømningsvei, men det åpnes for utførelse med overflater som B-s3,d0 (Ut 1).
- Videre er et nytt ytelseskrav lagt til for å begrense horisontal brannspredning. Kravet angir oppdeling med branncellebegrensende bygningsdeler i svalganger som er lengre enn 30m.

Under en revidering av VTEK10 i 2013 ble det også lagt til at svalgang som er rømningsvei må dekkes av sprinkleranlegget, dersom bygget ellers har krav til sprinkling.

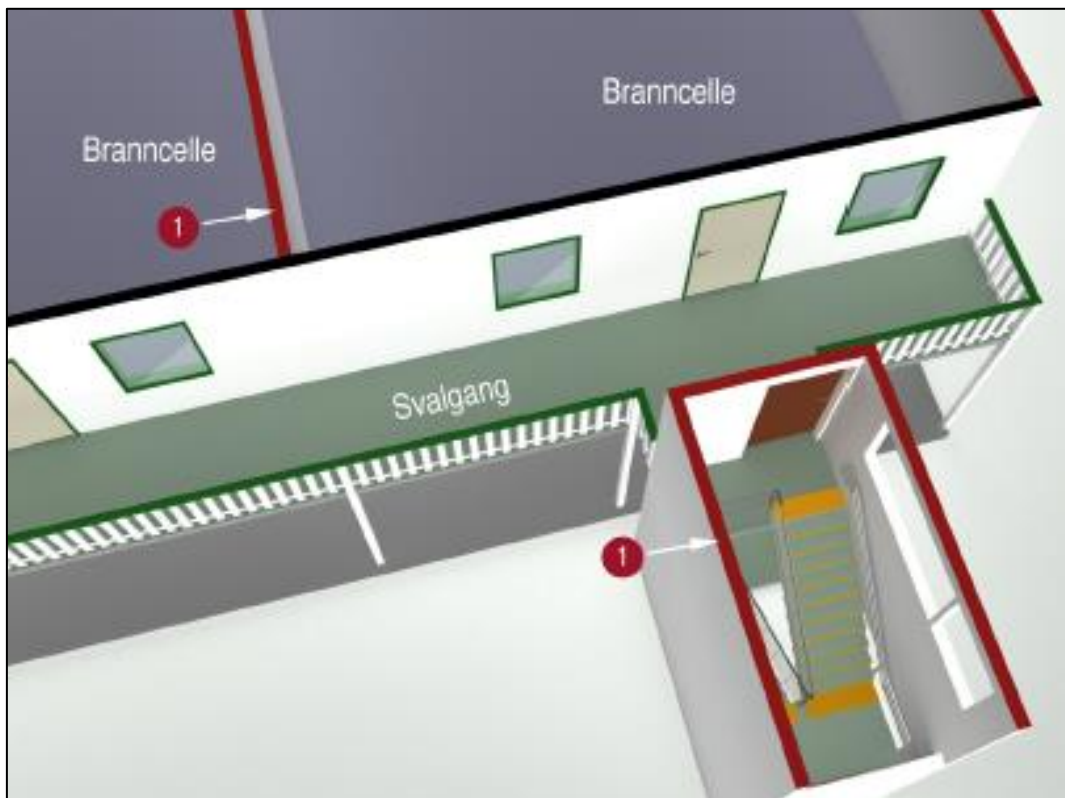
3.4.2 Videreførte ytelser

I tillegg til overnevnte endringer stiller dagens veiledning også krav til følgende ytelser i svalgang [2]:

- Den må minst ha to trapper til terreng, en i hver ende, med mindre branncellene også har utgang direkte til sikkert sted. Dette for å tilfredsstille krav om to uavhengige rømningsveier. Avstand mellom disse må ikke overstige 60 m.
- Det er tilstrekkelig med én trapp i byggverk i brannklasse 1 dersom det tilrettelegges for bruk av vindu som rømningsvei. Videre må ikke rømning forutsettes forbi uklassifisert vindu i annen branncelle, og avstand fra dør i branncelle til trapp må ikke overstige 15 m.
- Svalgang tilknyttet bygning med krav om universell utforming, heis og flerbolighus med tilgjengelig boenhet, skal ha minimum bredde på minimum 1,5 m. På lange svalganger må det avsettes areal tilsvarende minimum 1,8 m bredde, slik at rullestolbrukere kan passere hverandre. Dersom korte strekninger ikke har dør, kan bredden være minimum 1,2 m. Med kort strekning menes under 5,0 m.
- For at røyk- og branngasser skal kunne unnsnippe til det fri, må svalgangen være mest mulig åpen. 50% åpenhet av den totale ‘veggflaten’ og i øverste del av denne, anses for å være tilfredsstillende. Dette utelukker åpenheter i rekkverk.
- Trapper skal beskyttes mot strålevarme. Derfor må byggets yttervegg utføres som branncellebegrensende konstruksjon mot denne, og 5 m til hver side. Der trapp er utført som trapperom er det tilstrekkelig at veggene som vender mot bygget er utført i branncellebegrensende konstruksjon. Figur 11 og 12 illustrerer de ulike alternativene.



Figur 11 - Utforming av byggets yttervegg som branncellebegrensende konstruksjon, og 5,0 m til hver side [2]



Figur 12 - Trapp utført som trapperom, og vegger vendt mot bygget i branncellebegrensende konstruksjon [2]

3.5 Klassifisering av vinduer

Vinduers brannklassifisering skal være den samme som for veggen det står i. Den må heller ikke kunne åpnes i normal brukstilstand.

Det stilles midlertidig ikke krav til selvlukking av dør til rømningsvei jf. VTEK10 §11-8 *tabell 2*, ved dørplassering mellom branncelle og korridor.

Dersom yttervegg mot svalgang skal ha branncellebegrensende egenskaper skal følgende klassifiseringer gjelde, avhengig av brannklasse:

- brannklasse 1: EI 30 [B30]
- brannklasse 2: EI 60 [B60]
- brannklasse 3: EI 60 A2-s1,d0 [A 60]

VTEK10 [2] gir under *Preaksepterte ytelser – forebygging av horisontal brannspredning via vinduer* lettelse på krav om brannklassifiserte vinduer når:

- byggverket har automatisk brannslukkeanlegg, men ikke når vinduet beskytter rømningsvei. Dersom vinduet beskytter rømningsvei må det utføres en særskilt vurdering som påviser at brannmotstand ikke er nødvendig.
- vinduer ikke er større enn 0,2 m². Enkeltvinduer i mindre rom i bolighus (for eksempel soverom) kan oppføres uten brannmotstand dersom avstand til uklassifisert bygningsdel er minimum 5,0 m.

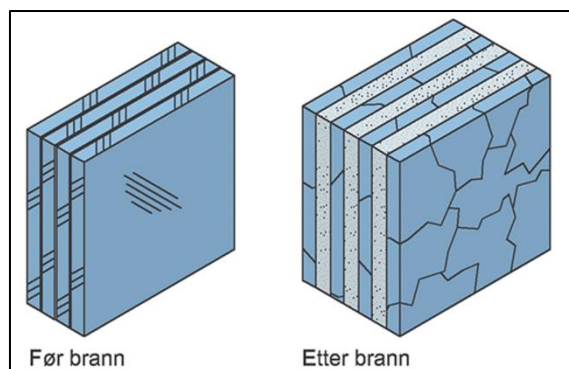
3.5.1 Vinduer uten brannmotstand

Ettersom glass leder varme relativt dårlig, er bruddfaren stor ved raske temperaturendringer. Dette vil kunne medføre en ujevn oppvarming og forholdsvis store lokale temperaturforskjeller. Dersom deler av ruta oppnår større temperatur enn kantene, vil termisk ekspansjon resultere i spenninger i glasset. Spenningene kan forårsake strekkpåkjenninger i kantpartiet hvor små sprekker fort kan lede til brudd. Tålegrensen for vanlig floatglass er en temperaturdifferanse over glassflaten på omtrent 40 °C [17].

3.5.2 Vinduer med brannmotstand

I dagens marked finnes det flere typer brannmotstandsdyktige vindusglass. Avhengig av klassifisering tilfredsstilles ulike egenskaper ved brannpåkjenning. Klassifisering av brannmotstand kan utføres i henhold til NS-EN 13501-2 *Brannklassifisering av byggevarer og bygningsdeler - Del 1: Klassifisering ved bruk av resultater fra prøving av materialers egenskaper ved brannpåvirkning*. Brannmotstandsdyktige vinduer krever sertifisering og skal merkes i henhold til sertifiseringsorganets retningslinjer, etter grunnlag av prøving- og klassifiseringsrapporter. I Norge kan dette gjøres hos SINTEF byggforsk [18].

Et vindu som kan yte motstand mot brann består vanligvis av flere lag laminert glass og har et spesielt ekspanderende silikatsjikt mellom lagene. Den isolerende effekten forekommer når silikatsjiktet utvider seg som følge av temperaturpåkjenning fra brann. Det ekspanderende sjiktet gjør også ruten ugjennomsiktig [19]. Effekten illustreres i figur 13.



Figur 13 - Illustrasjon av brannmotstandsdyktig vinduskomponent, før og etter branneksplosjon [18]

3.5.2.1 Åpningsbare vindu

Med en inn- eller utadslående ramme er det mulig å montere brannmotstandsdyktige vinduer med åpningsmuligheter. Da vinduer ikke må åpnes i vanlig brukstilstand, utstyres disse med en spesiell vrider. Vrideren kan bestå av avtakbart håndtak eller ha lås, slik at håndtak eller nøkkel kan oppbevares et annet sted. Ramme og karm produseres med ulike materialer der utførelse i tre, stål og aluminium vanligvis praktiseres [18].

Åpenhet ved testing skal være representativt for den åpenheten som kan forventes ved vanlig bruk. Likevel skal ikke åpningene på noe tidspunkt overskride 25 mm ved karm eller 6 mm x 150 mm over andre arealer, ettersom dette vil medføre integritetssvikt [19]. Dette medfører i praksis at vinduer med brannmotstand som kan åpnes i vanlig brukstilstand, ikke lar seg kvalifisere på lik linje som vinduer med avtakbart håndtak eller lås.

3.6 Konflikt mellom krav om brannmotstand og termisk inneklima

Konflikt kan oppstå der svalgangen er en del av rømningsvei, og for eksempel trappeløsningen fører til krav om branncellebegrensende yttervegg. Der ytterveggen grenser til rom for varig opphold stilles det også krav til termisk inneklima. Med rom for varig opphold menes stue, kjøkken, soverom og arbeidsrom. Kravene om branncellebegrensning og termisk inneklima er nedfelt i følgende forskriftstekster i TEK10 [8]:

1. §11-8, (2) *“Brannceller skal være slik utført at de forhindrer spredning av brann og branngasser til andre brannceller i den tid som er nødvendig for rømning og redning.”*
2. §13-4, (2) *“I rom for varig opphold skal minst ett vindu eller dør mot det fri kunne åpnes.” ...*

I mange tilfeller vil vindu være mest praktiske og gunstige løsning for utlufting. Åpningsbare vinduer vil kunne gi muligheter for hurtig utlufting ved for eksempel matlaging og vasking. I tillegg vil vinduer som kan åpnes fungere som kompensasjon dersom ventilasjons- og temperaturkontrollsystemet er ute av funksjon.

4 Metode

I denne oppgaven undersøkes muligheten for passering av åpent brannklassifisert vindu i svalgang ved brann i innenforliggende rom. Til å undersøke hvordan dette påvirker rømningssikkerheten er det benyttet flere fullskala forsøk. Forsøkene utføres i et brannrom som tilknyttes svalgangen via et vindu.

Det vil være av interesse å vurdere ulike vindusinnretninger og åpningsareal. Vindu tilegnes derfor begrenset åpenhet og utføres med topp-, bunn- og sidehengsling. Til å bedømme hvilke konsekvenser vindusløsningen får for passerende, blir forhold i svalgangen indikert via temperatur- og totalfluksmålinger. Dermed kan vurdering av rømningssikkerhet gjøres ved å se temperatur- og stråledata opp mot definerte akseptkriterier. Observasjoner av flammeutstikk og røykkarakteristikker tas også med i betraktning.

Oppsettet rundt forsøkene vil bygge på brannfaglig teori, og forsøkene omfang begrenses av tilgjengelig utstyr, tid og ressurser.

Forsøkene utføres ved ResQ Sikkerhetssenter nord for Haugesund. ResQ er en nasjonal leverandør av sikkerhet- og beredskapsopplæring. Samarbeidet mellom ResQ og Høgskolen på Vestlandet (HVL) sørger for at slike forsøk kan skje på en sikker, god og hensiktsmessig måte. Bilde 1 viser helse Sikkerhetssenteret og forsøksområdets plassering.



Bilde 1 - Oversiktsbilde av ResQ. Forsøksområde merket med rød firkant (www.google.com/maps)

4.1 Alternativ metode

Problemstillingen kunne alternativt vært undersøkt via simuleringer. Gruppen har tilgang og kjennskap til Fire Dynamics Simulator (FDS), et analyseverktøy for betraktning av brannodynamikk og fluidstrømninger. Programvaren benytter en numerisk tilnærming for å analysere og løse strømningssproblemer.

De største fordelene med simuleringverktøy er mulighet for mange simuleringer og forsøk, variabelkontroll og etterprøvnbarhet. Ved utførelse av fullskala forsøk vil som regel ikke alle variabler som påvirker brannforløpet kunne gjøres rede for. På ResQ vil spesielt vind og fukt kunne medføre utsettelse av forsøk og kan påvirke resultater.

Ulempene ved benyttelse av FDS er som følge av programmets modelleringstilnærminger. I de fleste praktiske sammenhenger innebærer dette at flere sentrale aspekter ved brannodynamikk må antas via empiriske sammenhenger. Dette angår for eksempel kjemisk reaksjon mellom brennbare røykgasser og oksygen, som vil medføre brann. For vurdering av rømningsforhold i en svalgang, vil det kunne være av interesse å identifisere eventuelle flammer fra vindusåpningen. Flammer vil i tillegg påvirke temperatur- og strålingsintensiteten i svalgangen. Større nøyaktighet i beregning av stråling er i FDS svært tidskrevende, noe som igjen påvirker antall simuleringer som kan gjennomføres.

I sum anses fullskala forsøk for å kunne være den mest hensiktsmessige metoden for å besvare oppgaveteksten. I tillegg er simuleringsverktøy en noe mer tilgjengelig ressurs for mange aktører innen brann sikkerhet. Det vil likevel kunne være interessant å supplere oppgaven med simuleringsresultater, spesielt vedrørende strømningsmekanismer i og rundt vindusinnretningene.

4.2 Grunnleggende forsøksoppsett

Ved gjennomførelse av forsøkene er det lagt vekt på å skape en balanse mellom etterprøvnbarhet og troverdighet. Oppbygning av forsøket er derfor gjort enkelt, og med store nok brannintensiteter til å representere reelle scenarier. I tillegg vil sammenlignbarhet av forsøkene være sentralt. Derfor er det forsøkt å skape relativt like brannforløp. Vurdering av rømningsforhold forårsaket av brannene, er gjort i henhold til anerkjente metoder.

4.2.1 Forsøksrom og tilknytning til svalgang

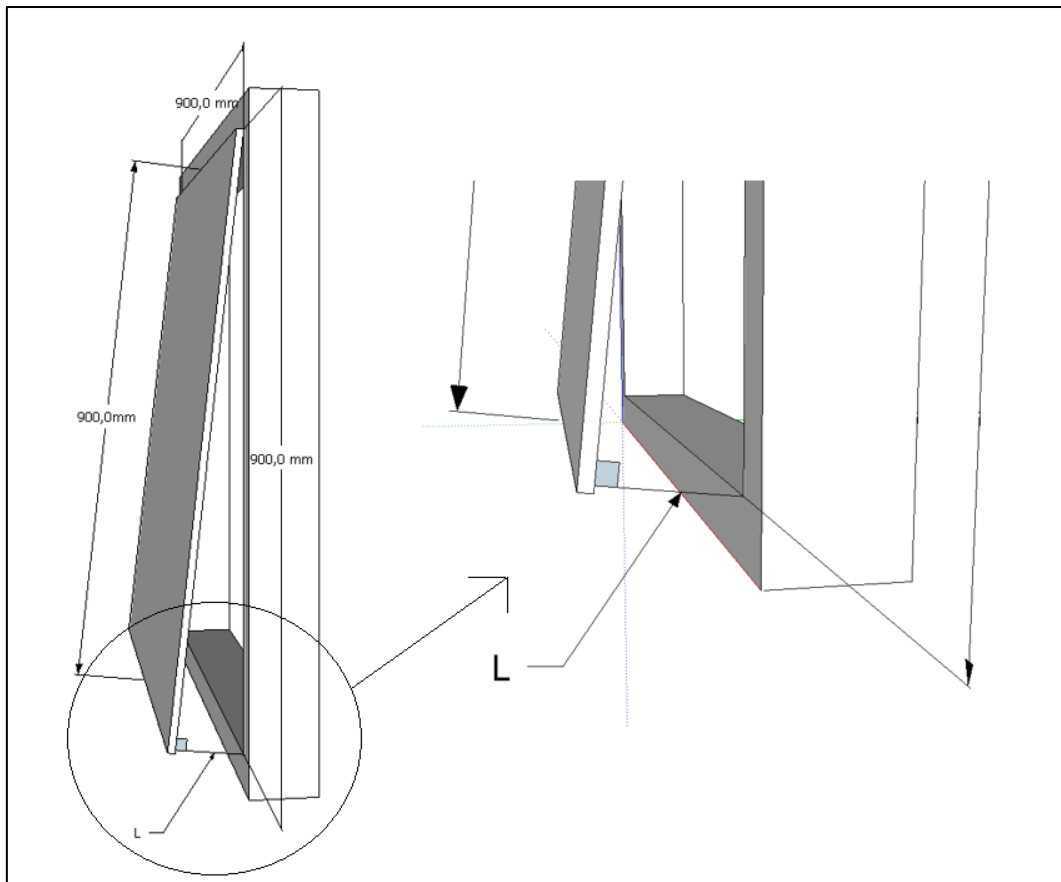
Det ble tatt i bruk et forsøksrom med dimensjoner lignende et ISO 9705-standardrom. Til tross for enkelte forskjeller, har disse rommene omtrent samme volum og størrelse på åpning. Størrelsesforskjeller illustreres i tabell 1. Siden forsøkene utføres utendørs er dimensjonsforskjeller av underordnet betydning.

Tabell 1 - Dimensjonssammenligning av forsøksrom og ISO rom

	Forsøksrom [m]	ISO 9705-Standardrom [m]
Rommets bredde	2,40	2,40
Rommets lengde	3,40	3,60
Rommets høyde	2,19	2,40
Åpningens bredde	1,20	0,80
Åpningens høyde	1,13	2,00

Rommet ble tilknyttet svalgangen via et kvadratisk vindu med sider på 0,9 m. Med vinduer hengslet i topp-, bunn- og sidekarm, ble det benyttet en lysåpning på 10 cm.

Hengslingsmetoden som anses for å medføre lavest personrisiko utprøves i tillegg med en lysåpning på 15 cm. Lysåpning defineres i oppgaven som største avstand fra karm til vindusflate, som vist i figur 14 ved distansen (L). Med lysåpninger på 10 og 15 cm blir totalt åpningsareal henholdsvis 0,18 og 0,27 m².



Figur 14 - Vinduskonstruksjon med mål og definert lysåpning (L)

Svalgangen ble i forsøkene utformet som et takutstikk festet på utsiden av forsøksrommet. Den røykmengden som samles under taket, vil dermed kunne være representativt for den mengden som forbipasserende vil kunne eksponeres for i en reell situasjon. Oppsettet illustreres i figur 15.

4.2.2 Dimensjonering av brann

I forsøkene søkes det å fremstille en brann som kan tilsvare en realistisk brann i rom for varig opphold. Grunnlaget for sammenligning av en representativ brann er dannet via beregninger. Disse tar utgangspunkt i Magnusson og Thelanderssons metode for estimering av tid-/temperaturkurver i rombranner. Det er også gjort beregninger for å vurdere maksimale branneffekt som følge av tilgjengelig oksygen. Beregninger fremgår av vedlegg B. I tillegg er det gjennomført branntester og tørrbrenninger der nødvendig brenselmengde estimeres. Målte temperaturer sammenlignes også med ISO 834-standardbrannkurven.

I forsøkene der hengslingsmetode sammenlignes ble det forsøkt å fremstille relativt like brannforløp. Ved videre utprøving av mest gunstige hengslingsmetode, var det i tillegg ønskelig å øke brannintensiteten.

Som brensel benyttes trepaller og parafin. Bensin benyttes til forvarming av parafin grunnet lavere flammepunkt.

4.2.3 Vurdering av rømningsforhold

For å kvantifisere konsekvensene vindusåpningen vil kunne ha ovenfor mennesker, er det benyttet akseptkriterier for stråling og temperatur anbefalt av Temaveiledning HO - 3/2000 [9]. I tillegg er det brukt en empirisk korrelasjon (fra ligning (2.10)) mellom strålingsintensitet over tid, og tid til følt smerte. Strålingsintensiteter er sett i sammenheng med rømningshastighet og tid til passering av vinduet.

I svalgangen måles temperaturer og totalfluks i ganglinje. Benevnelsen "totalfluks" er som følge av måleapparatets egenskaper. Apparatet registrerer både strålefluks og konvektiv varmeoverføring. For en konservativ tilnærming, benyttes totalfluksverdier for å vurdere rømningsforhold som følge av stråling.

4.3 Forsøksserie

Med tiden og ressurser tilgjengelig, bli det utført fem forsøk. De tre første sammenlignet som nevnt topp-, bunn- og sidehengsling. I diskusjonsdelen fremgår det at topphengsling ble vurdert til å være minst risikoøkende. De to siste forsøkene gjennomføres derfor for å prøve ut metoden ytterligere. I det fjerde forsøket ble brannen intensivert, og ble utført med samme lysåpning som tidligere. I det femte forsøket ble lysåpningen økt til 15 cm. En oversikt over forsøkene kan ses i tabell 2.

Tabell 2 - Oversikt over forsøk, datoer, type hengsling og åpning

Forsøksnummer	Dato	Hengslingstype	Lysåpning	Åpningsareal
1	23.feb	Topp hengsling	10 cm	0,18 m ²
2	24.feb	Bunnhengsling		
3	24.feb	Sidehengsling		
4	6. mars	Topp hengsling (brann intensivert)	15 cm	0,27 m ²
5	6. mars	Topp hengsling (brann intensivert)		

5 Utførelse og utstyr

Her fremgår grunnlaget for praktisk gjennomføring av forsøkene. Dette omfatter konstruering av forsøksrom, informasjon om benyttet utstyr og plassering av utstyret. Det legges også frem kortfattet om prosedyren som gjennomføres under hvert forsøk.

5.3 Konstruksjon og tilvirkning

Konstruksjon og tilvirkning utføres med hensikt å oppnå realistiske overføringsmekanismer, av røykstrømning og varme, fra brann i forsøksrom til rømningssone.

Materialene består i hovedsak av 2'' x 4'' trevirke, gipsplater og aluminiumsplater. For detaljert oversikt over materialer, se vedlegg D.

5.3.1 Utførelse av forsøksrom

Forsøksrommet er sammenlignbart med et ISO-rom, vist i bilde 2. Her fremgår i tillegg orientering av takkonstruksjon som representerer svalgangen, og et aluminiumsbeslag plassert på siden av frontåpningen. Dette for å redusere vindpåvirkning og røykstrøm fra frontåpningen til svalgangen.



Bilde 2 - Forsøksrom med tilhørende svalgang

Der gipsplaten over frontåpningen i bilde 2 står, er det et hull som medførte større strømninger av røykgasser ut av rommet. For å forsøke å bevare mer energi i brannrommet, ble dette hullet tettet igjen med steinull, og vekselvis gips og skamotecplate. Tettingen kan ses nedenfor i bilde 3.



Bilde 3 - Tildekning av frontåpning med gips, steinull og skamotecplate

I forsøksrommet er det i tillegg til en åpning mot svalgangen, en tilsvarende åpning i motsatt ende. Denne ble tettet igjen med gipsplater på innsiden og utsiden av rommet, og med steinull i mellom disse. Dette vises i bilde 4.

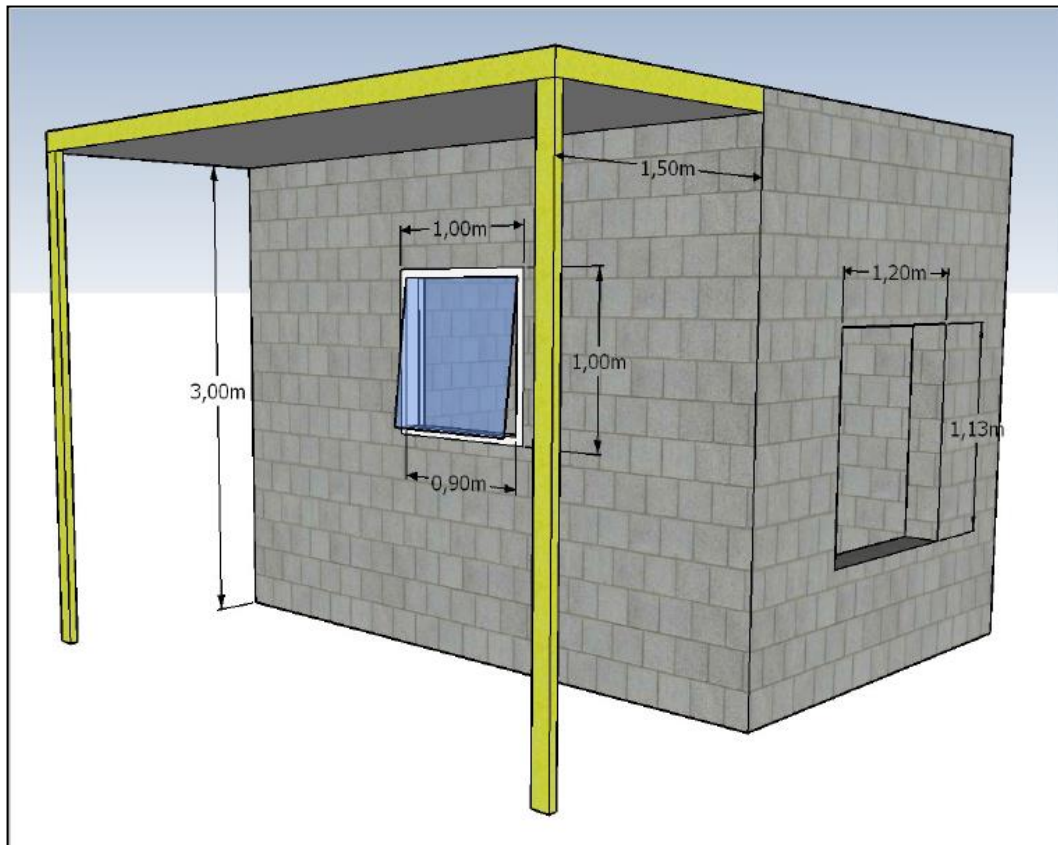


Bilde 4 - Plating av vindu som ikke er i bruk, med tilhørende innvendig isolering

5.3.2 Utførelse av svalgang

Selve svalgangskonstruksjonen består av rammeverk av 2'' x 4'' trevirke med en underside av gips. Toppen dekkes av takplater i aluminium. Taket hviler på vinkelbeslag festet i forsøksrommet og stendere på utsiden av svalgangen.

Svalgangen er utført med lengde fra veggen på 1,5 m. Dette tilsvarer rømningsbredden for en svalgang utført universelt [2]. Svalgangens dimensjoner illustreres i figur 15. I tillegg vises størrelse på frontåpning og vindu.



Figur 15 - Illustrerende svalgangskonfigurasjon

5.3.3 Utførelse av vindusekvivalent

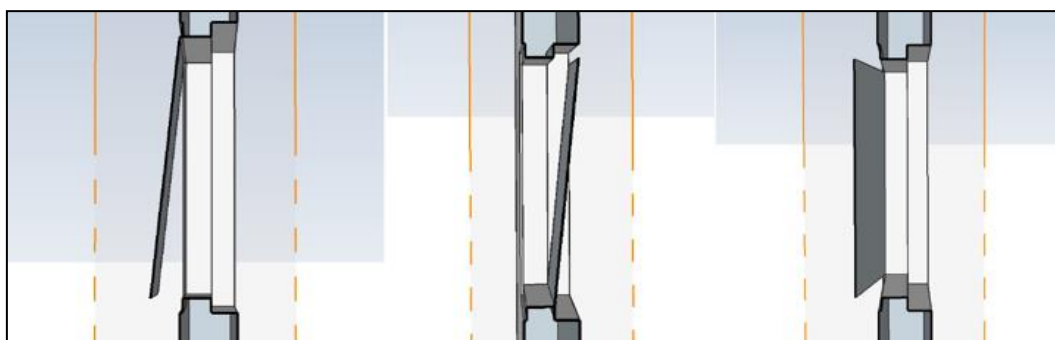
For representasjon av et vindu med brannmotstand er det benyttet en gipskonstruksjon. Dette begrunnes ut fra kostnadsnivå sammenlignet med nytteverdi. En gipskonstruksjon anses for å kunne ha omtrent de samme strømnings- og emisjonsegenskapene som et vindu. Denne vindusekvivalenten benevnes for enkelhets skyld som «vinduet» eller lignende.

Vinduet består av to lag 13 mm gips. Gipsplatene skrues fast i en 2'' x 4'' bjelke, for å kunne feste bladhengsler mellom vinduet og karm. Karmen består av samme type bjelker. Eksponert tre tildekkes med gips, sparkling eller brannskum. Dette illustreres i bilde 5. Vinduskonstruksjonen byttes ut ved større svekkelser på grunn av varmepåkjenninger.



Bilde 5 - Vindusekvivalent brukt i forsøk

Hengsling utføres som vist i figur 16. For å regulere åpningen benyttes hullbånd mellom karm og vindusflate.

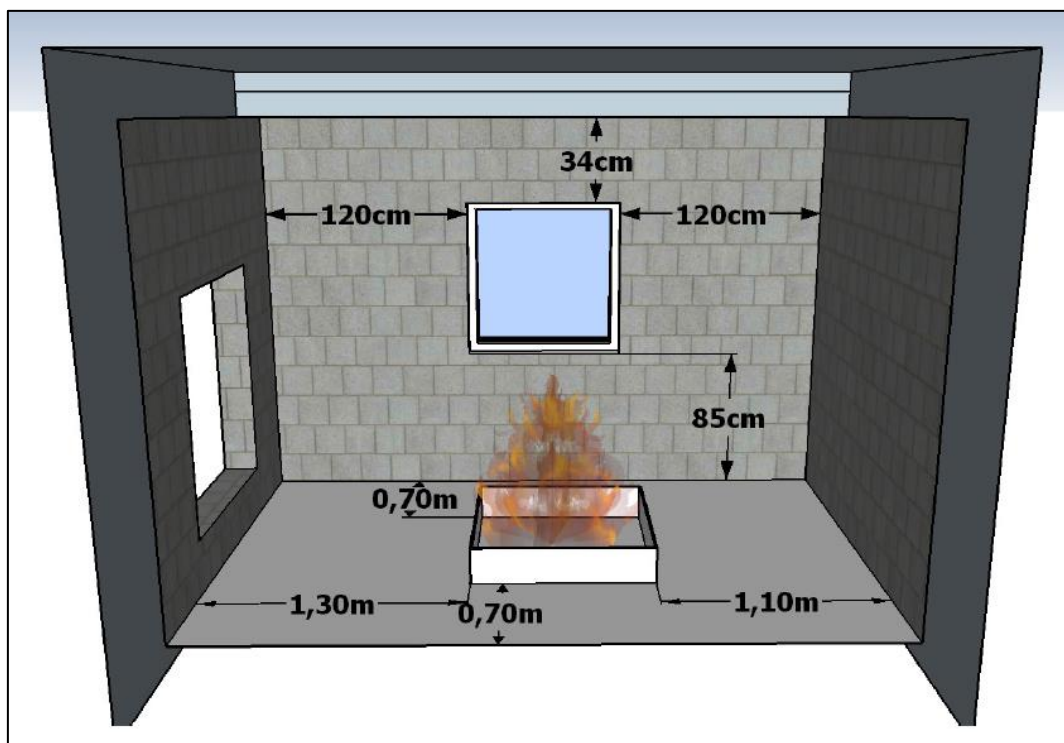


Figur 16 - Illustrasjoner for hvordan hengsling er gjennomført. F.v.: Toppengsling, bunnhengsling, sidehengsling

5.3.4 Plassering av brensel

Brenselskaret er av metall og måler 1m x 1m x 0,15m (L x B x H). Karet ble plassert i senter av brannrommet i de tre første forsøkene. I de to siste ble karet skjøvet 30 cm lenger vekk fra frontåpningen. Dette for å øke røykens strømningsdistanse og dermed redusere mengde energi ut fra frontåpningen.

Plassering i forsøk 1, 2 og 3 illustreres i figur 17. Her fremgår distanser mellom kar, vindu og vegger, i tillegg til vinduets plassering på veggen. Dette er faktorer som kan påvirke strømmingsegenskaper fra brannrommet til svalgang.



Figur 17 - Plassering av kar i forhold til vindu og rom

I de tre første forsøkene plasseres pallene direkte over brenselskaret. I forsøk 4 og 5, ble distansen mellom kar og paller økt til omtrent 30 cm for å øke tilstrømning av oksygen. I disse forsøkene ble det også helt noe parafin over pallerne slik at disse skulle antenne raskere. Dette for å frembringe en hurtigere temperaturvekst. Plassering av paller vises i bilde 6 og 7.



Bilde 6 - Plassering av paller i forsøk 1, 2 og 3



Bilde 7 - Plassering av paller i forsøk 4. Samme heving av paller er gjort i forsøk 5

5.4 Utstyr

Her fremgår nødvendig informasjon om utstyret som er tatt i bruk under forsøkene. Følgende utstyr brukes til måling og dokumentering:

- 1 Datalogger
- 12 Termoelementer
- 2 Totalfluksmålere
- 1 Platetermometer
- 3 Kameraer
- 1 Vindmåler

I tillegg ble en brannslange og røykdykker benyttet som del av risikohåndtering.

5.4.1 Datalogger

En datalogger av typen Keysight 34970A Data Acquisition ble benyttet for registrering av måledata fra totalfluksmålere, termoelementer og platetermometer. Avhengig av innstilling og ønskede målinger, kan loggeren registrere blant annet temperatur og spenning med ønsket frekvens mellom målinger. Måledata viderefremmes til en datamaskin og konverteres dette til en Excel – fil. Dette via programvaren BrannDatalog6 v6.3 [20].



Bilde 8 - Datalogger, Keysight 34970A Data Acquisition

5.4.2 Termoelement

Termoelementer brukes til å registrere temperaturmålinger i forsøksrommet. Prinsipielt skjer målinger ved at den ene enden av to sammenkoblede metalltråder varmes opp. Når den andre enden er koplet til et måleapparat, kan termoelektrisk spenning konverteres til korresponderende temperaturverdier [21].

Hvilken type element som er mest hensiktsmessig å bruke, vurderes ut ifra forventet temperatur og krav om nøyaktighet for det aktuelle forsøket. Til måling av temperatur i brannrommet brukes termoelement av typen K. Elementet benyttes vanligvis ved temperaturer opp mot 1100 °C.

5.4.3 Totalfluksmåler

Måling av varmekraft i svalgangen utføres via to totalfluksmålere. For å redusere konvektivt bidrag fra vind, bygges målerne inn i en boks som vist i bilde 9.

I forsøk brukes totalfluksmålere av typen SBG01, en vanlig brukt sensor innen branntesting. I følge brukerveiledning for SBG01 vil usikkerheten til måleresultater typisk være store for fluksverdier lavere enn 1 kW/m^2 . Under slike forhold vil akseptkriterier vedrørende stråling uansett være tilfredsstillende med god margin, og betydningen av feil vil være liten [22].

5.4.4 Platetermometer

PTHFM står for «PT heat flux meter» og brukes for å fremstille temperaturer i svalgangen. Måleren registrerer i utgangspunktet totalfluks, og presenterer omgjorte registreringer i temperatur. Platetermometeret bygges inn i en boks på samme måte som totalfluksmålerne, illustrert i bilde 9 [23].

Temperaturdata kan også reverseres ved å benytte omregninger. I dette tilfellet må det tas stilling til en rekke faktorer som vil være utslagsgivende for resultatet. På denne måten kan varmekraft indikeres på tre måter. Siden platetermometeret er mer massivt enn totalfluksmålerne, vil denne også ha en større termisk treghet [4]. Dette vil medføre noe jevnere kurver. For omregninger, henvises det til vedlegg C.



Bilde 9 - Innkassering av totalfluksmålere og platetermometer

5.4.5 Kamera

For å dokumentere brannforløpet ble det benyttet 3 kameraer. Disse orienteres for å dekke frontåpningen og vinduet fra to ulike vinkler.

5.4.6 Vindmåler

Vindmåleren er av typen VelociCalc Pluss 8388. Apparatet er et såkalt termoelektrisk anemometer. Det fungerer ved at en tynn tråd varmes opp, for deretter å kjøles ned av vind. Den elektriske motstanden som oppstår konverteres til tilsvarende vindhastighet [24].

5.4.7 Brannslange og røykdykker

En brannslange med strålerør var klargjort før hver brenning. Dette var en del av gruppens sikkerhetsinstruks. I tillegg var en av gruppemedlemmene ikledd fullt røykdykkerutstyr. Vedkommende har utdannelse innen røykdykking fra Luftforsvarets Brann-, Redning- og Plastjeneste. Røykdykkerens oppgaver var:

- slukke eventuell ukontrollert brann
- slukke og klargjøre innsiden av varmt brannrom til neste forsøk
- subjektivt vurdere påkjenninger i svalgangen, dersom nærhet til denne anses som trygt.

5.5 Plassering av utstyr

Orientering av måleutstyr vil være sentralt for hvilke måleresultater som oppnås. Her fremgår hvor på forsøksområdet utstyret plasseres.

5.5.1 Rømningszone i svalgang

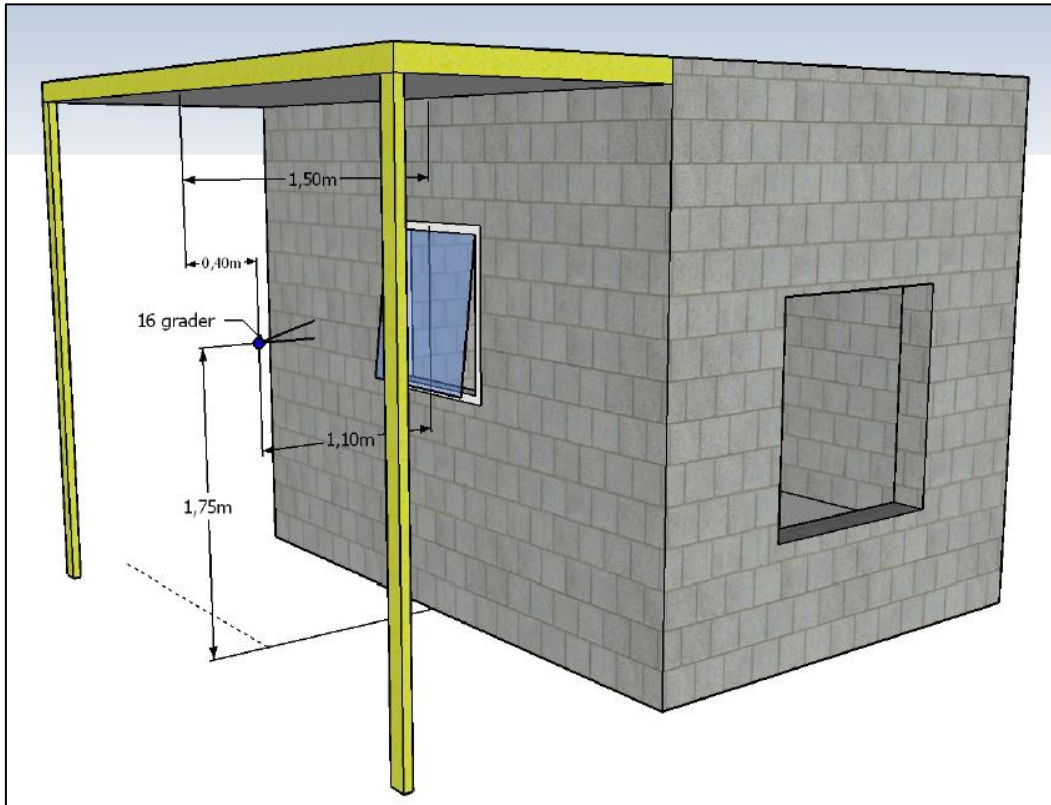
I svalgangen plasseres platetermometer og totalfluksmålerne.

Som nevnt er svalgangens bredde tilsvarende som for universell utforming. Med bakgrunn i dette, og en voksen persons høyde og bredde, plasseres totalfluksmålere og platetermometer som følger:

- **Avstand fra vindu og vegg:** Det antas at rømmende passerer i god avstand til vinduet. Med 1,5 m rømningsbredde og 50 cm personbredde, resulterer dette i en distanse fra vindu til ansikt på 1,1 m.
- **Vertikalt:** Målerne plasseres 1,75 m over bakkenivå og er dermed på samme nivå som midten av vinduets vertikalakse.
- **Parallelt med rømningsretning (forsøk 1, 2, 4, 5):** I samme akse som vinduets midtakse.
- **Parallelt med rømningsretning (forsøk 3):** I samme akse som åpningens nærmeste karm.

Orientering er gjort med hensyn til balanse mellom mulig ganglinje og posisjon for mest mottatt strålevarme. Dette illustreres i figur 18.

I forsøk 2 og 3, med bunn- og sidehengsling, vinkles målerne 16° opp fra horisontalplanet. Dette da hengslingsmetodene medfører større åpning i toppen av vinduet, og det er antatt at røykgassene har noe større temperatur her. I resterende forsøk er målerne parallelt med horisontalplanet.

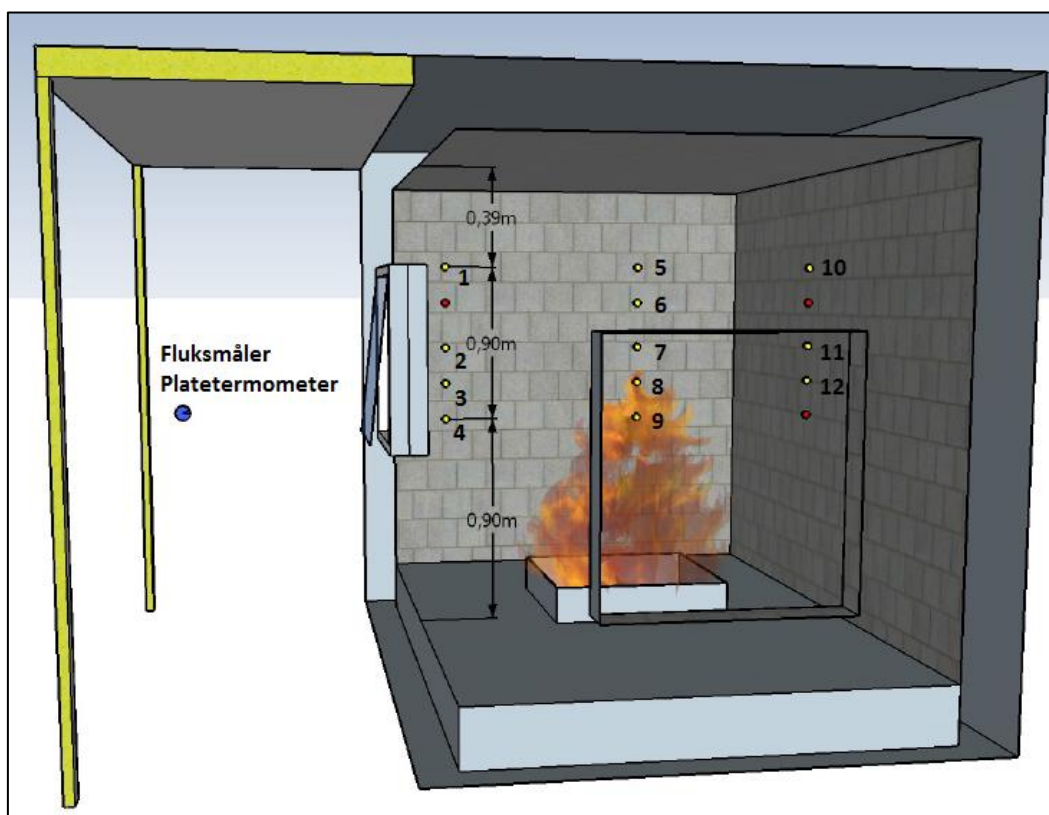


Figur 18 - Plassering av totalfluksmålere i forsøk 1, 2, 4 og 5. I forsøk 3, posisjonert ved høyre karm

5.5.2 Forsøksrommet

I forsøksrommet plasseres 15 termoelementer, 5 ved vindusåpningen, 5 ved flammen og 5 ved motstående vegg i relasjon til vinduet. Øverste termoelementer plasseres på samme høydenivå som øvre vinduskarm. Nederste termoelementer på samme nivå som nederste vinduskarm. Termoelementer mellom disse plasseres med innbyrdes avstand på mellom 15 og 20 cm. Ved testing ble det funnet ut at 12 av de 15 elementene fungerte. I figur 19 er defekte elementer markert rødt, og fungerende gult.

I resultatdelen benevnes termoelementene enten etter nummerering som i figur 19 eller etter beskrivelse. Eksempelvis kan det være mer forklarende å benevne termoelement 5 som øverste flammetemperatur.



Figur 19 - Plassering av termoelementer

5.5.3 Forsøksområdet

Foruten utstyr i forsøksrom og svalgangen, plasseres kameraer, datalogger og brannslange på faste plasser på forsøksområdet. Et kamera plasseres slik at brannen i forsøksrommet kan dokumenteres, de to andre rettes mot vinduet i svalgangen fra ulike vinkler. I bilde 10 er plasseringene indikert ved piler og sirkler, kameraene ved røde piler, brannslange ved blå pil.



Bilde 10 - Plassering av kameraer og brannslange

5.6 Gjennomføring av forsøk

Arbeidet med forsøkene på ResQ ble gjennomført i perioden 13.feb.2017-7.mars 2017. Den noe lange perioden skyldtes i hovedsak forutsetning om mest mulig like værforhold. Kompromiss måtte likevel gjøres vedrørende varierende vindstyrker. Foruten dette var temperaturer relativt like, i tillegg til at det var opphold på alle forsøksdager.

Før dagens første forsøk ble det gjennomført tørrbrenning av forsøksrommet. Dette for å redusere fuktinnhold, og punkt 1 til 9 ble da utført. Følgende prosedyre var like for hvert forsøk:

1. sikring og rydding av brannstedet
2. utlegging og testing av brannslange
3. plassering av paller over brenselskar
4. åpne kran for tilførsel av parafin
5. plassering og tilkobling av måle/loggeutstyr og kameraer
6. oppstart av utsyr, videoopptak og logging
7. måling av vindhastighet
8. tømme små mengder bensin over parafinoverflaten
9. antenning ved bruk av en lengre fakkell
10. notering av observasjoner
11. subjektiv vurdering av påkjenning i svalgangen (røykdykker)
12. sikre data fra forsøket og utføre kortfattede vurderinger av disse
13. rydding og klargjøring for neste forsøk.

Ytterligere forklaring av hvordan hvert forsøk ble gjennomført finnes i vedlegg E.

6 Resultater

Forsøksresultatene kategoriseres etter ulike aspekter ved vindusinnretningene. Først presenteres resultater fra forsøk med ulike hengslingsmetoder, forsøk 1, 2 og 3, med henholdsvis topp-, bunn- og sidehengsling. Deretter fremgår resultater fra forsøk 4 og 5, der vinduets åpningsstørrelse endres. Disse er utført med topphengsling da denne metoden ble ansett for å kunne medføre beste passeringsmuligheter. Dette begrunnes i oppgavens diskusjonsdel.

Resultatkapitlet omfatter følgende kurvefremstilte målinger:

- flammtemperaturer målt øverst i rommet, fra termoelement 5 (figur 20 og 25). I de samme diagrammene illustreres også ISO 834-kurven
- temperaturer ved største delene av vindusåpningene, fra termoelementer 1-4 (figur 21 og 26). I de samme diagrammene vises også en linje for potensiell røykantennelse
- gjennomsnittlig temperaturfordistribusjon langs rommets vertikalakse, og ved vinduet. Her benyttes gjennomsnitt for å kunne ekskludere temperaturvariasjoner som følge av hengslingsmetode (figur 22)
- temperatur fra platetermometer i svalgangen (figur 23 og 27)
- gjennomsnittlig totalfluks fra begge målerne i svalgangen. Dette benyttes på grunn av variasjoner i hvilken måleenhet som oppgav størst verdier (figur 24 og 28)

Disse anses som mest relevante for betraktninger av ulike vindusinnretninger. I vedlegg F fremgår ytterligere resultater.

I tillegg fremgår tabellfremstilte verdier og korte kvalitative betraktninger. I tabell 3 og 5 presenteres brenselmengder og værforhold for hvert forsøk. Vindretning beskrives ikke, siden denne generelt var varierende.

I tabell 4 og 6 presenteres omtrentlige røyktykkelser ut frontåpning og i svalgangen. Her skal røykmengden forstås som røykdybde fra henholdsvis frontåpningens øvre del, og svalgangens himling (se figur 15). Røykmengden er fluktuerende og varierer over svalgangens bredde. Målene vil kunne fungere som et grovt sammenligningsgrunnlag for røykmengde i forsøkene. I samme tabell presenteres også generell røykfarge, og en beskrivelse av eventuelle flammegjennomtrengninger. De viktigste observasjonene beskrives i samme underkapittel som tabellene finnes. Her vises også skjermbilder av videoopptak som skal eksemplifisere de verste observerte forholdene for hvert forsøk. Dette i form av største flammer. Ytterligere observasjoner finnes i tabellform i vedlegg F.

6.1 Hengslingsmetode

Her fremgår forsøksresultater for forsøk 1, 2 og 3.

6.1.1 Brensel og værforhold

For å oppnå likt dimensjonerte branner i hvert forsøk var brenselmengden lik. Variasjoner i vind har trolig ført til ulike brannforløp, spesielt mellom forsøk 1 og 2, og forsøk 3 (se figur 20).

Tabell 3 - Brensel og værforhold - forsøk 1, 2 og 3

	Forsøk 1- Topphengsling	Forsøk 2- Bunnhengsling	Forsøk 3- Sidehengsling
Bensin [l]	Ca. 1,5	Ca. 1,5	Ca. 1,5
Parafin [l]	Ca. 30	Ca. 30	Ca. 30
Paller [stk.]	2	2	2
Vind [m/s]	0,1-0,3	0,03-0,1	0,3-1,0
Temperatur [°C]	6	3	8

6.1.2 Røykarakteristikk og observasjoner

Forsøk 3 ble noe forringet da gipskonstruksjonen som utgjorde vindusekvivalenten hadde indre spenninger. Dette forårsaket at vinduet etter 3 min gradvis ble lukket. Etter 5 min og 50 sek var konstruksjonens øvre deler helt inntil øvre karm. Distansen mellom nedre vindusdel og karm, var også betraktelig redusert. 4 minutter etter ble vinduet igjen åpnet til sin originale størrelse. Brannintensiteten var da noe redusert.

Observasjonene tilsier at røykmengden i svalgangen reduseres fra forsøk 1 til 3. I forsøk 3 var røykmengden tilsynelatende lik som i forsøk 1, men sank betraktelig ved gjenlukking av vindu.

Tabell 4 - Observasjoner - forsøk 1, 2 og 3

	Forsøk 1- Topphengsling	Forsøk 2- Bunnhengsling	Forsøk 3- Sidehengsling
Omtrentlig røyktykkelse i svalgangen [cm]	20-40	15-30	15-25
Omtrentlig røyktykkelse ut frontåpning [cm]	30-40	40-50	30
Generell røykfarge/tetthet	Mørk grå - tett	Grå - tynnere	Mørk grå - tett
Observasjoner	Én enkel stikkflamme	Stikkflammer og tidvis kontinuerlige flammer	Stikk- og kontinuerlige flammer, i noe større omfang

Røykdykker kunne rapportere om noe varme rett ved vindu. Opplevelsen av varme økte fra forsøk 1 til 3. Passering av vindu ble ikke sett på som problematisk i noen av forsøkene. Nedenfor presenteres skjermbilder fra videoopptak, representative for verste forhold. Bilde 11, 12 og 13, er tatt henholdsvis ved tid etter brannstart 07:05, 05:20 og 01:45 [min:sek].



Bilde 11 - Verste forhold - forsøk 1



Bilde 12 - Verste forhold - forsøk 2



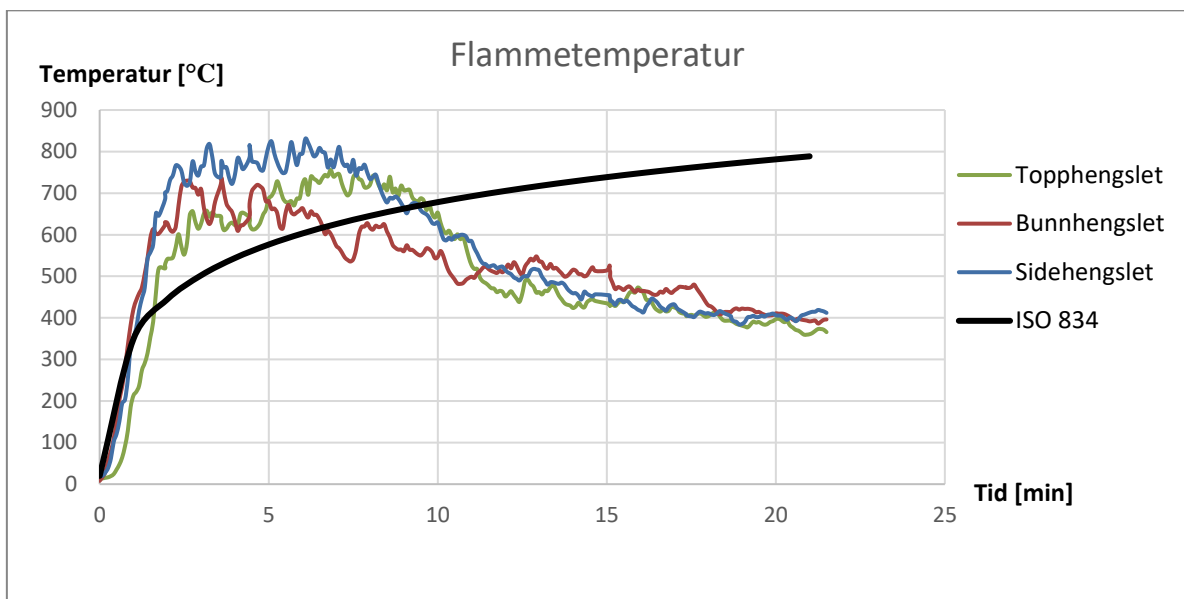
Bilde 13 - Verste forhold - forsøk 3

6.1.3 Temperaturer i forsøksrom

Temperaturene i forsøksrommet vil være utslagsgivende for tilhørende rømningsforhold. Her vises de mest sentrale målingene.

6.1.3.1 Øvre flammtemperaturer

Brannveksten ser ut til å være relativt lik for de tre forsøkene i starten, og fortsetter å øke noe etter ISO 834-kurven reduserer veksttempo. Kurve for topphengsling ser ut til å vokse i en noe lenger periode enn de to andre, og stabiliseres på omtrent 700 °C etter 5 min. Forsøk med bunnhengsling stabiliseres noe allerede etter omtrent 2 min. og 30 sek. Temperaturen reduseres gradvis like etter 5 min. Bunnhengsling ser ut til å oppnå størst temperatur, på rundt 800 °C, allerede 3 min. og 20. sek ut i brannforløpet.

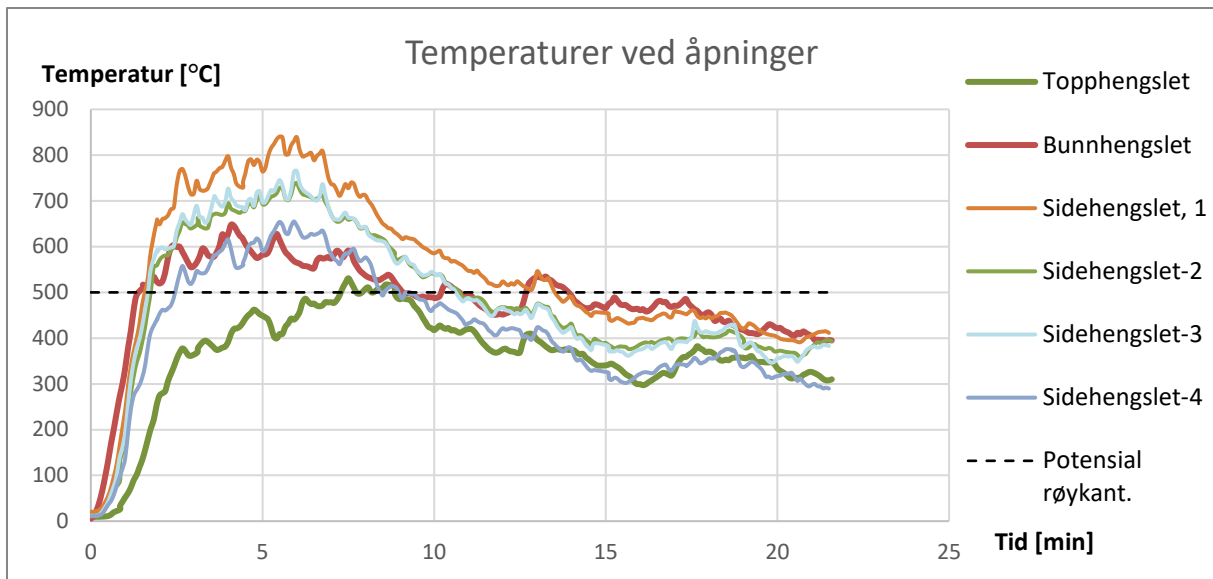


Figur 20 - Øvre flammtemperaturer - forsøk 1, 2 og 3

6.1.3.2 Temperaturer ved vindusåpning

Diagrammet for temperaturer ved vindusåpning benytter ulike termoelementer for hvert forsøk. I forsøket med sidehengsling benyttes termoelementer 1-4. I forsøk med topp- og bunnhengsling er de mest relevante termoelementene henholdsvis 4 og 1 (øvre og nedre ved vindu).

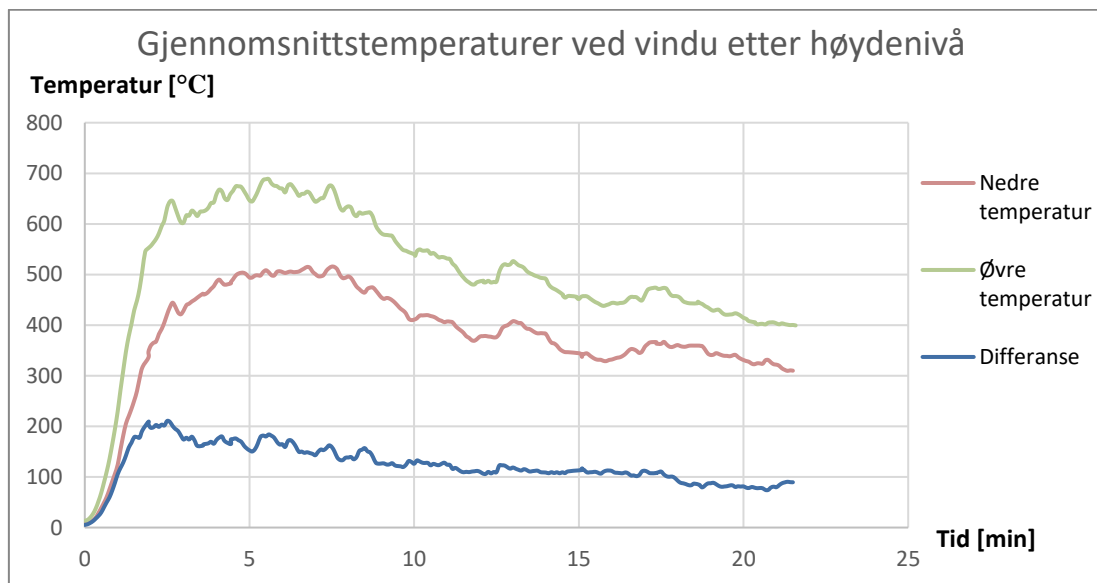
Potensial for antennelse av røykgasser skjer for alle kurvene. For temperaturer i forsøk med topphengsling, skjer dette imidlertid i et veldig lite tidsintervall. Temperaturene i forsøket med sidehengsling er generelt større enn de i forsøkene med topp- og bunnhengsling, ved samme vertikalnivå.



Figur 21 - Temperaturer ved åpninger - forsøk 1, 2 og 3

6.1.3.3 Gjennomsnittstemperaturer ved vindu etter høydenivå

Det kan ses av figuren nedenfor at den generelle differansen mellom temperaturer ved øvre og nedre karm, er mellom 100 og 200 °C. Distansen mellom disse målerne er omtrent 0,95 m.



Figur 22 - Gjennomsnittstemperaturer ved vindu etter høydenivå - forsøk 1, 2 og 3

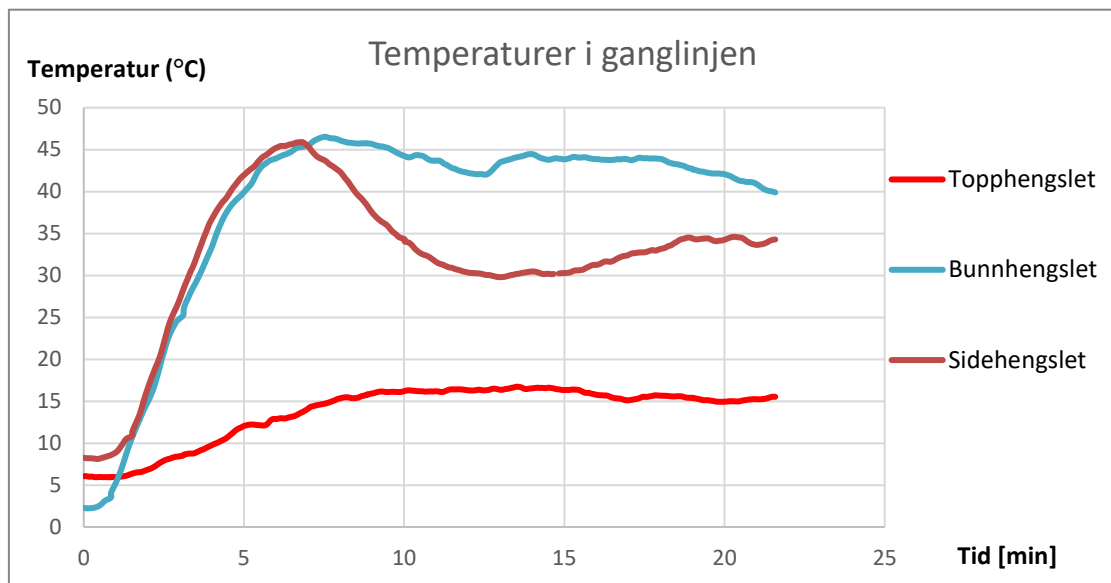
6.1.4 Forhold i svalgangen

Her fremgår målinger som indikerer forhold i svalgangens ganglinje.

6.1.4.1 Temperaturer i ganglinjen

Temperaturer i svalgangens ganglinje er opptil tre ganger større i forsøk med bunn- og sidehengsling, enn i forsøk med topphengsling. Kurven for sidehengsling er stigende helt

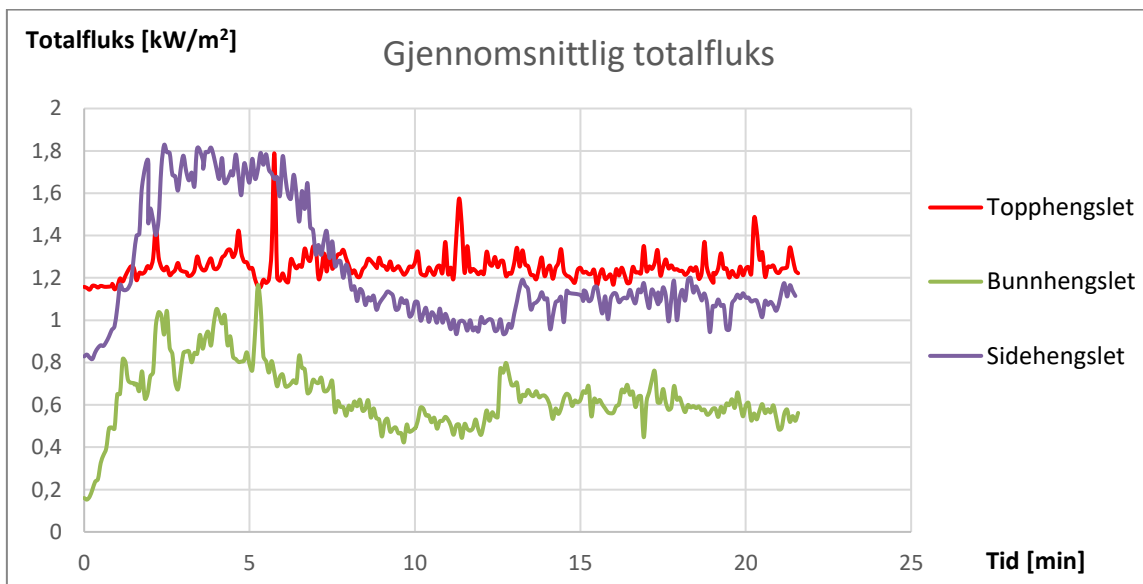
frem til tidspunkt for gjenlukking, for deretter å synke hurtig. Ingen verdier overgår akseptkriterier for temperatur.



Figur 23 - Temperaturer i ganglinjen- forsøk 1, 2 og 3

6.1.4.2 Totalfluks i ganglinjen

Målte verdier for totalfluks er generelt lave. I disse forsøkene er verdiene alltid under 2 kW/m², og har gode marginer mot akseptkriterier for stråling. Det ser også her ut til at kurven som representerer forhold i forsøk med sidehengsling, påvirkes av at vinduet lukkes. Totalfluksen stagnerer, for så å synke etter om lag 6 min.



Figur 24 - Gjennomsnittlig totalfluks - forsøk 1, 2 og 3

6.2 Topphengsling

Her fremgår forsøksresultater fra forsøk 1, 4 og 5, alle utført med topphengsling.

6.2.1 Brensel og værforhold

Som tabellen nedenfor tilsier, økte vindstyrkene i forsøkene 1 til 5. Dette ser ut til å påvirke resultatene i større grad, enn i forsøkene 1 til 3. Dette særlig i forsøk 5, der brenselmengde var lik som i forsøk 1, men brannintensiteten var større.

I tabellen benevnes forsøkene med nummer og størrelse på lysåpning.

Tabell 5 - Brensel og værforhold - forsøk 1, 4 og 5

	Forsøk 1, 10 cm	Forsøk 4, 10 cm	Forsøk 5, 15 cm
Bensin [l]	Ca. 1,5	Ca. 1,5	Ca. 1,5
Parafin i kar [l]	Ca. 30	Ca. 40	Ca. 25
Parafin over paller [l]	0	Ca. 5	Ca. 5
Paller [stk.]	2	5	2
Vind [m/s]	0,1-0,3	1,3-1,6	2,5-3,0
Temperatur [°C]	3	1	3

6.2.2 Røykarakteristikk og observasjoner

Fra tabellen under kan det se ut til at selv om røykproduksjonen øker fra forsøk 4 til 5, ser det ikke ut til at røykmengden i svalgangen øker. Samtidig er omfanget av flammer i siste forsøk større.

I de to siste forsøkene er det observert at røykgasser tidvis blir presset inn i forsøksrommet, gjennom frontåpningen, i forbindelse med større vindkast.

Kriterier for overtenning ser ut til å tilfredsstilles i forsøk 5, 2 min. og 20 sek. ut i brannforløpet. I forsøk 4 skjer dette 2 min. senere.

Tabell 6 - Observasjoner - forsøk 1, 4 og 5

	Forsøk 1, 10 cm	Forsøk 4, 10 cm	Forsøk 5, 10 cm
Omtrentlig røyktykkelse i svalgangen [cm]	20-40	25-35	25-35
Omtrentlig røyktykkelse ut frontåpning [cm]	30-40	30-40	45-55
Generell røykfarge/tetthet	Mørk grå - tett	Mørk grå - tett	Mørk grå - tett
Observasjoner	Én enkel stikkflamme	Små, kontinuerlige flammer	Større og oftere kontinuerlige flammer

Røykdykker kunne rapportere om større varmpåkjenninger i de to siste forsøkene. Som det ses fra bildene under, er flammene betydelig større her enn tidligere. I forbindelse med større flammegjennomtrengninger, passerte røykdykker rett bak måleenhetene i svalgangen. Med én hanske av, vendt mot vindusåpningen, vurderte vedkommende passering som gjennomførbart.

Forsøk 5 ble avsluttet 10 min. og 10 sek etter brannstart. Dette da øvre karm så ut til å være svekket, og vinduet sto i fare for å falle av. Risikoen for antennelse av svalgangskonstruksjon og ødeleggelse på utstyr ble ansett som for stor. Etter 11 min. og 25 sek. ble brannen slukket. Tidspunkt for avslutning av forsøk og slukking av brann, kan ses igjen i kurver for måldata.

Nedenfor illustreres bilder fra forsøk 4 og 5, som eksemplifiserer de verste observerte forholdene. Disse er tatt henholdsvis 05:05 og 04:45 [min:sek] etter brannstart. Her kan det ses at flammene i forsøk 4 er betydelig mindre enn i forsøk 5. Det må likevel bemerkes at flammens størrelse raskt ble redusert. I tillegg var flammene oftere fraværende enn tilstedeværende i begge forsøkene.



Bilde 14 - Verste forhold - forsøk 4



Bilde 15 - Verste forhold - forsøk 5

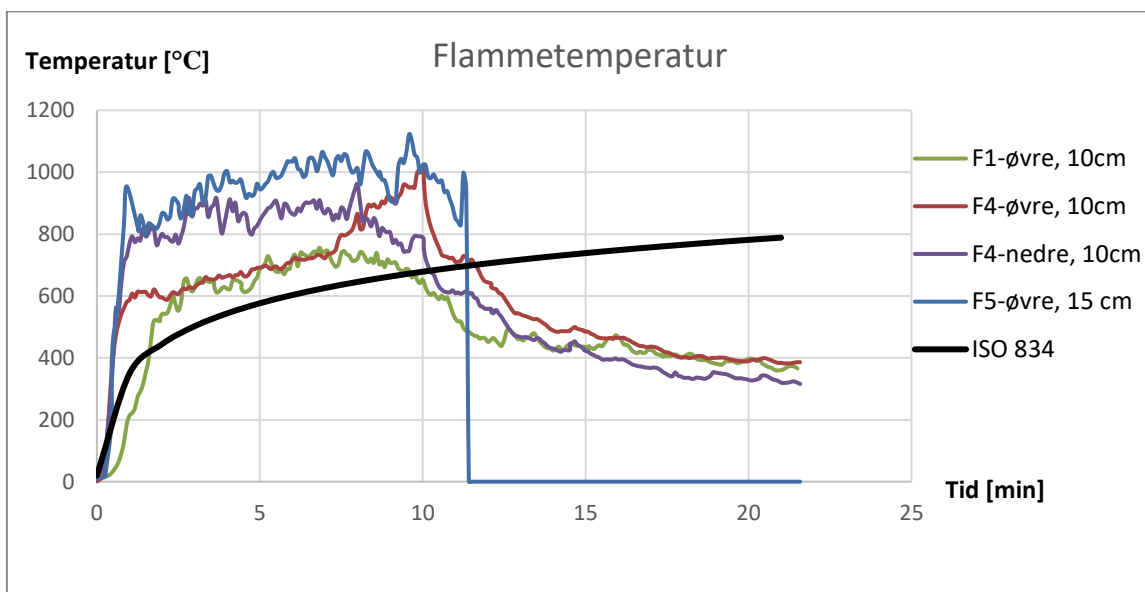
6.2.3 Temperaturer i forsøksrom

I diagrammene benevnes forsøkene med «F», forsøksstall, lysåpning og eventuelt orientering av termoelement.

6.2.3.1 Flammentemperaturer

I diagrammet nedenfor vises både øvre og nedre temperaturer for forsøk 4, ettersom de nedre termoelementene lenge viste større temperaturverdier enn de øvre. Dette har sammenheng med flammens orientering i forhold til termoelementene. Idet pallene falt ble flammens posisjon noe endret, og termoelementene øverst ble i større grad omhyllt av flammer enn tidligere.

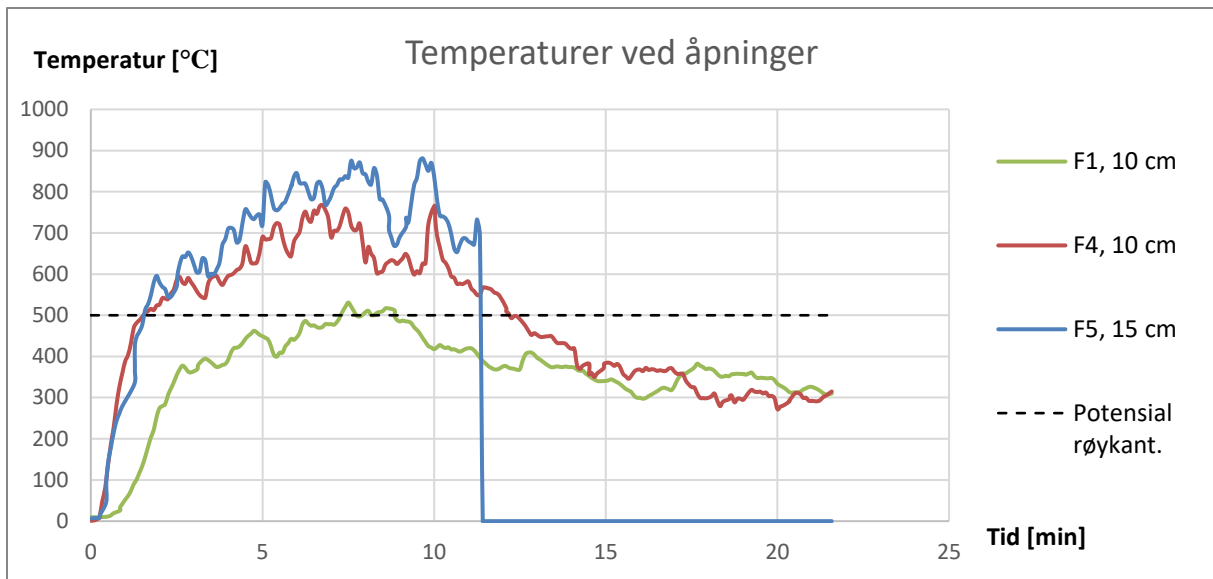
Det er tydelige temperaturforskjeller mellom det første og de to siste forsøkene. I forsøk 4 og 5, stabiliseres flammentemperaturene på henholdsvis ca. 900 og 1000 °C, tidlig etter brannstart.



Figur 25 - Flammentemperaturer - forsøk 1, 4 og 5

6.2.3.2 Temperaturer ved vindusåpning

Alle målinger i diagrammet under, er hentet fra samme termoelement, plassert nederst ved vinduskarm. Forskjellene i flammentemperatur ser ut til å også forplante seg i nærheten av vinduet. Det fremgår av kurvene at potensial for antennelse av røykgasser inntreffer allerede etter 1 min og 50 sek. i forsøk 4 og 5.



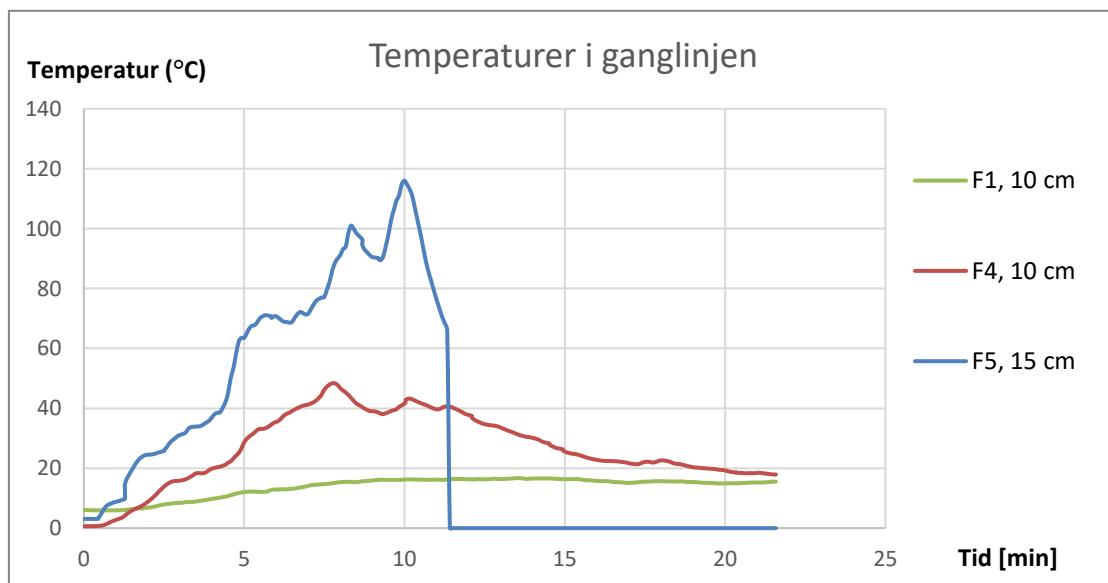
Figur 26 - Temperaturer ved åpninger - forsøk 1, 4 og 5

6.2.4 Forhold i svalgangen

Her fremgår målinger som indikerer forhold i svalgangens ganglinje.

6.2.4.1 Temperaturer i ganglinjen

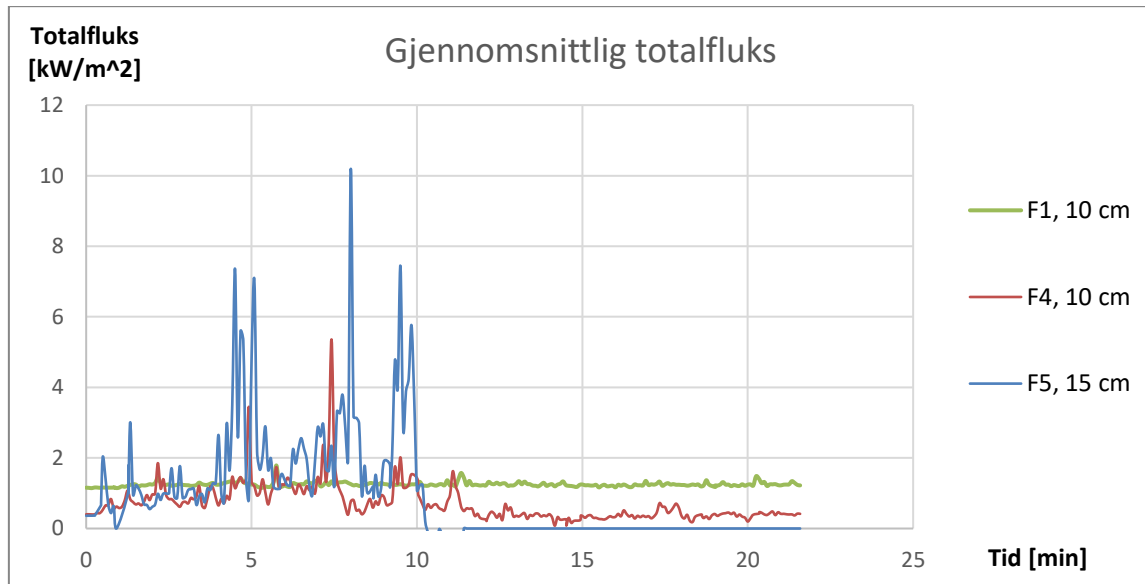
Kurven i forsøk 5 er forholdsvis brattere, og oppnår langt større maksimalverdier, enn de to andre forsøkene. Litt etter 10 minutter, oppnås temperaturer på 115 °C, som er 35 °C mer enn akseptkriterier for røykgasstemperaturer i ganglinjen [9]. I forsøk 4 er temperaturene omtrent de samme som i forsøk 2 og 3.



Figur 27 - Temperaturer i ganglinjen - forsøk 1, 4 og 5

6.2.4.2 Totalfluks i ganglinjen

Kurvene for totalfluks i forsøk 4 og 5 er langt mer fluktuerende enn i forsøk 1. Akseptkriterier brytes ikke i forsøk 4, men gjør dette etter 8 min. i forsøk 5. I vedlegg F kan det ses at en av målerne her oppnådde verdier på $11,3 \text{ kW/m}^2$. Sett bort fra toppunktene i forsøk 4, ser målinger ut til å oppta relativt like verdier som i forsøk 1.



Figur 28 - Gjennomsnittlig totalfluks - forsøk 1, 4 og 5

7 Diskusjon

For å vurdere hvordan de ulike vindusinnretningene påvirker personrisiko ved passering, behandles resultatene i lys av brannodynamisk teori. Dette omfatter primært hvorvidt rømningsforhold utenfor vinduet kan anses som akseptable. Etersom brannforløpene er noe ulike, må påvirkningen disse har hatt på forholdene gjøres rede for. Slik kan variabelen «vindusinnretning» i større grad isoleres og vurderes uavhengig av eksterne forutsetninger.

I tillegg vil det diskuteres hvordan myndighetene legger opp til brannsikkerhet i svalgang på preakseptert nivå. Dette vil kunne være nyttig for å vurdere størrelsen på den eventuelle fraviksløsningen.

7.1 Krav om brannmotstand og behov for lufting

Konflikt mellom krav om ventilasjon og branncelleinndeling danner grunnlaget for denne oppgaven, og er aktuell der begge funksjonene tilegnes samme vegg. I rom for varig opphold er det i TEK10 §13-4, (2) nedfelt krav om at lufting må foregå enten via vindu eller dør. I mange rom for varig opphold vil det være mest hensiktsmessig å lufte via vindu. Krav om branncelleinndeling i samme vegg vil kunne inntreffe dersom svalgangen kun har én rømningsretning, eller dersom veggen skal skjerme trappeløp. I disse tilfellene må eventuelle vinduer i veggen også utføres med brannmotstand, og må ikke kunne åpnes i normal brukstilstand.

En lempelse for brannmotstand, der VTEK10 ikke skiller på vinduer som beskytter rømningsvei og vinduer ellers, omfatter små vinduer opptil 0,2 m². Kriteriene er at vinduet må være tilegnet mindre rom i bolighus (for eksempel soverom) og at avstanden til uklassifisert bygningsdel må være minimum 5,0 m. Avstanden begrunnes med reduksjon i sannsynlighet for brannspredning mellom vinduer og fasader eller innvendige hjørner. Veiledningen legger dermed opp til at små punkteringer i branncelle mot rømningsvei kan være akseptabelt, dersom spredning av brann mellom vinduer til en viss grad hindres [2]. I en SINTEF rapport fra 2003 vedrørende den tids problematikk rundt svalganger, påpekes det at uklassifiserte vinduer vil kunne knuse ved overtenning i rommet. Dette vil kunne inntreffe allerede etter 3-5 minutter [26]. Etersom lempelsen i tillegg er rettet mot mindre rom, kan det imidlertid antas at brannenergien og brannintensiteten i rommet vil være begrenset.

Samme SINTEF rapport [26] beskriver også åpne dører mellom branncelle og svalgang, som å medføre omtrent like stor konsekvens ved brann som et konvensjonelt vindu uten brannmotstand. Samtidig er det ikke stilt krav i VTEK10 til selvlukkende dører mellom branncelle og svalgang. Det vil dermed være naturlig å anta at disse vil kunne stå åpne i en rømnings situasjon [2].

Veiledningen til TEK10 [2] gir altså lempelser til krav om brannmotstand i små vinduer, og angir ikke ytelse om selvlukkende dører fra boligenhet til svalgang. Disse preaksepterte løsningene vil kunne berøre samme sikkerhetsområde som brannklassifiserte åpningsbare vinduer med begrenset åpenhet. For å kompensere for slike vinduer kan det tenkes at å benytte dører med selvlukking vil være nok, ettersom åpne dører vil kunne berøre svalgangen på lignende måte som åpne vinduer. Andre kompenseringer kan eksempelvis utføres i form av

oppadskrående himling i svalgang. En hurtigere røykevakuering i svalgangen kan dermed oppnås. Løsningen vil derimot ikke nødvendigvis kompensere for eventuelle flammer fra vinduet.

Selv om begrenset åpningsbare brannklassifiserte vinduer kan kompenseres for, vil det likevel være av interesse å vurdere eventuelle risikoer ved løsningen isolert sett.

7.2 Alternative utførelser for å unngå konflikt mellom lufting og brannsikkerhet

Oppfyllelse av krav om både termisk inneklimate og branncelleinndeling i yttervegg mot svalgang, kan oppnås på flere måter. Her presenteres og diskuteres noen av disse alternativene.

7.2.1 Vinduer med alternativ lukkemekanisme

I USA finnes det ulike godkjente vindusprodukter med lukkemekanisme som aktiveres ved brann. Vinduene åpnes og lukkes ved skyving, enten horisontalt eller vertikalt. Horisontale vinduer kan lukkes elektronisk, tilkopledd byggets alarmsystem. Vertikale vinduer kan lukkes ved brudd på et stag som ellers holder vinduet oppe. Dette skjer når staget utsettes for spesifiserte temperaturpåkjenninger. Disse vinduene kan være klassifisert etter ikke-Nordiske standarder, for eksempel UL9 – *Fire Tests of Window Assemblies*. [26].

Dersom objekter plasseres mellom vinduets ramme og karm, kan lukkemekanismen hindres, og vinduet vil stå åpent ved brann. Dette kan medføre reduksjon i systemets pålitelighet, siden brukere ikke nødvendigvis er bevisste ovenfor denne sikkerhetsfunksjonen. Dersom kun små objekter hindrer lukkingen kan likevel resulterende åpning være liten. I tillegg kan vinduet også anordnes begrensede åpningsmuligheter. På denne måten kan vindusproduktet trolig være minst like godt egnet som løsningen omtalt i denne rapporten.

Om produktet må importeres fra USA eller andre land, kan dette medføre en noe stor kostnad sammenlignet med løsninger som finnes nasjonalt. I mange byggeprosjekter kan dette være styrende for valg av produkter. Det vil dermed være av interesse å undersøke brannsikkerhet som følge av mer konvensjonelle vindusutforminger, som de omtalt i oppgaven.

7.2.2 Ventilering og planløsning

I 2015 utarbeidet SINTEF Byggforsk en rapport [27] som blant annet berørte, og foreslo løsninger på, konflikten mellom krav om vinduer med brannmotstand i svalgang. Det kan eksempelvis kreves fastvindu i kombinasjon med brannventil eller brannklassifisert luke. Slike luker kan imidlertid medføre problemer med lydgjennomtrengning i vegg, og vil derfor være uheldig i forbindelse med soverom.

Alternativt kan det kreves en planløsning hvor rom for varig opphold ikke tilsluttes svalgang. I enkelte prosjekter kan dette derimot være vanskelig eller ikke ønskelig å gjennomføre [27].

7.2.3 Trapper i brannklassifisert materiale

Hele svalgangen må først være branncelle når det ikke er mulig å rømme i to retninger. Ved svalgangsløsning med trapp i begge ender, kan enten vegger rundt trappeløpene, eller yttervegg fremfor trapp og 5,0 m til hver side, beskyttes som branncelle [2]. Benyttes en av

disse løsningene vil kravet om branncellebegrensende vegg mellom svalgangen og resterende byggverk, enten reduseres i omfang, eller bortfalle helt.

Ved to rømningsretninger vil passering av vindu tilknyttet branncelle med eventuell brann kunne unngås. Likevel vil det kunne være større risiko for spredning av brann og branngasser i selve svalgangen. I bygninger med kun to etasjer, der det ikke er satt krav til ubrennbare materialer i kledning, kan brannspredning spesielt representere et problem.

7.3 Brannforløp

For å danne grunnlag for sammenligning av de ulike vindusinnretningene, diskuteres ulikheter mellom forsøksbrannene. Brannene vurderes også opp mot sannsynlige brannforløp i et rom for varig opphold. Magnusson og Thelanderssons metode [4] og ISO 834-standardbrannkurve benyttes for estimering av tid-/temperaturkurver i rombranner. I vedlegg A fremgår tilhørende beregninger.

Utover dette vil det være av interesse å diskutere hvordan vær og vind har medført ulikheter i forsøkene, og hvordan dette bør tas hensyn til ved vurdering av ulike vindusinnretninger.

7.3.1 Påkjenning på vindu

Fra resultatene kan det ses at temperaturene ved vindusåpningen er relativt store, og eksponeres tidvis for flammer. Det kan dermed være aktuelt å kreve at vinduet i sin helhet består av ubrennbare materialer, uavhengig av brannklasse.

7.3.2 Orientering av brann

Generelt vil krefter og energinivå i røyken være større nærmere brannen. [4] I forsøkene var brannen plassert 0,7 m i fra vinduet. En brann av samme størrelse, nærmere vinduet, vil kunne medføre forverrede rømningsforhold i relasjon til de som fremgår av forsøkene. Av forbigående vil dette kunne oppleves i form av større strålevarme og temperatur.

I prosjekteringsfasen kan risikoen for større oppsamling av brannenergi ved vinduet tas til etterretning. Dette kan gjøres ved å få til en planløsning som ikke oppfordrer til plassering av for eksempel seng eller sofa rett ved vindu. I henhold til TEK10 § 12-7, (3) [8] stilles det også krav til at det i rom for varig opphold i tilgjengelig boenhet skal være fri passasje på 0,9 m til vindu. Dette for å sikre tilgang til vinduet for bevegelseshemmede. En lignende forutsetning om avstand kan tenkes å være hensiktsmessig ved benyttelse av åpningsbare vinduer i branncellebegrensende vegg.

7.3.3 Brann påvirket av vind

På de ulike forsøksdagene ble det målt forskjellige vindstyrker. Vind rettet inn mot frontåpningen førte til en midlertidig reduksjon i røykevakuering ut denne, og en vindstyrt røykstrømning ut vindusåpningen. Ettersom temperaturnivåer i brannrom ser ut til å være større i forsøk utsatt for mer vind, har trolig det økte oksygenivået bidratt til en større brannintensitet. Vind kan også kjøle røyklaget, redusere tilbakestråling fra dette til brenselet, og forårsake lavere brannintensitet [4]. Dersom brannen i utgangspunktet er ventilasjonsstyrt, kan effekten av tilført oksygen imidlertid påvirke brannen i større grad.

Overnevnte konsekvens av vindstyrker i forsøkene kan observeres via brukt brensel, videoopptak og forsøksresultater. Eksempelvis ble det benyttet samme brenselmengde i forsøk 1 og 5, der sistnevnte resulterte i forholdsvis større temperaturkurver. Forskjeller i vindstyrke var på rundt 2,5 m/s. Konsekvenser av større vindstyrker i forsøk 5 kan også ses via målte verdier for totalfluks i svalgangen. Det kan observeres av videoopptak at flere toppunkter i totalflukskurvene korresponderer med tidspunkt for større vindkast. Lignende sammenhenger mellom vind og totalfluks kan også finnes fra forsøk 4.

Det kan tenkes at vindpåvirkning i rom for varig opphold vil kunne opptre noe likt, men med mindre effekt. I forsøksrommet er frontåpningen og vinduet i samme rom. I et rom med dør mot det fri vil det ikke være behov for åpningsbart vindu for å tilfredsstille tilluftskrav i TEK10 §13-4, (2) [8]. Rom der det må være åpningsbare vinduer vil således kunne ha større avstand til en dør mot det fri. I boligen vil det likevel kunne være gjennomtrekk, men ved større avstander vil vindpåkjenninger fordeles over et større område. Dette vil kunne medføre reduksjon i vindbelastning inn mot brannrom, grunnet friksjon og trykkfordeling ellers i boligen.

For at effekten av vind i enkelte forsøk skal kunne oppstå i en reell bolig, må vindstyrken sannsynligvis være større. Dette forutsetter imidlertid større avstand mellom døråpning til det fri, og åpent vindu. I praksis vil for eksempel stuer likevel kunne tilknyttes både balkong og åpningsbart vindu. Utarbeidende av planløsning bør være klar over hvilke risikoer ved brann og vindbelastninger dette vil kunne medføre.

7.3.4 Brann i oppholdsrom sammenlignet med forsøksbranner

Å spesifisere temperaturer i en vilkårlig rombrann vil være lite gjennomførbart.

Temperaturene styres av faktorer som blant annet oksygentilførsel, type og mengde materialer og fuktinnholdet i disse, rommets størrelse og varmeledningsegenskaper, og værpåkjenninger.

Magnusson og Thelanderssons metode benytter relasjonen mellom romdimensjoner, varmeledningsegenskaper, romåpning og brannenergi [4]. Ved å ta utgangspunkt i rimelige romstørrelser for, for eksempel en stue med rundt 20 m² gulvareal og en 0,9 m x 2,0 m åpning for oksygentilførsel, er det estimert omtrentlige tid-/temperaturkurver. For et 30 minutters brannforløp er temperaturen i brannrommet estimert til omtrent 800 °C. Tilsvarende vil temperaturene etter 60 minutter være i området 850-900 °C.

ISO 834-standardbrannkurven benyttes i tillegg, og regnes også ofte som en konservativ tilnærming. I henhold til denne tilsvarer brannforløp etter 30 og 60 minutter henholdsvis 845 og 945 °C, som er noe mer enn Magnusson og Thelanderssons metode skulle tilsi.

Nedenfor presenteres en forsøksliste der omtrentlige flammtemperaturer (fra figur 20 og 25) sammenlignes med Magnusson og Thelanderssons- og ISO 834-tid-/temperaturkurver. Disse omtales for enkelthets skyld som «MT» og «ISO». Sammenligningen utføres for å gi et inntrykk av hvordan brannintensiteten i forsøkene kan sammenlignes med hverandre, og med et mulig reelt brannforløp. Tidsintervallene for dimensjonerende brannforløp på 30 og 60 minutter er relatert til krav om isolasjon (I) og integritet (E) i branncellebegrensende

bygningssdel generelt. EI-krav er 30 min. i boligbygninger i brannklasse 1, og 60 min. i brannklasse 2 og 3 [2]. Dette vil dermed også gjelde vinduene i branncellebegrensende vegg.

- **Forsøk 1 og 2 (topp- og bunnhengsling):** Omtrentlig flammetemperatur var på henholdsvis 700 °C og 650 °C. Dette representerer forhold før 30 min, etter både MT- og ISO-kurven. I forsøkene var det også lite vind.
- **Forsøk 3 (sidehengsling):** I dette forsøket var det noe mer vind enn i de to foregående. Med omtrent 800 °C tilsvarer dette et brannforløp på 30 minutter etter MT-kurven, og mindre enn 30 minutter i henhold til ISO-kurven.
- **Forsøk 4 og 5 (topphengsling):** Med temperaturer på henholdsvis ca. 900 og 1000 °C, tilsvarer dette brannforløp med varighet på 60 minutter eller mer etter MT-kurven. I forsøk 5 er dette tilfelle også for ISO-kurven. I henhold til denne kurven tilsvarer forsøk 4 omtrent 45 minutters brannforløp. Begge forsøkene ble påvirket av vind.

Forholdene i forsøk 1 og 2 ser ut til å representere brannforløp i noe tidlig fase. Med mindre temperaturdifferanser synes disse også å kunne være relativt sammenlignbare.

Sammenlignbarheten mellom brannforløpene i forsøk 2 og 3 er noe mindre sammenlignbare, der forsøk 3 kan relateres til et brannforløp med omtrentlig varighet på 30 minutter.

Forsøk 4 og 5 ser begge ut til å tilsvare forhold lenger ut i et sannsynlig brannforløpet. Disse forsøkene sammenlignes primært for å vurdere vindusåpningens størrelse. Med en temperaturdifferanse på omtrent 100 °C, og i tillegg større vindstyrker i forsøk 5, reduseres imidlertid sammenlignbarheten noe. Forsøk 5 kan trolig også omtales som et noe konservativt forsøk. Dersom rømningsforhold også er akseptable, kan løsningene benyttet i forsøkene muligens benyttes i en reell vinduskonstruksjon.

7.4 Ulike vindusinnretninger og rømningsforhold

I hovedsak gir forsøkene grunnlag for å diskutere vindusinnretning i form av hengslingsmetoder. Resultater kan imidlertid til en viss grad generaliseres til å betrakte åpningers dimensjoner, plassering og størrelse. Disse faktorene vil kunne ha betydning for interaksjonen mellom tilstrømmende luft og brennbare gasser.

7.4.1 Rømningsikkerhet

Totalfluks og temperatur i svalgangen måles kvantitativt mot akseptkriterier og empiriske korrelasjoner. Det vil også være nyttig å betrakte rømningsforhold kvalitativt.

I forsøk 1 til 4 kan det ses at akseptkriterier ikke brytes, med god margin. I forsøk 5 brytes disse for både totalfluks og temperaturer. Største målte verdien i forsøk 5 er 11,3 kW/m². I samme forsøk stiger temperaturen i svalgangen opp mot 115 °C, og er dermed 35 °C over akseptkriteriet. Primært vil strålingsintensiteter kunne ha større betydning for rømningsforhold enn temperatur. Dette siden stråling beskriver mer direkte effekt ved eksponering [11].

Av figur 7 kan betydningen av strålefluks betraktes i relasjon til tid til følt smerte ved hudeksponering. Dette kan igjen sammenlignes med den tiden det kan ventes at rømmende vil kunne bruke forbi et åpent vindu. Ved å benytte ganghastighet på 1,2 m/s, som anbefales av

SFPE [16] for voksne, friske mennesker, vil det ta 0,83 sekunder å rømme forbi et vindu på 1,0 m. I henhold til ligning (2.12) vil det kreve en strålingsintensitet på 12,3 kW/m² for at smerte skal oppleves ved passering. Dette er noe høyere enn hva som måles som maksverdi i forsøk 5.

Videre vil det være utfordrende å forutse endringer i handlingsmønster og betydningen av dette, når mennesker utsettes for smerte. En annen, kanskje større utfordring ved rømning, vil kunne være det visuelle inntrykket fra eventuelle flammeutstikk. Selv om passering i utgangspunktet ikke vil medføre stor risiko, vil trolig flere kunne vegre seg for dette. Synet av flammer vil imidlertid kunne gi rømmende insentiv til å dekke over ansikt og annen eksponert hud, før passering. I tillegg vil passering kunne skje med større hastigheter forbi vinduet dersom dette anses som risikabelt.

For en fremtidsrettet utforming av bygget, bør det tas hensyn til at Norge har en aldrende befolkning. Samtidig legger myndighetene opp til at eldre skal bo lenger hjemme [28]. Dette vil kunne medføre at en større andel beboere i bygninger med svalgang, vil ha behov for assistanse ved rømning. I tillegg vil det kunne være nødvendig at flere boligbygninger må endre bruksvilkår. Dette innebærer at bygninger tidligere plassert i risikoklasse 4, må oppgraderes til risikoklasse 6-bygninger (typisk ulike omsorgsboliger) [2]. Dette vil igjen kunne endre byggets brannklasse, hvilket medfører at det stilles strengere krav til byggets sikkerhet. Således bør det ved benyttelse av fraviksløsninger som omhandler rømning, vurderes kompensierende tiltak.

7.4.2 Betydning av åpningens plassering

Siden forsøkene tar utgangspunkt i hengsling av vinduer, vil disse alltid ha åpninger både i toppen av vinduet, i bunnen, og langs siden. Likevel vil hoveddelen av vinduet ved for eksempel topphengsling være orientert i bunnen, ettersom størrelsen av åpningen øker ved redusert vertikalnivå. Sidehengslede vinduer vil ha like mye åpning oppe som nede, med størstedelen av åpningen langs siden vinduet åpnes i.

7.4.2.1 Sidehengslet (forsøk 3)

Som nevnt var flammetemperaturene noe større i dette forsøket enn i forsøk 1 og 2, med omtrentlige differanser på henholdsvis 100 og 150 °C. Likevel er temperaturene omtrent 200 °C større ved åpningene. I forsøket er det i tillegg observert flere og større flammer enn i forsøk med bunnhengslet, og langt flere enn i forsøk med topphengslet.

Av ligning (2.3) kan det ses at oksygentilførselen til rommet er i større grad avhengig av høyde enn av bredde. Ved en større del av åpningen orientert langs vertikalaksen, kan det dermed antas at mer oksygen vil ankomme brannrommet. Dette kan medføre intensivering av brannen. Det kan dermed være rimelig å anta at den potensielt større oksygenmengden som kommer inn gjennom åpningen, antenner røykgasser, og gir utslag på målte temperaturverdier ved vinduet. Resulterende rømningsforhold kan dermed tenkes å være ugunstige ved en vertikalt orientert åpning. Forskjellene kan imidlertid likevel være forårsaket av vind, ettersom vindstyrken kan være styrende for røykens strømningsretning.

I tillegg bør det tas i betraktning at kurvene for totalfluks og temperaturer i svalgangen var stigende i tiden før vindusåpningen ble redusert grunnet spenninger i gipskonstruksjonen. Når denne var lukket, steg kurvene mindre, stagnerte eller sank. Selv om det ikke kan konkluderes med, kan det være rimelig å anta fortsatt økning i temperatur- og totalfluksmålinger, dersom åpningen forble 0,18 m².

7.4.2.2 Topp- og bunnhengslet (forsøk 1 og 2)

I forsøk 1 og 2 var flammemetemperaturene og målinger av totalfluks relativt like. I forsøk 2 var samtidig flammegjennomtrengningene lengre og hyppigere, og temperaturen i svalgang omtrent tre ganger større.

Fra figur 21 og 22 kan det også ses at temperaturene i vertikalnivå øker med høyden. Dette er karakteristisk for rombranner ved dannelse av røyklag i øvre sjikt, der energinivået er størst nærmere taket [4]. Ettersom hoveddelene av åpningen til bunnhengslet vindu er orientert i toppen av vinduskarmen, vil det være rimelig å anta at røykgassene som evakueres ut i svalgangen også har større energinivå. Dette vil kunne resultere i økt stråling og forverrede rømningsforhold.

På den annen side vil røykens lavere energinivå også kunne resultere i lavere hastigheter ut i svalgangen, noe som kan medføre akkumulering. I forsøkene er det også observert generelt større røykmengder i svalgangen ved topphengsling enn ved bunnhengsling. Dette har trolig sammenheng med større røykproduksjon i fra selve brannen. En annen årsak kan være at røykgassene oftere antenner i øvre sjikt, rett ved vindusåpningen ved bunnhengslet, der oksygen strømmer til. I utgangspunktet vil røykens temperatur og strålingsintensitet likevel kunne være mest utslagsgivende for rømningsforhold.

7.4.2.3 Bakgrunn for valgt løsning til videre testing av hengslingsmetode

På bakgrunn av følgende aspekter ble topphengsling vurdert til å kunne medføre lavest personrisiko:

- mindre flammegjennomtrengninger enn i forsøk 2 og 3
- langt lavere temperaturer i svalgang enn i forsøk 2 og 3
- forholdsvis mindre temperaturer ved hoveddelen av åpning i forsøk 1, altså lavere temperaturer ved lavere vertikalnivå

det ble antatt at trendene vedrørende forhold i svalgang ville vedvart ved større brannintensitet.

I forsøk 4 ble temperaturene i svalgangen aldri større enn 48 °C, som er ganske likt de temperaturene som oppsto i forsøk med bunn- og sidehengslet. Da flammemetemperaturen likevel var en del større, understøtter dette valget av topphengsling som beste metode. Ettersom det samtidig var større og oftere flammegjennomtrengninger i forsøk 4, kan det likevel ikke påstås at passeringsmulighetene i svalgangen var bedre, selv ved større flammemetemperaturer. Disse flammene kan ha medført temperaturøkninger i så kort tid at de ikke registreres av platetermometeret. Dette grunnet platetermometerets termiske treghet [23].

7.4.2.4 Veiledningsløsning

I VTEK10 [2] legges det ikke føringer for hvordan eller hvor et opptil 0,2 m² stort vindu uten brannmotstand skal plasseres på veggen eller hvordan forholdet mellom side og bredde skal være. Dersom disse aspektene ikke tas i betraktning, kan en uheldig orientering av vinduet finne sted ved preakseptert løsning. I forbindelse med at vinduene vil kunne knuse i tidlig brannforløp, taler dette for at åpningsbare brannklassifiserte vinduer som begrenses til omtrent 0,2 m², ikke nødvendigvis vil medføre særlig redusert sikkerhet i forhold til preaksepterte ytelser. Resterende kriterier om avstand til brennbare bygningsdeler og at vinduet i utgangspunktet kun skal plasseres i mindre rom, må trolig i større grad tas hensyn til. Det vil sannsynligvis også ofte være ønskelig å benytte løsningen omtalt i denne oppgaven i større rom enn hva som legges opp til ved lempelse på krav om brannmotstand i veiledningsteksten.

Ved åpninger forårsaket av små knuste vinduer, kan strømningsmotstanden trolig være noe større enn ved hengslede vinduer. Dette ettersom hengslede vinduer vil kunne kanalisere røykstrømmen i noe større grad. I denne forstand, vil disse vindusinnretningene kunne representere en større risiko for rømmende, enn åpninger som er mer rettet utover i svalgangen [4].

7.4.3 Betydning av åpningens størrelse

I forsøk 4 og 5 benyttes lysåpninger på 10 og 15 cm. I et kvadratisk vindu med sider på 0,9 m tilsvarer dette en arealøkning på 50% fra forsøk 4 til forsøk 5. Som nevnt er sammenlignbarheten mellom disse forsøkene noe redusert grunnet forskjeller i vindstyrke på omtrent 1 m/s. I tillegg var flammemetemperaturen omtrent 100 °C større i forsøk 5. Ved vinduet var denne differansen imidlertid noe mindre.

De mest dramatiske forskjellene mellom forsøkene er i form av svalgangstemperaturer. I forsøk 5 ble akseptkriterie på 80 °C nådd omtrent 7 min. og 30 sek. etter brannstart. Temperaturen fortsetter å stige helt til forsøket ble avsluttet, etter ca. 10 min. til omtrent 115 °C. Forskjellen mellom maksimal svalgangstemperatur i forsøk 4 på 48 °C og i forsøk 5, tilsvarer omtrent en 140 % økning. Til sammenligning tilsvarer økning i vindstyrke og temperatur henholdsvis omtrent 90 og 11 %. Selv om forsøkene ikke direkte kan sammenlignes på denne måten, gir dette likevel en indikasjon på at økt åpningsareal vil medføre forverrede rømningsforhold.

I utgangspunktet vil mer røykgasser kunne transporteres fra brannrom til svalgang ved større vindusåpning. Selv om potensialet for dette er tilstede, vil likevel flere prosesser være involvert. Dersom for eksempel døråpningen inn til brannrommet er stort, kan den relative differansen mellom denne, og åpninger på 0,18 og 0,27 m² være liten. Således er det ikke sikkert at en økning i vindusåpning på 50% vil utgjøre særlig mye. Dette dersom åpningen i utgangspunktet er liten i relasjon til rommets totale åpningsareal.

Isolert sett synes løsningen med åpningsareal på 0,27 m² å være sårbar for vindpåkjenninger og større brannintensiteter. Selv om akseptkriterier for stråling og temperatur kan anses som brutt, er forsøket trolig utført med noe i overkant konservative forhold.

7.4.3.1 Begrensning av åpning

Ved enda større åpningsareal, kan det antas at større energimengder transporteres til svalgangen, og øker personrisikoen. Det synes dermed å være fornuftig å benytte brannklassifiserte vinduer med kun muligheter for begrensede åpninger. For brukere av boligenhet med en slik løsning, kan dette virke ubeleilig i den daglige bruken. For å forhindre at mekanismen for begrensning av åpenheten forringes, bør denne derfor utføres robust.

Vindusproduktet bør også helst kunne vare i hele byggets levetid. Dersom produktet ikke har tilfredsstillende kvalitet over tid, kan brukere i større grad motiveres til å bytte ut vindusproduktet. Hvordan fokus på brannsikkerhet vil være over tid, er utfordrende å forutse. Ved mindre fokus på dette, kan det være sannsynlig at ett eventuelt nytt produkt, ikke innehar de samme egenskapene for begrensning av åpningsgrad og brannklassifisering.

Benyttes større vinduer med samme lysåpning, vil følgelig også åpningsarealet øke. For å balansere naturlig innlys, brannsikkerhet og ventilering via vindu, kan vindusarealet økes og oppdeles i flere vinduselementer med rammer. Ved en slik løsning kan kun ett av vinduselementene utføres som åpningsbart.

7.5 Feilkilder

- Termoelementer er gitt benevnelse etter høydeplassering. Da termoelementer gir punktmålinger og ikke planmålinger, vil ikke disse nødvendigvis representere temperaturnivåer over en særlig stor del av horisontalplanet. Ettersom trendene benyttet for å beskrive hovedtrekkene ved forsøkene er relativt tydelige, anses ikke dette for å være særlig problematisk.
- Plassering og vinkling av totalfluksmålere og platetermometer er gjort med den hensikt å fange opp mest mulig strålevarme og temperatur. Dette er imidlertid utfordrende å ta høyde for grunnet røykstrømningens uregelmessige og turbulente natur. Ut i fra observasjoner og betraktninger av røykstrømninger og flammegjennomtrengninger, anses likevel plasseringene som rimelige.
- I forsøk 1, 2 og 3 ble maksimalverdiene for stråling målt til henholdsvis 1,3, 1,2 og 1,8 kW/m². Ved verdier på rundt 1,0 kW/m² oppgir produsenten av totalfluksmålere at feilmarginen vil være stor. Dette grunnet det ikke - lineære forholdet mellom emisjon fra røyklag/brann og totalfluksmåler [23]. Ettersom temperaturene er relativt lave (<150 °C), kan de små forskjeller som registreres, være forårsaket av mindre endringer i røykstrømninger og røykarakteristikk. Dette grunnet strålingens avhengighet av temperatur i fjerde. Målinger av totalfluks er derfor benyttet i mindre grad til å vurdere forskjellene mellom vindusinnretninger.

Hvordan disse ulike dynamikkene gir utslag i sum, vites ikke. Ettersom akseptkriterier i de fleste forsøkene, med god margin ikke ble brutt, kan forsøkene likevel gi grunnlag for konklusjon.

7.6 Forslag til videre arbeid

Utføre tilsvarende forsøk:

- flere ganger og med ulike lysåpninger, vindusdimensjoner og åpningsmetoder
- der interaksjonen mellom vindusløsningen og andre brannsikkerhetstiltak betraktes
- der vinduet utføres med et reelt vindusprodukt med branntekniske egenskaper. Her bør det i tillegg forsøkes å ta stilling til hvorvidt det bør stilles krav til at rammen utføres som delvis brennbar/ubrennbar
- der vinduet utføres med areal på 0,2 m² og uten brannmotstand (preakseptert for mindre rom)
- i et rom med variabel brannenergi representativt for en bolig
- der brannen orienteres på ulike måter i relasjon til vindusåpningen. Her vil det kunne være spesielt interessant å vurdere topphengslet mot bunnhengslet metode, og vurdere hvordan forholdene blir ved brann plassert nærmere vindusåpningen
- med en svalgang utført tilsvarende et reelt produkt
- ved simuleringer, for å lettere betrakte strømningsmekanismer som funksjon av vindusinnretning

Overordnet kan målsettingen være å videreutvikle veiledningsløsninger for åpningsbare vinduer med brannmotstand i samarbeid med DiBK.

8 Konklusjon

Ettersom det kun er utført fem forsøk, kan det ikke med absolutt sikkerhet determineres hvilke parametere som medførte ulike rømningsforhold i svalgang. Varierende vindforhold mellom forsøkene har gjort sammenligning av vindusinnretninger noe utfordrende. I tillegg vil brannens orientering i forhold til vinduet, og vinduets orientering i forhold til rømningsvei, kunne være særlig utslagsgivende for resultater. Samtidig er det knyttet usikkerheter opp mot prosessene og dynamikkene som influerer resulterende målinger.

Likevel kan mest gunstige vindusinnretning sannsynliggjøres. Via temperaturdistribueringer i vertikalnivå i brannrommet, større forskjeller i antall observerte stikkflammer, og betydelig lavere temperaturer i svalgang, indikerer forsøkene at topphengsling vil medføre størst personsikkerhet ved passering. Dette med kvadratiske brannklassifiserte vinduer med sider på 0,9 m og åpningsareal begrenset til 0,18 m².

Innretningen er utprøvd ved brannintensiteter omtrent tilsvarende et 45 og 60 minutters brannforløp i henhold til henholdsvis ISO 834-standardbrannkurven og et sannsynliggjort brannforløp i rom for varig opphold. Akseptkriterier i henhold til Temaveiledning HO - 3/2000 vedrørende stråling og temperatur i svalgangens ganglinje brytes ikke på noe tidspunkt ved slik brannintensitet.

Både bunn- og sidehengslet vindusinnretning med åpningsareal på 0,18 m² synes også å kunne passeres i tidlig brannforløp, uten å bryte noen av de overnevnte akseptkriterier. Disse innretningene er imidlertid ikke utprøvd ved brannintensiteter tilsvarende et langvarig brannforløp.

Det er ikke sannsynliggjort at et topphengslet vindu med åpningsareal på 0,27 m² vil kunne benyttes uten å overskride akseptkriterier. Forsøket kan imidlertid regnes for å være utført i overkant konservativt

9 Kilder

1. **Kollegiet for brannfaglig terminologi** (2017). [Internett], Faguttrykk, hentet 11. mars 2017 fra <http://www.kbt.no/faguttrykk.asp>
2. **Byggteknisk forskrift med veiledning (VTEK10)** (2010). [Internett] I *Byggteknisk forskrift (TEK10)*. Hentet 10. Januar 2017 fra <https://dibk.no/byggeregler/tek/>
3. **Tranøy, K. E.** (2012). Empirisk. I Store norske leksikon. Hentet 9. Mai 2017 fra <http://snl.no/empiriske>
4. **Karlsen, B. & Quintiere, J. G.** (2000). *Enclosure fire dynamics*. Boca Raton: CRC press
5. **Svart legeme** (2009). [Internett], I *Store norske leksikon*. Hentet 11. mars 2017 fra http://snl.no/svart_legeme
6. **Hveem, S. & Stenstad V.** (2013). 526.301 *Svalganger og altanganger i boligbygninger*. Trondheim: SINTEF-Byggforsk.
7. **Kristoffersen, B.** (2003) [Internett] Hentet 02. Mai 2017 fra SP Fire Research <http://spfr.no/media/publikasjoner/upload/nbl10-a03162.pdf>. Trondheim: SINTEF
8. **Byggteknisk forskrift** (2010). [Internett] I *Byggteknisk forskrift (TEK10)*. Hentet 10. Januar 2017 fra <https://dibk.no/byggeregler/tek/>
9. **HO-melding nr. 3** (2000). *Røykventilasjon*. Oslo: Direktoratet for Byggkvalitet
10. **Bjelland, H. & Raustøl, J.** (2016). *Utredning av mulige endringer i veil. til TEK10*. Oslo: Direktoratet for byggkvalitet.
11. **Drysdale, D.** (2011). *An introduction to fire dynamics*. Edinburgh: Wiley
12. **Krohn, J. C. & Steen-Hansen, A** (2013). 321.051 *Brannenergi i bygninger. Beregninger og statistiske verdier*. Trondheim: SINTEF-Byggforsk
13. **Walton, W. D., Thomas, P. H., Ohmiya, Y.** (2016). Estimating temperatures in compartment fires. I M. J Hurley (Red.), *SFPE Handbook of fire protection engineering*. New York: Springer Science + Business Media LLC
14. **Tanaka, T.** (2016). Vent flows. I M. J Hurley (Red.), *SFPE Handbook of fire protection engineering*. New York: Springer Science + Business Media LLC
15. **Wieczorek, C. J. & Dembsey, N. A.** (2016). Effects of thermal radiation on people: Predicting 1st and 2nd degree skin burns. I M. J Hurley (Red.), *SFPE Handbook of fire protection engineering*. New York: Springer Science + Business Media LLC
16. **Gwynne, S. M. V. & Rosenbaum E. R.** (2016) Employing the hydraulic model in assessing emergency movement. I M. J Hurley (Red.), *SFPE Handbook of fire protection engineering*. New York: Springer Science + Business Media LLC
17. **Bugten, A.** (2013). 571.951 *Bygningsglass*. Trondheim: SINTEF-Byggforsk
18. **Olsø, B. G.** (2016) 571.957 *Vinduer og glassvegger med brannmotstand*. Trondheim: SINTEF-Byggforsk
19. **Standard Norge.** (2014) Prøving av brannmotstand og røyktetthet til dører, porter og luker, åpningsbare vinduer og deler av bygningsbeslag - Del 1: Brannmotstandsprøving for dører, porter, luker og åpningsbare vinduer (NS-EN 1634-1:2014) Oslo: Standard Norge
20. **Keysight** (2017). [Internett], *Key features and specifications*. Hentet 28. Februar 2017 fra <http://www.keysight.com/en/pd-1000001313%3Aeps%3Apro-pn-34970A/data-acquisition-data-logger-switch-unit?cc=US&lc=eng>
21. **Termoelement** (2017). [Internett], I *Tip-ordboka*. Hentet 19. Januar 2017 fra <http://www.tip-ordboka.no/termoelement>

22. **Hukseflux** (2017). [Internett], *SBG01 heat flux meter*. Hentet 19. Januar 2017 fra <http://www.hukseflux.com/product/sbg01-heat-flux-meter>
23. **Thermo-electra** (2017) [Internett] *Plate termocouple*. Hentet 29. April 2017 fra <http://www.thermo-electra.com/en/producten/Thermokoppel/thermocouples-with-cable-or-connector/637-Plate-Thermometer>
24. **VelociCalc Pluss 8388** (1998). [Internett], *Operation and service manual model 8388*. Hentet 20. Januar 2017 fra <http://www.ierents.com/Manuals/TSI%208360%20Velocicalc%20Plus.pdf>
25. **Mostue, B. A. & Stensaas, J. P.** (2002) [Internett] *Effekt av boligsprinkler i omsorgsboliger*. Hentet 28. April 2017 fra <http://spfr.no/media/publikasjoner/upload/nb110-a02117.pdf> Trondheim: SINTEF
26. **Fyre-Tech** (2017). [Internett], *Fire rated windows*. Hentet 10. Mars 2017 fra <http://www.fyre-tec.com/fyre-tec-fire-rated-windows.php>
27. **Bugten, A. & Almås, A.** (2015) [Internett] *Krav til vindu og dør i byggeteknisk forskrift (TEK10)*. Hentet 2. April 2017 fra https://dibk.no/globalassets/byggeregler/tek10-til-tek17/rapporter/krav-til-vindu-og-dor_sintef_oktober-2015.pdf Trondheim: Sintef-Byggforsk
28. **Helse- og omsorgsdepartementet** (2012-2013). *Morgendagens omsorg*. Oslo: Fagbokforlaget

10 Vedlegg

1. Vedlegg A – Dimensjonering av sannsynlig brannforløp	II
2. Vedlegg B – Dimensjonering av forsøksbrann	V
3. Vedlegg C – Temperatur fra platetermometer omregnet til strålefluks	XI
4. Vedlegg D – Forsøksplan	XI
5. Vedlegg E – Forsøkslogg	XX
6. Vedlegg F – Tilleggsresultater	XXIII
7. Vedlegg G – Datablad totalfluksmåler	XXXV

10.1 Vedlegg A - Dimensjonering av sannsynlig brannforløp

For beregninger er Enclosure fire dynamics [4] benyttet om ikke annet er nevnt.

For dimensjonering av sannsynlig sammenlignbart brannforløp og temperaturer benyttes Magnusson og Thelanderssons metode. Det tas hovedsakelig utgangspunkt i følgende aspekter:

- temperaturer som tilsvarer brannvarigheter branncellebegrensende bygningsdeler er dimensjonert for. Dette vedrørende isolasjon (I) og integritet (E), som i størst grad kan være relevant for brannmotstandsdyktige vinduer [2]. Dette er for:
 - brannklasse 1: 30 min
 - brannklasse 2 og 3: 60 min
- romdimensjoner delvis basert på ytelser etter VTEK10 §12-7. *Krav til rom og annet oppholdsareal*, (1) og (3) der [2]:
 - romhøyder er minimum 2,40 m
 - minste romareal er 7,0 m² (anbefalt)
 - dører har bredde på 0,9 m
 - videre tas det utgangspunkt i dørhøyde på 2,0 m
- boligen/rommet er direkte eller indirekte tilknyttet én dør, helt åpen til friluft
- åpningsfaktor og spesifikk brannenergi korrigeres med konstant på 1,5 for å ta hensyn til norsk byggeskikk (konservativt)
- spesifikk brannenergi for omhyllningsflate finnes i fra Enclosure Fire Dynamics [Kilde]. Denne tar utgangspunkt i statistiske 80% fraktiler, hvilket betyr at det ikke forventes at verdien skal overskrides i 80% av tilfellene. For bolig med 2 soverom og et kjøkken er denne 168 MJ/m². Korrigert for norsk byggeskikk blir denne 252 MJ/m².

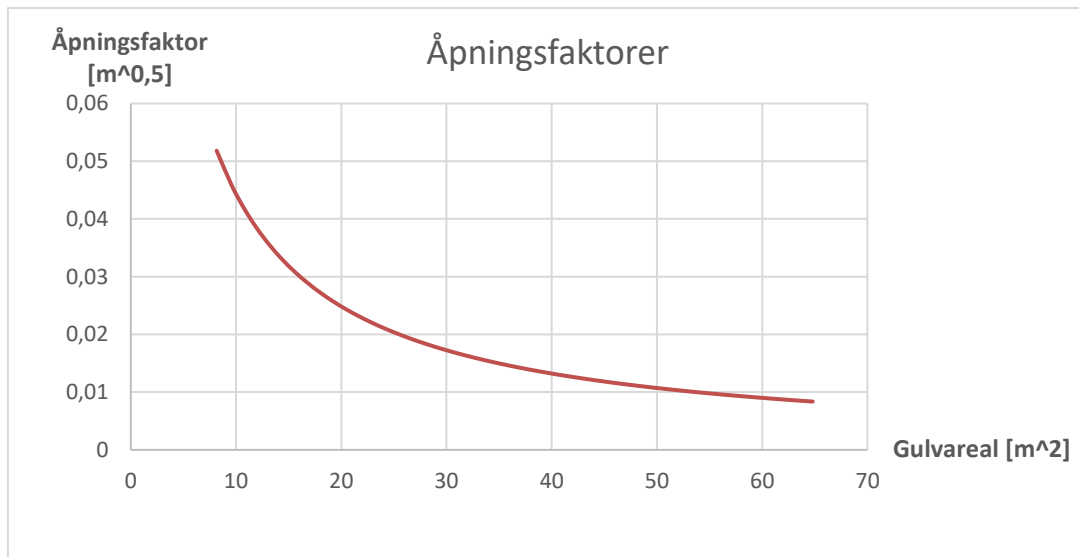
Ligning for åpningsfaktor og omhyllningsflate benyttes, og er henholdsvis:

$$\frac{A_0 \sqrt{H_0}}{A_t} \quad [m^{1/2}]$$

$$A_t = 2 \cdot (\text{bredde} \cdot \text{lengde}) + 2 \cdot (\text{høyde} \cdot \text{bredde}) + 2 \cdot (\text{høyde} \cdot \text{lengde}) \quad [m^2]$$

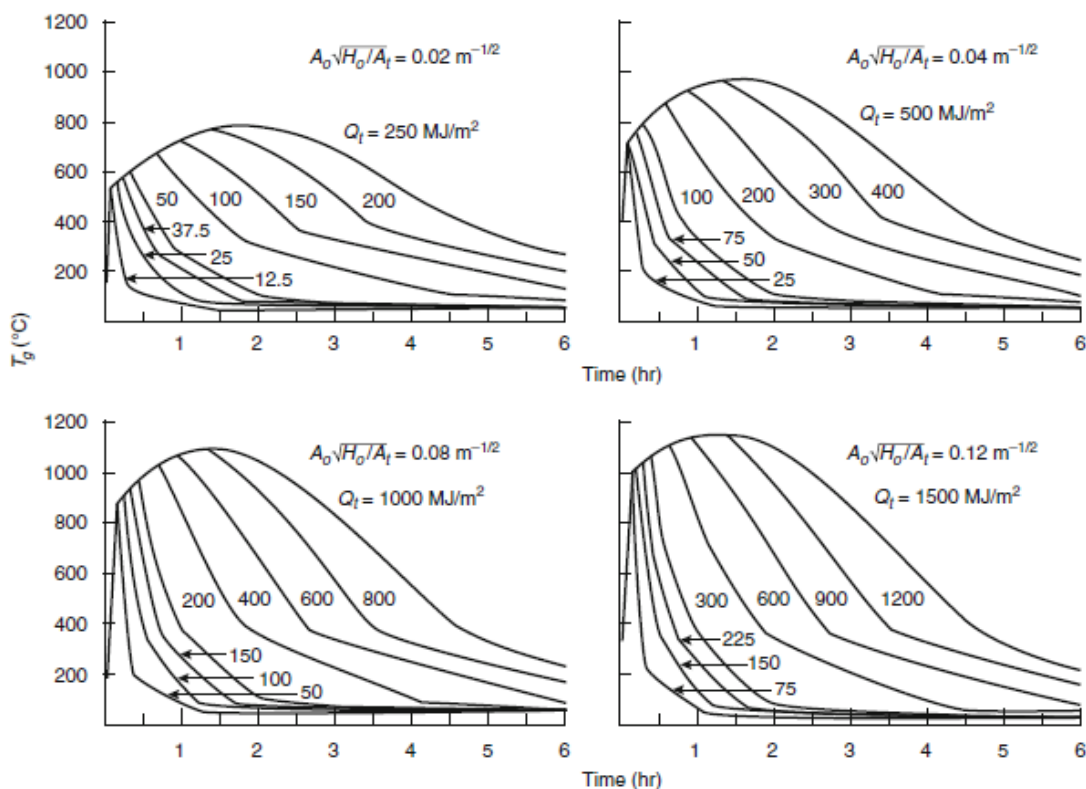
der A_0 er arealet til døråpningen og H_0 er døråpningens høyde. I ligning for A_t svarer lengder, bredder og høyder til rommets dimensjoner.

Aktuelle åpningsfaktorer kan dermed finnes som funksjon av rommets gulvareal i figur 1.



Figur 1 – Åpningsfaktor som funksjon av gulvareal

Videre kan forventede temperaturer finnes av tid-/temperaturkurvene av Magnusson og Thelandersson (figur 2). Med største åpningsfaktor på omtrent 0,9 vil mest passende diagram være den nederste til venstre. Her vil maksimale temperaturer kunne nærme seg 1100 °C. Konsentrasjonen av brannenergi vil imidlertid kunne være noe stor. Gulvarealet trenger ikke å bli mer enn 20 m² for at diagrammet oppe til høyre vil være mest relevant. Ved gulvarealet 40 m² er kurvene tregtvoksende og maksimaltemperaturene relativt lave.



Figur 2 - Tid-temperaturkurver dimensjonert etter metoden av Magnusson og Thelandersson [14]

Da dimensjoner vil være varierende fra bolig til bolig og rom til rom, besluttes det å benytte mellomalternativet. Dimensjonerende brannforløp kan dermed leses av diagrammet oppe til høyre (åpningsfaktor på 0,04 m²). Med gulvareal på mellom 20 og 30 m² kan dette svare til en stue. For en arealspesifikk brannenergi på 252 MJ/m², medfører dette følgende omtrentlige, sannsynlige temperaturer:

- 800 °C etter 30 minutter
- mellom 850 og 900 °C etter 60 minutter
- maksimalt 1000 °C

Til sammenligning kan det benyttes statistiske variable brannenergier fra ulike standarder. Dette er imidlertid ikke av særlig interesse, da eneste forskjellen ved eventuelt større spesifikk brannenergi, er større maksimaltemperatur.

I tillegg suppleres beregningene med temperaturer tilsvarende 30 og 60 minutter etter ISO 834-tid-/temperaturkurve. Denne defineres på følgende måte, med tiden (t) i minutter:

$$T = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (2.9)$$

Resulterende omtrentlige temperaturer blir dermed:

- 845 °C etter 30 minutter
- 945 °C etter 60 minutter

ISO 834-kurven gir noe større temperaturer enn hva som oppnås ved dimensjonering etter Magnusson og Thelanderssons metode. Av diagrammet nede til venstre i figur 2 kan det ses at temperaturene tilsvarer et rom på mindre enn 10 m² med spesifikk brannenergi på omtrent 200 MJ/m². Dette kan trolig sammenlignes med et lite, men tettpakket soverom, og representerer heller ikke et direkte urealistisk brannscenario.

10.2 Vedlegg B - Dimensjonering av forsøksbrann

Dimensjonering av brann gjøres ved hjelp av beregninger, men også via erfaringer og betraktninger gjort på ResQ Sikkerhetssenter. Ettersom området er i varierende grad påvirket av vær og vind, må dette også tas hensyn til. Ved testbranner, forsøksbranner og tørrbrenninger (reduere rommets fuktinnhold), er det erfart at vindhastighet og retning kan ha store innvirkninger på brannforløpet og resulterende tid-/temperaturkurver.

Tid-/temperaturkurver ved varierende værforhold kan være utfordrende å dimensjonere. Beregningene har som formål å vurdere mulighet for oppnåelse av maksimal effekt som følge av en ventilasjonskontrollert brann. Resulterende tid-/temperaturkurver må antas basert på erfaringer fra branntesting på ResQ.

I utgangspunktet vil det være gunstig å utføre mange og varierte forsøk. Antall forsøk på ResQ er imidlertid begrenset av tilgjengelig tid og ressurser. For dimensjonering av forsøksbrann for de tre første forsøkene er det tatt utgangspunkt i følgende:

- de bør være utført med mest mulig sammenlignbare temperaturkurver. For å oppnå dette bør det utføres tørrbrenning og benyttes så få paller som mulig (variabel fukt)
- ikke benytte mer brensel enn nødvendig. Dette med primærhensikt å kunne utføre så mange forsøk som mulig, innenfor rammer satt som følge av tilgjengelig material og tid

For de to siste delmålene vil det være gunstig å benytte et brensel som medfører hurtig brannvekst. Således anes parafin for å være godt egnet.

Videre er det ønskelig å utføre minst to forsøk til. Som nevnt tas det her utgangspunkt i hengslingsmetoden som anses for å medføre minst personrisiko ved brann. I forsøk 4 og 5 er det satt følgende mål:

- i forsøk 4 bør det oppnås temperaturer som er minimum representative for et 60 minutters brannforløp. Åpningsarealet skal være $0,18 \text{ m}^2$
- i forsøk 5 bør det oppnås temperaturer som er sammenlignbare med en av de to andre forsøkene med samme hengslingsmetode. Åpningsarealet skal være $0,27 \text{ m}^2$

Forsøksrommets dimensjoner

For beregninger av varmeproduksjon i forsøksrommet, vil dets dimensjoner være av interesse.

Tabell 1 - Romdimensjoner

	Forsøksrom [m]
Rommets bredde	2,40
Rommets lengde	3,40
Rommets høyde	2,19
Åpningens bredde	1,20
Åpningens høyde	1,13

Beregninger av branneffekt

For beregninger er Enclosure fire dynamics [4] benyttet om ikke annet er nevnt.

Det tas utgangspunkt i å benytte parafin som brensel, i tillegg til paller. Ved beslutning av antall paller benyttet, bør det også oppnås balanse mellom variabel fukttilførsel i rommet (via paller) og brannenergi.

Branneffekt som følge av lufttilførsel

For beregning av mulig brannenergi som følge av mulig lufttilførsel tas det utgangspunkt i følgende ligninger:

$$\dot{Q} = \dot{m}_{O_2} \cdot \Delta H_{c,O_2} \quad [kW] \quad (2.3) \text{ (for kun oksygen)}$$

$$\dot{m}_{luft} = 0.5 \cdot A \cdot \sqrt{H_0} \quad [g/s] \quad (2.4)$$

$$\dot{m}_{luft} = \alpha \cdot \dot{m}_{O_2}$$

der det er behov for følgende verdier:

- massefraksjon oksygen (α) i luft: 0,23
- $\Delta H_{c,O_2}$: 12700 kJ/kg [12]

Beregning

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \dot{m}_{O_2} \cdot \Delta H_{c,O_2} = \alpha \cdot 0.5 \cdot A \cdot \sqrt{H_0} \cdot \Delta H_{c,O_2} = \\ &0,23 \cdot 0,5 \cdot (1,13 \cdot 1,20) \cdot \sqrt{1,13} \cdot 12700 \approx \underline{2105,23 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Branneffekt som følge av parafin i brenselskar

For beregning av mulig branneffekt som følge av parafin benyttes følgende ligninger:

$$\dot{Q} = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c \quad [kW] \quad (2.1)$$

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} \cdot (1 - e^{-k\beta D}) \quad [kg/sm^2]$$

$$A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{D}{2}\right)^2 \rightarrow D = \sqrt{\frac{4 \cdot A}{\pi}}$$

siste punkt er brenselskarets areal uttrykt i diameter. Andre punkt er potensiell massefluks som følge av brenselets egenskaper og overflatediameter. Følgelig er det behov for verdiene i tabell 2.

Tabell 2- Forbrenningsegenskaper ved parafin

Parafin	Verdi	Enhet
Maksimalverdi av massefluks (\dot{m}''_{∞})	0,039	[kg/m ² s]
Empiriske konstanter ($k\beta$)	3,5	[m ⁻¹]
Forbrenningsvarme (ΔH_c)	43200	[kJ/kg]
Forbrenningseffektivitet (χ)	0,7	[-]

Beregning

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 1}{\pi}} \approx 1,13 \text{ m}$$

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c = \chi \cdot \dot{m}''_{\infty} \cdot (1 - e^{-k\beta D}) \cdot A_f \cdot \Delta H_c = \\ &0,7 \cdot 0,039 \cdot (1 - e^{-3,5 \cdot 1,13 \text{ m}}) \cdot 1 \cdot 43200 \approx \underline{1156,76 \text{ kW}} \end{aligned}$$

Branneffekt som følge av paller

Det tas utgangspunkt i følgende:

- standard palledimensjoner: 1,2 m x 0,8 m x 0,144 m (L x B x H)
- spesifikk, statistisk branneffekt (overflateareal) til stabel med paller på 5 fot: 3970 kW/m²
- 1 ft = 0,3047 m → 1 pallehøyde = 0,47 ft

Beregning

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{palle} &= \dot{q}''_{pallestabel} \cdot A_{pall} = \dot{q}''_{pall} \cdot \frac{1 \text{ pall}}{\text{stabel}} \cdot A_{pall} \\ &= 3970 \cdot \frac{0,47}{5} \cdot 0,96 \approx \underline{373 \text{ kW/pall}}\end{aligned}$$

Oppsummert

Ved overstående utregninger kan det oppsummeres følgende:

- ved maksimal oksygenutnytting kan branneffekten bli: 2105,23 kW
- ved benyttelse av kun parafin kan branneffekten bli: 1156,76 kW
- hver ekstra standard pall kan gi branneffekt på: 373 kW/pall

For å oppnå ventilasjonskontrollert brann vil det derfor være nødvendig å benytte tre paller. Dette ble ansett for å kunne bidra til noe stor fuktvariasjon i brenselet. I tillegg kunne dette ha medført et noe stort palleforbruk dersom det var nok tid og ressurser ellers til å utføre mange forsøk. Uten paller ble branneffekten ansett som noe lav. Det ble derfor besluttet å utføre forsøk med:

- 2 paller i forsøk 1, 2 og 3
- 4 paller i forsøk 4 (større vind og dermed effekt)
- 2 paller i forsøk 5 (større vind og dermed effekt)

Av tørrbrenninger, testbranner og forsøksbranner ble det erfart at større vind bidrog til hurtigere brannvekst og større temperaturer. Å kvantifisere dette ekstra bidraget er svært utfordrende, på grunn av vindens uforutsigbarhet med tanke på retning og styrke (spesielt i kast).

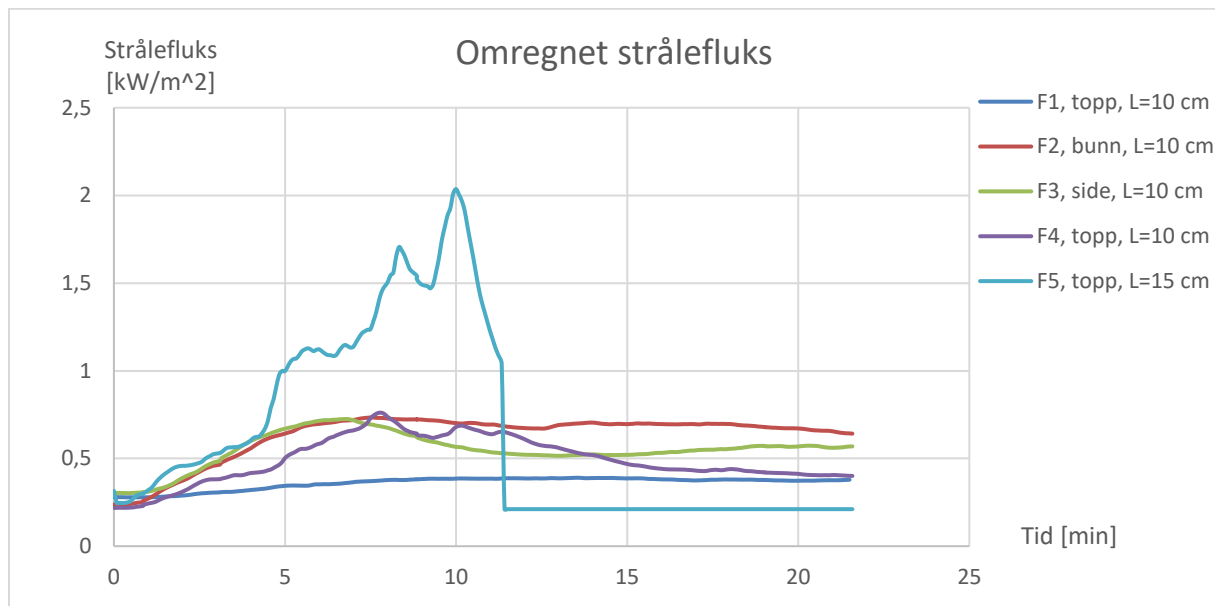
Forsøk 5 ble også utført med enkelte justeringer i plassering av brensel i forhold til forsøk 1, 2 og 3. Det ble helt parafin over pallene og disse ble hevet over brenselkaret for å sikre lufttilgang mellom paller og parafin. Med større vindhastigheter enn i forsøk 4, ble det derfor antatt hurtigere brannvekst, og temperaturer i hvert fall over de i de tre første forsøkene. Det ble også sett på som sannsynlig at temperaturene kunne være på nivå med forsøk 4.

10.3 Vedlegg C - Temperatur fra platetermometer omregnet til strålefluks

For å regne om temperaturer målt via platetermometer til strålefluks, må en rekke forenklinger utføres. Utrekningene er gjort via allerede forhåndsinnstilte ligninger i Excel-ark². Gyldighetsområdet til disse er ikke verifisert til bruk i forsøksoppsettet benyttet i denne oppgaven.

Temperatur målt av platetermometer er i figur 3 og 4 omregnet til strålefluks. Her er det konvektive bidraget trukket fra.

Emissiviteten forenkles og settes konstant og lik 0,95. Dette vil kunne være en konservativ tilnærming, men vil kunne endre det reelle forholdet mellom målingene. Dette ettersom røykarakteristikker mellom forsøker også var ulike.



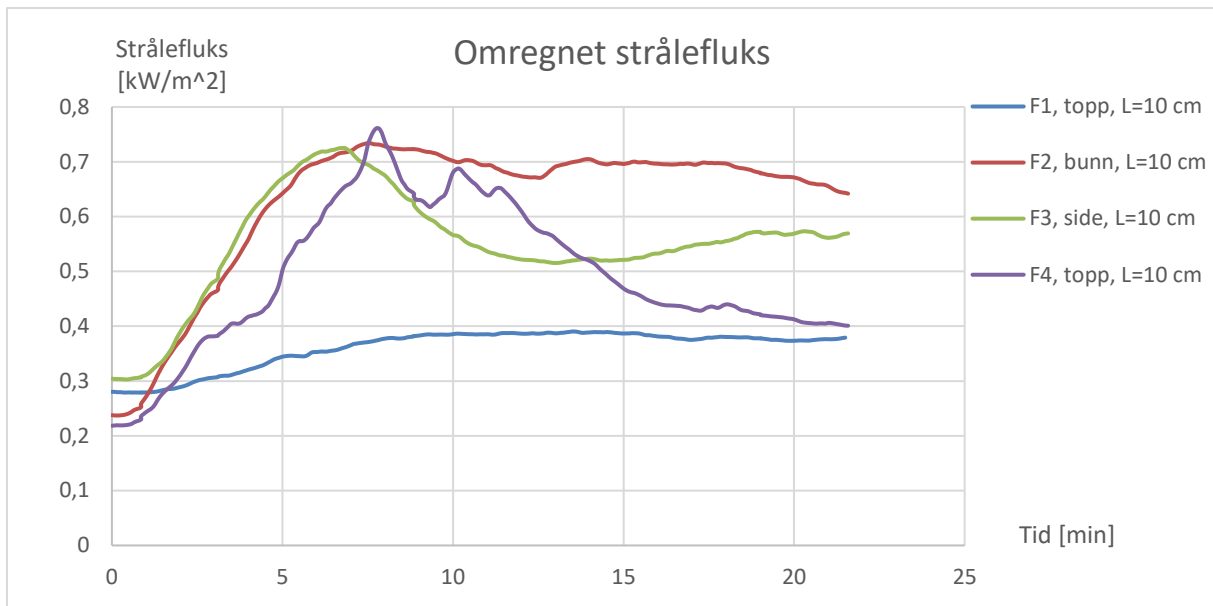
Figur 3 - Temperatur omregnet til strålefluks

Forskjellene mellom dette diagrammet og de i forbindelse med totalfluksmålerne er tydelige. Kurvene er langt mindre turbulente og fluksverdiene lavere.

Kurvene har lignende karakteristikk som de for platetermometer, foruten noe brattere stigning, og større relative differanse mellom forsøk 5 og resterende målinger. Dette har sammenheng med strålefluksens avhengighet av temperatur i fjerde.

Resultatene av de omregnede temperaturene tilsier at rømmende vil kunne ha god sikkerhetsmargin vedrørende stråling. Økt åpningsareal synes også å ha medvirkende rolle til økende strålefluks i rømningsvei, da strålefluks i forsøk 5, er langt større enn i de andre forsøkene.

²Beregningsark tilsendt fra Ulf Wickstörms via Arjen Kraaijeveld



Figur 4 – Temperatur omregnet til strålefluks, u, F5

For å tydeliggjøre forskjeller mellom forsøk 1 til 4, er figur 4 fremstilt uten strålefluksverdier i forsøk 5. Resultatene indikerer bedre forhold ved topphengsling en sidehengsling og bunnhengsling. Strålefluksverdier ved topphengsling, nærmer seg de verdier målt ved bunn- og sidehengsling, ved flammtemperaturdifferanse på rundt 200 °C ved fullt utviklet brann.

10.4 Vedlegg D - Forsøksplan

Tittel

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

Generell beskrivelse av forsøk

Det skal i hovedsak forsøkes å fremskaffe et erfaringsbasert grunnlag for muligheter vedrørende åpenhet i brannvinduer tilknyttet svalgang, og dens effekt på rømningsforhold i svalgangen. Der eventuelle vinduer må ha brannmotstand, må disse ikke kunne åpnes i normaltilstand (ihh. til VTEK10). Erfaringsgrunnlaget vil således være relevant der konflikt oppstår, nærmere bestemt, mellom krav om branncellebegrensende bygningsdeler i rømningsvei og lufting i boenheter. Dette kan medføre benyttelse av prosjektering med fraviksløsning.

Forsøket utføres **ikke** med reelle brannklassifiserte vinduer, men heller konstruksjoner i hovedsak bestående av gips. Denne forenklingen anses som mulig, da forskjeller i overflatenes (gipskonstruksjon og brannklassifisert vindu) hydrauliske og emitterende egenskaper, vil kunne være neglisjerbare.

I forsøksrom vil det forsøkes å skape en fullt utviklet brann ved hjelp av bensin (forvarming) parafin og paller.

Strålefluks anses for mest relevante parameter, og denne måles via totalfluksmålere innbygd i kasse (for å redusere andelen konvektiv varmetransport som følge av vindvariasjoner).

Mens forsøkene pågår vil andre observasjoner av interesse registreres.

Det skal også forsøkes å passere bak totalfluksmåler, så lenge dette anses som forsvarlig. Følt varme vil da noteres.

Forsøkene avsluttes når en av følgende punkter anses for inntrufne:

1. når forholdene «for rømning» blir så redusert at forsering av vindu anses som lite mulig eller svært farlig
2. etter omtrent 15 minutter med fullt utviklet brann i forsøksrom
3. dersom deler som er sentrale for resultatenes nytteverdi tar fyr tidlig i forsøket, og forsøket bør utføres på nytt

Avd./Disiplin

Utføres av Branningeniørstudenter fra Høgskolen på Vestlandet avd. Haugesund: Steffen Oliver Sæle, Kjell Andre Sangolt, Torbjørn Instebø Warhuus.

Oppdragsgiver er Firesafe med ekstern veileder: Stein Kyrre Kvinge.

Kontrolleres av: Arjen Kraaijeveld

Kontaktperson ved ResQ: Reinert Husveg

Beskrivelse av arbeidet

Det skal (i utgangspunktet) utføres flest mulig forsøk for å undersøke hvilke hengslingsposisjoner for vindu som kan føre til beste rømningsforhold forbi dette, når vinduet kan åpnes i normaltstand. Vinduet vil forbinde testrom og svalgang.

Innretning

Forsøkene vil foregå i et fullskala testrom bygget i Siporex. Fotografi av testrom i figur 1.

Tabell 3 - Romdimensjoner

	Utvendig [m]	Innvendig [m]
Rommets lengde	3,67	3,40
Rommets bredde	2,82	2,40
Rommets høyde	2,56	2,15
Ventilasjonsåpningens høyde	1,28	1,28
Ventilasjonsåpningens bredde	1,20	1,20



Bilde 1 - «Testrom», striplet rute på bilde tenkes tildekket for å hindre større røykevakuering ut fremside

Inne i testrommet plasseres et brenselskar i metall. Dette plasseres slik at det skulle kunne gå an å trekke en rett horisontal linje fra karetts midt (og dermed også flammens senterlinje) til vinduets midtpunkt og til fluksmåler.

Tabell 4 - Brenselskarets dimensjoner

Brenselskarets dimensjoner	[m]
Brenselskarets lengde og bredde	1,0
Brenselskarets høyde	0,15

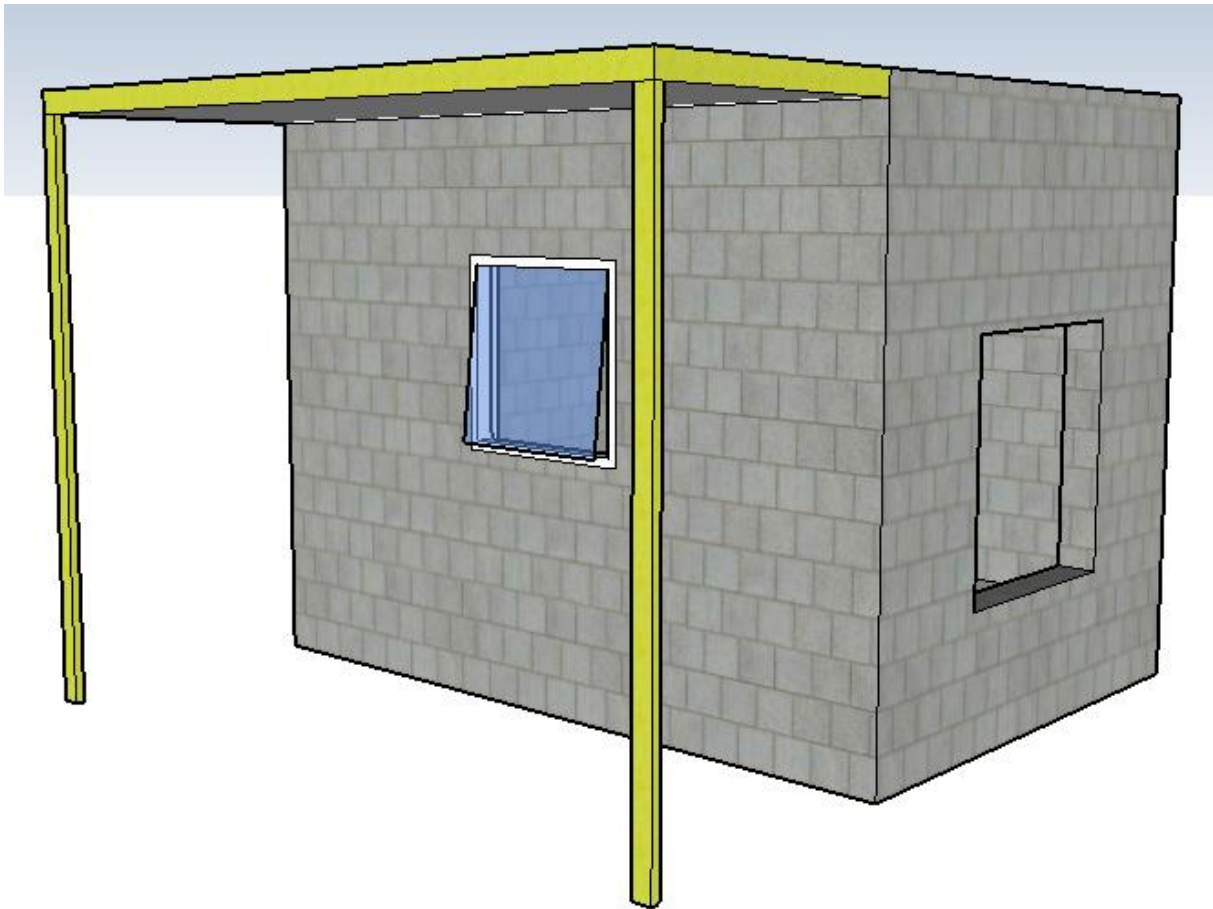
Mellom forsøkene vil det bli plassert en presentning over svalgang og testrom for å redusere fuktinntrengelse.

I vindusåpning (som ikke tiltenkes direkte testing) vil det bli festet en to-lags gipsplate isolert med steinull. Dette for å redusere røykevakuering og sikre forekomster av større temperaturer.

Tabell 5 - Vindusåpningens dimensjoner

Vinduets dimensjoner	[m]
Vindusåpningens lengde	1,0
Vindusåpningens bredde	1,0

Svalgangen bygges med horisontalt tak i gips og festes til stendere, 2''x4'' konstruksjonsvirke. Den bygges ut fra vegg slik at bredde i svalgang blir 1,5 m (tilsvarende universal utforming). Se figur 5.



Figur 5 – Oversiktsbilde, med svalgangskonstruksjon

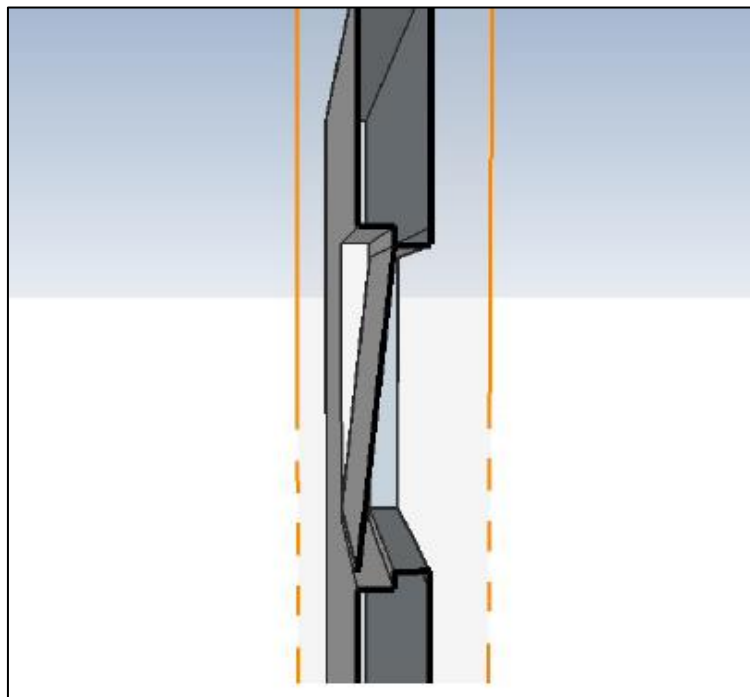
På venstre side av svalgangen (med perspektivet over), skal det også anordnes en plate. Dette for å hindre store røykstrømninger ut av forsøksområdet og inn svalgangen.



Bilde 2 - Testrommet sett fra siden hvor svalgang og vindu skal plasseres.

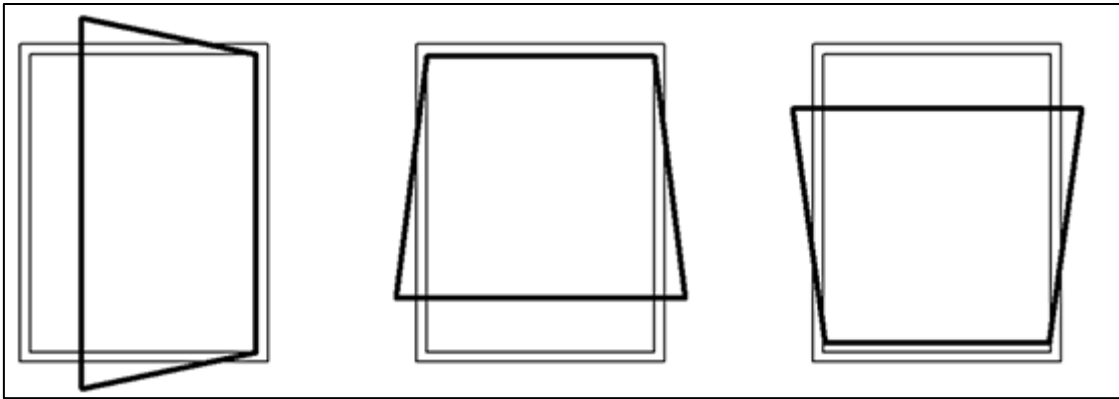
Plassering av vindusekvivalent gjøres ved innretning av karm (lekting) i tre (2''x4'' konstruksjonsvirke). Karmen kan byttes ut mellom forsøk dersom denne svekkes. Lekting utføres slik som illustrert i figur 6. Enkelte justeringer kan forekomme. Ønsket lysåpning på initierende forsøk er 10 cm, med ellers mest mulig lik utforming som reelt vindu.

Vinduet hengsles etter formål og festes med bladhengsler og avstives/sikres med opphengsbånd/hullbånd for ønsket lysåpning. Etter festing sjekkes innretning mot kraftpåvirkning i innover- og utover-retning, med påfølgende eventuell forsterking av feste.



Figur - 6 - Tverrsnitt av vinduskonstruksjonen

Nedenfor illustreres hengslingsmetoder for utprøving.



Figur 7 - De ulike hengslingene; side, topp og bunn. Bunnhengslet slår inn i rommet.

Målinger og målepunkter

Figur 8 viser omtrentlig plassering av måleutstyr. Figuren kan være noe misvisende i forhold til reell mulig plassering.

I utgangspunktet ser vi for oss følgende målinger og målepunkter:

- totalfluksmåler i avstand 1,1 m fra vindu. Plasseres i forhold til åpning og slik at synsfeltet vil bli dekket av røyk
- minst fem termoelementer langs med flammens senterlinje

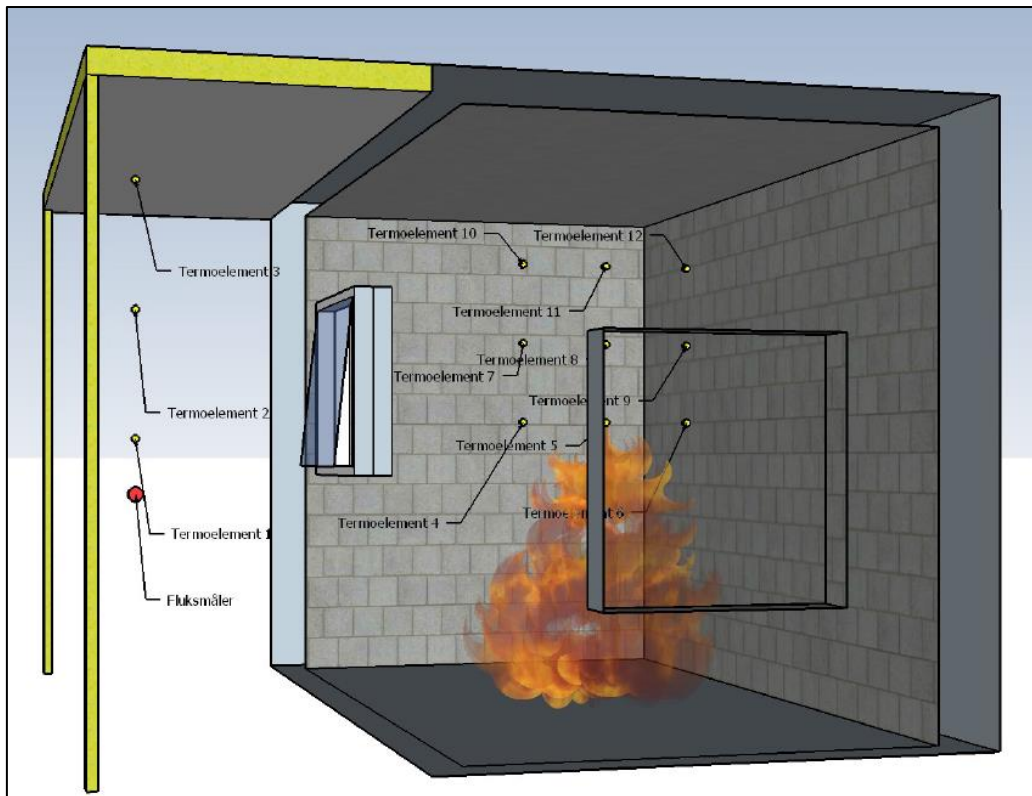
I tillegg kan det være aktuelt med:

- termoelementer langs rømningsretning
- fluksmålere langs rømningsretning (dersom vi har flere)

Observasjoner:

- det vil forsøkes å passere bak fluksmåler (så langt det anses som forsvarlig) i faste tidsintervaller, 1 gang pr. minutt. Se «Skjema for følt stråling ved passering av vindu».

I utgangspunktet vil det være ønskelig med så mye data som mulig. På den annen side kan databehandlingen være uforholdsmessig stor i forhold til oppnådd gevinst. Resultatet fra rapporten vil allikevel kunne bli gode erfaringer heller enn eksakte svar.



Figur 8 - Testrom med svalgang og måleapparater

Forsøksserie

Først utføres en testbrann for å redusere fuktinnhold i rommet. Dette for å få større kontroll på variabelen «fuktinnhold». I tillegg installeres termoelementer for å kunne anslå om disse fungerer som tiltenkt.

1. Topphengslet
2. Bunnhengslet (slår INN i rommet)
3. Sidehengslet
4. Nytt forsøk med det mest gunstige alternativ. Større åpning dersom mulig å passere, mindre hvis ikke.

Nødvendig tidsbruk

1. En dag til bygging og oppsett
 2. Et forsøk om dagen
- Med 100% sikkerhetsmargin vil tiltenkt tidsbruk være omtrent 10 dager.
 - Det kan nok hende vi får utført forsøkene langt raskere.
 - Tiltenkt startdato: mandag 13. februar

Utstysrliste

Bygg

1. Gipsplater, 2,4m x 1,2m 8stk
2. 2''x4'' konstruksjonsvirke 40Lm
3. Vinkelbeslag 105x105 6stk
4. Opphengsbånd/hullbånd
5. Skruer
6. Spiker
7. Fugeskum (brannsikert)
8. Bladhengsler
9. Sparkel
10. Brannsilikon
11. Takplater
12. Skiver til skruer

Tilvirkning

1. Hammer
2. Skrumaskin
3. Hansker/vinyl (for håndtering av skum)
4. Sag
5. Tommestokk
6. Målebånd min. 3m
7. Gipskniv
8. Blyant
9. Penn
10. Papir
11. Kalkulator (mobil)

Måleutstyr

1. 3 stk totalfluksmålere
2. Vindskjerm til totalfluksmålere
3. Drivstoffteller
4. 13 stk termoelementer
5. 2 stk kameraer (HD)
6. 2 stk webkameraer
7. Eventuelt glass til beskyttelse av kameraer
8. Vindmåler
9. Datalogger for termoelement og strålefluksmåler, Agilent 34970A
10. USB-minnepenn eller tilsvarende for sikring av data

Brensel

Utgangspunkt for utrekning:

- Brannen varer i 15 min.
- Vekstrate mellom rask og ultrarask (t^2 -brann)
- Metoden brukt stammer fra betraktninger fra McCaffrey, Quintiere, Harkleroad, vedrørende gasstemperaturer i ventilerte brannrom.

Behov:

1. 2 l bensin for forvarming per forsøk + testbrann -> totalt 10 l bensin
2. 70 l diesel for brensel per forsøk + testbrann -> totalt 350 l diesel
3. Tre (minst to) paller per forsøk + testbrann -> totalt 15 paller.

Dette gir røykklagstemperatur på nesten 500 grader C. Med litt tildekning i topp på det store holet på fremsiden av testrommet, vil dette kunne føre til overtenning.

NB: Testbrann trenger nok ikke så mye brensel. Mest sannsynlig vil det heller ikke være behov for så mye brensel for hvert forsøk. Dette har blant annet sammenheng med avslutning av forsøk når forholdet i svalgang anses for absolutt uforserlige. Det kommer sannsynligvis til å stå flammer ut av vinduet, ikke særlig lenge etter brannen er fullt utviklet.

Med denne mengden vil vi nok ha god margin.

Grunnet brenselskarets areal (1 m²) trenger vi minst to paller for å oppnå ventilasjonskontrollert branneffekt, i stedet for brenselkontrollert. Det er ønskelig å oppnå maksimal effekt (denne vil bli ca. 2,6 MW).

Diverse

1. Slokkeutstyr (1 stk. slangeutlegg med strålehode)
2. Verneutstyr: brannbekledning, brannhjelme og brannhansker

Utførelse

1. Sikkerhetsinstruks
2. Bygging. HUSK å ta flere bilder underveis! Dokumentasjon!
3. Tilkopling og testing av måleutstyr, datalogger, sikkerhetsutstyr og kameraer.
4. Gjennomgang av arbeidsoppgaver
5. Igangsetting av filming
6. Antennelse
7. Notering av observasjoner (i tillegg til videoregistrering)
8. Eventuelt koordinering av brenselstilførsel for ønsket temperatur
9. Avslutte forsøkene
10. Lagring og sikring av måledata
11. Nedrigging og rydding av utstyr

Sikkerhetsrutiner

- Innlogging ved oppmøte på ResQ
- Bekledning/sikkerhetsutstyr (hjelm, sko osv.)
- Utlegg av brannslange før forsøksstart (2 stk.)

Forutsetninger

- Krever kjennskap til sikkerhetsrutiner ved ResQ samt opplæring av bruk av utstyret
- En forutsetning for gode resultater vil være liten påvirkning av værforhold, som nedbør og vind.
- Forsøk må gjennomføres innenfor ResQ sine åpningstider

Materialliste

Følgende materialer ble brukt:

- 60 lm 2''x4'' trevirke
- 11 stk. gipsplater 240x12x13
- 6 stk. Bladhengsler
- 2 stk. brannsilikon
- 2 stk. brannhemmende fugeskum
- 6 stk. vinkelbesalg
- 5 stk. takplater i aluminium

For tilvirkning ble det brukt skurer, spikre, målebånd, skumpistol, tapetkniv og hullbånd.

Materialer i konstruksjon av svalgangen og vindusekvivalentene ble sponset av Montèr Haugesund.

3 gipsplater ble gitt av intern veileder.

10.5 Vedlegg E - Forsøkslogg

Logg av arbeid og forsøk ved ResQ

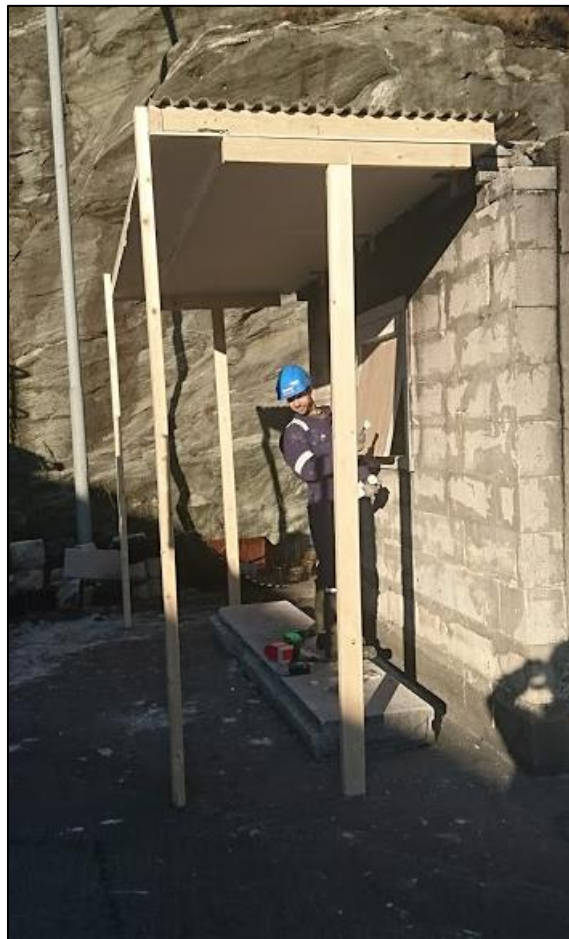
Fremdriften av forsøkene vil her bli presentert. Forsøkene ble gjennomført i løpet av tre dager fordelt over en lengre periode. Alle gruppens medlemmer var tilstede hver dag gruppen var på ResQ.

Dato: 26. Januar 2017

Hva ble gjort: Omvisning og gjennomgang av sikkerhetsrutiner ved ResQ med Arjen og to andre bachelorgrupper som også skulle utføre forsøk på ResQ.

Dato: 13-14. Februar 2017

Hva ble gjort: Svalgangskonstruksjonen ble bygget. Vinduskarmet ble satt inn, og det åpne ikke brukte vinduet ble tettet igjen.



Bilde 3 - Konstruksjon av svalgang

Dato: 21. Februar 2017

Hva ble gjort: En testbrann ble utført for å teste brannrommet. Denne brannen var en tenkt tørrbrenning til dagen etter.



Bilde 4 - Antennelse av testbrann

Dato: 23. Februar 2017

Hva ble gjort: Det ble med hjelp fra Arjen forklart montering av utstyr, oppsett og lagring av data. Det ble utført en tørrbrenning for å minske fuktinnholdet i konstruksjonen. Utstyr og kameraer ble montert og plassert. Forsøk 1 ble gjennomført. Plassen og brannrommet ble ryddet og klargjort for neste forsøk.



Bilde 5 - Oppkobling av måleutstyr

Dato: 24. Februar 2017

Hva ble gjort: Deler av vinduskarmen ble byttet ut. Tørrbrenning ble utført. Utstyr og kameraer ble monter og plassert. Forsøk 2 og 3 ble gjennomført. Mellom forsøkene ble deler av vinduskarmen byttet ut og platen på det tildekkede vinduet ble skiftet. Plassen og brannrommet ble ryddet og klargjort for forsøk 4 og 5.

Dato: 6. Mars 2017

Hva ble gjort: Vinduskarmen og platen på det tildekkede vinduet ble byttet ut. Utstyr og kameraer ble montert og plassert. Forsøk 4 og 5 ble gjennomført. Mellom forsøkene ble vinduskarmen og platen på det tildekkede vinduet byttet. Plassen og brannrommet ble ryddet, og klargjort for rivning.

Dato: 7. Mars 2017

Hva ble gjort: Konstruksjonen ble revet, plassen ble ryddet og utstyret ble overlevert neste bachelorgruppe.

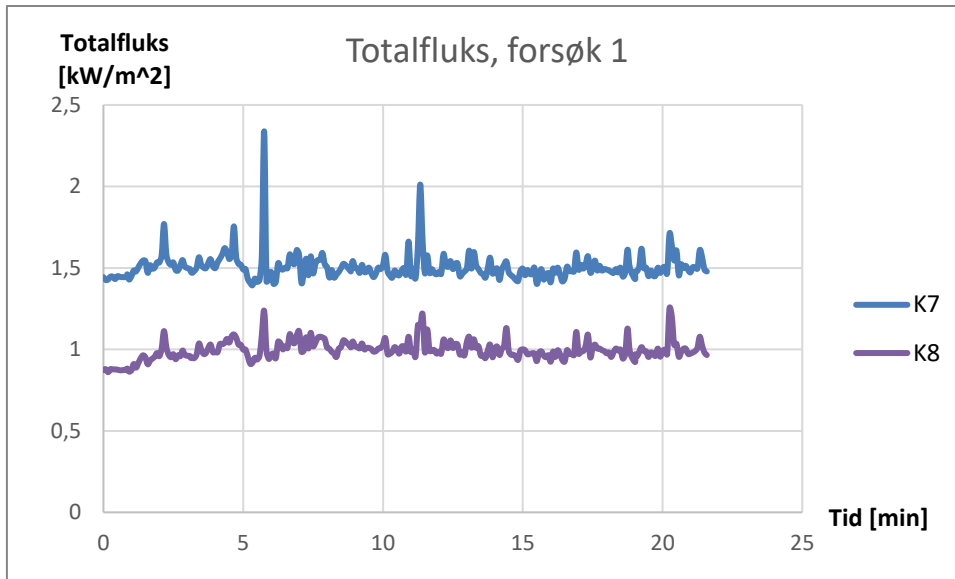
Som det kan ses fra loggen, er forsøkene spredd utover en periode på over en måned. Forskyvingene var et resultat av ønske om likest mulig værforhold. Med tanke på vind, ble det litt forskjeller på de forskjellige forsøksdagene. Været ellers var generelt veldig likt. Det var også to bomturer der været snudde idet vi ankom ResQ.

10.6 Vedlegg F - Tilleggsresultater

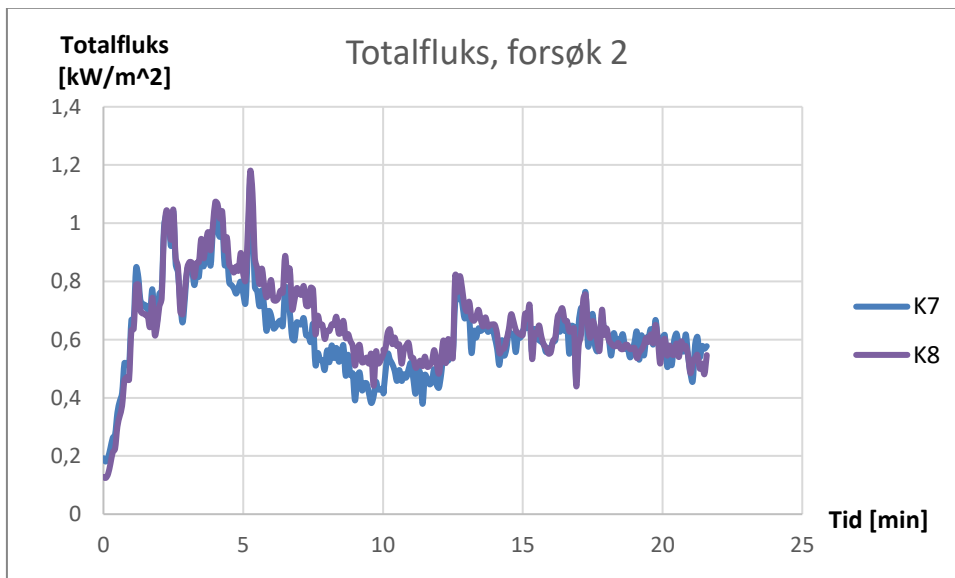
I dette vedlegget fremstilles deler av resultatene som ikke ble prioritert til plassering i hovedrapporten. Dette omfatter totalfluksmålinger gjort fra begge målere, og temperaturer målt fra termoelementer midt i forsøksrommet. I hovedrapporten er et gjennomsnitt tatt mellom totalfluksmålere og temperaturer i brannrommet er hentet fra utvalgte termoelementer, representative for område av interesse.

Totalfluks

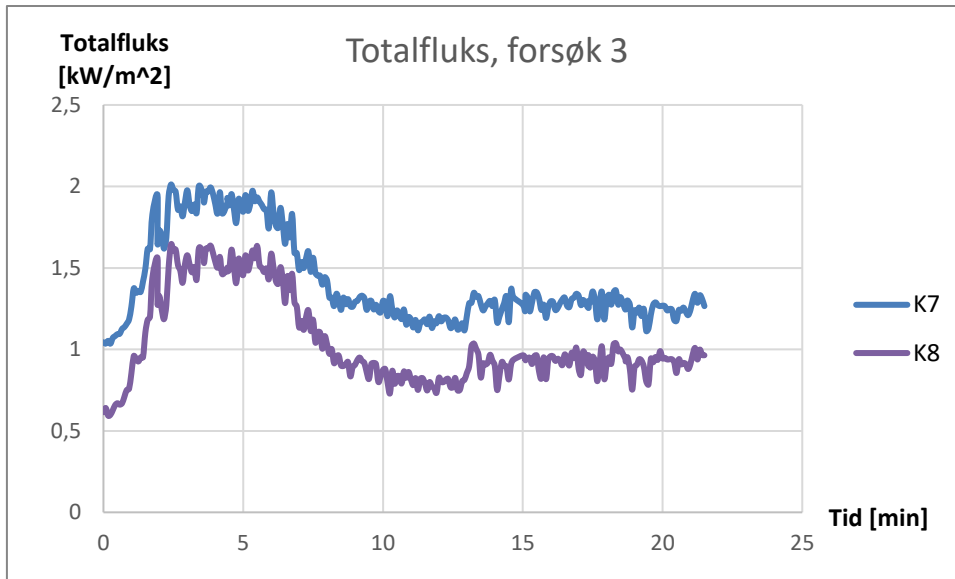
I diagrammene i dette kapitlet kan det ses at fluksvariansen mellom målere generelt sett ikke er særlig store. For å skape oversikt i hovedrapporten er det derfor valgt å benytte ett gjennomsnitt av disse verdiene, hvilket anses som å kunne representere målte totalfluksverdier på en god måte. Målinger beskrives ved målekanaler, henholdsvis K7 og K8. Mellom hvert forsøk varierer det hvilken av disse kanalene som fremstiller største verdier. Horisontal avstand mellom målerne var omtrent 2 cm.



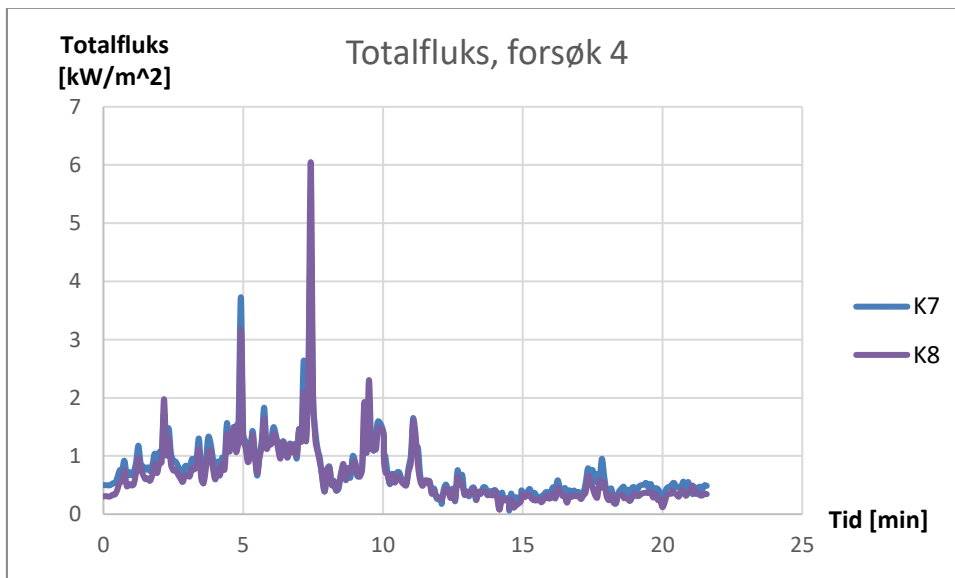
Figur 9 - Målte verdier fra begge kanaler for totalfluksmåler, F1



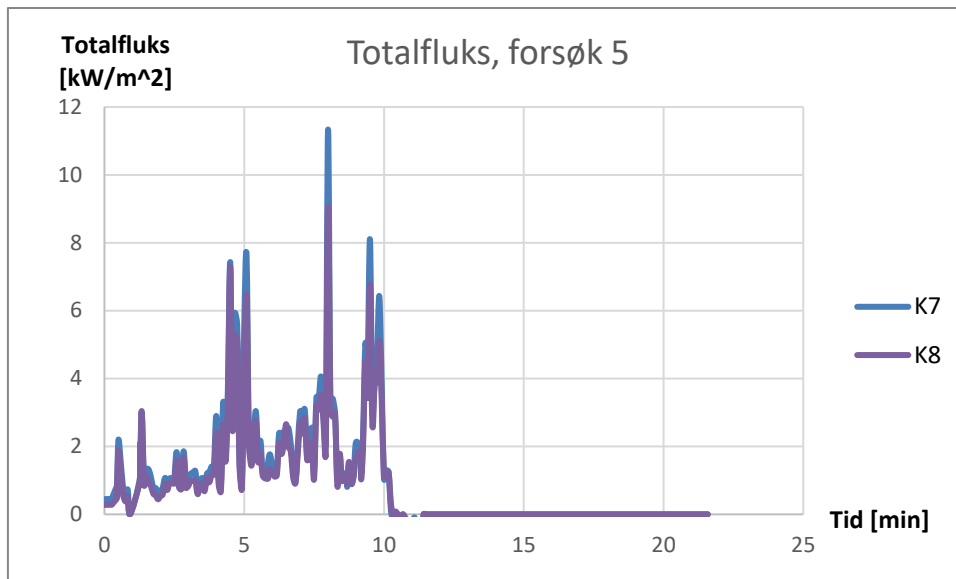
Figur 10 - Målte verdier fra begge kanaler for totalfluksmåler, F2



Figur 11 - Målte verdier fra begge kanaler for totalfluksmåler, F3



Figur 12 - Målte verdier fra begge kanaler for totalfluksmåler, F4

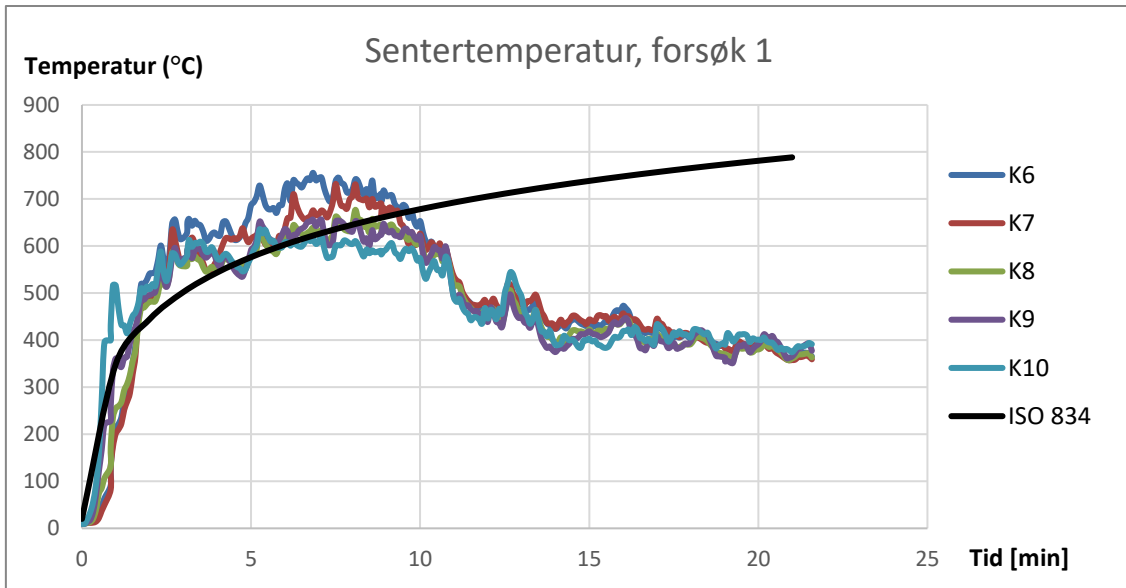


Figur 13 - Målte verdier fra begge kanaler for totalfluksmåler, F5

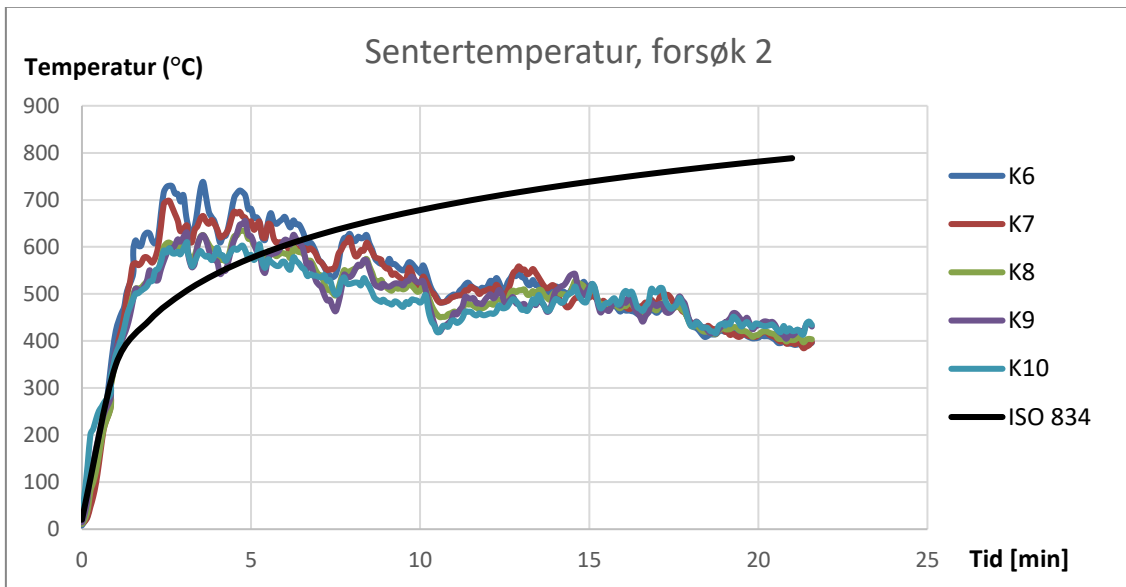
Flammetemperaturer i brannrom

Her illustreres temperaturer målt i senter av brannrommet. I forsøk 1,2 og 3, og forsøk 4 og 5, er brenselkaret orientert likt i forhold til målere. I forsøk 4 og 5 er karet plassert 30 cm nærmere bakre vegg i brannrommet, og avstanden til termoelementet øker tilsvarende. Kurvene benevnes også her etter kanaler, der K6 er plassert øverst, i samme høyde som øverste vinduskarm, og K10 er plassert nederst, i samme høyde som nederste vinduskarm. Innbyrdes avstand mellom målere er 15-20 cm. I tillegg til temperaturer fra termoelementer, fremstilles ISO 834 – kurven for sammenligning.

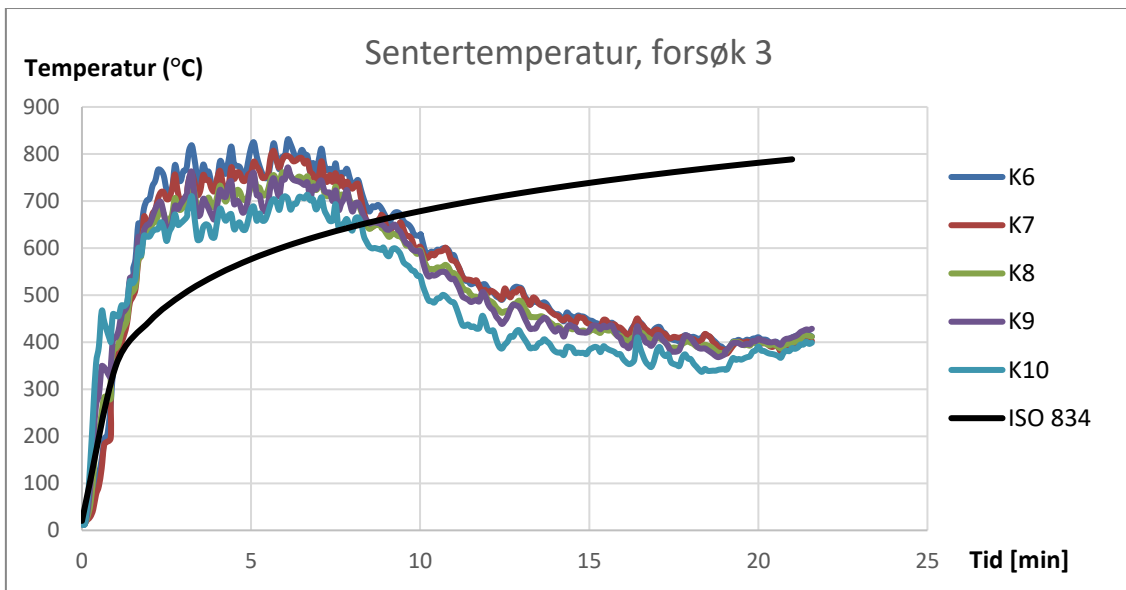
I forsøk 4 er temperaturene nederst, større enn de øverste. Det er observert at flammefronten nederst omslutter termoelementer i større grad. Når det observeres i forsøkene at paller knekker og faller i brenselkaret, omslutter flammene i det øverste sjiktet termoelementer i større grad, og temperaturene øverst blir størst.



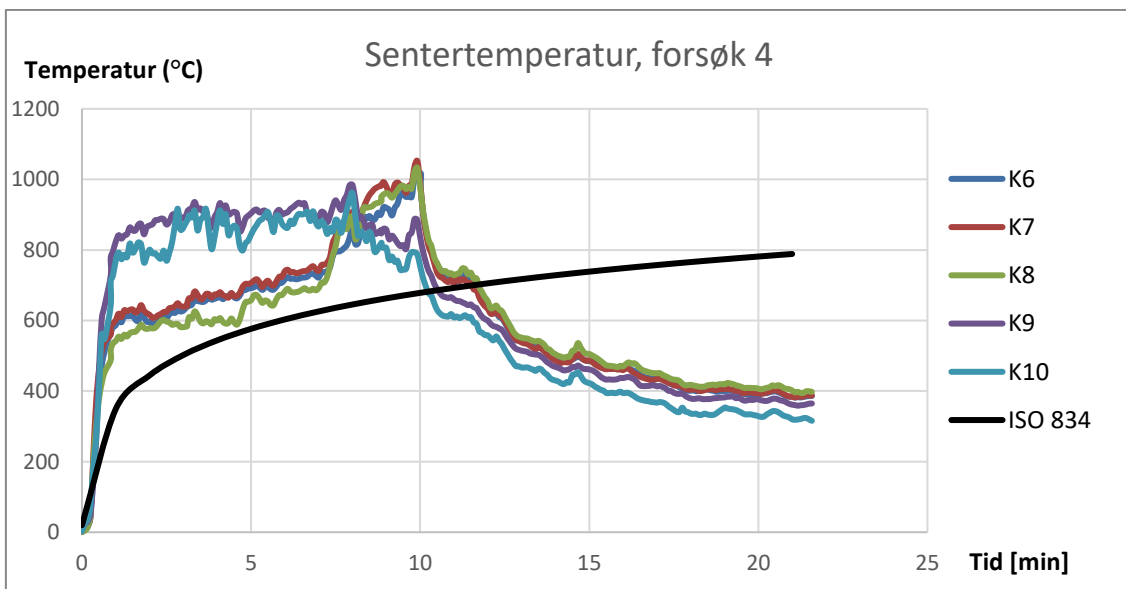
Figur 14 - Temperaturer målt i senter av brannrom, F1



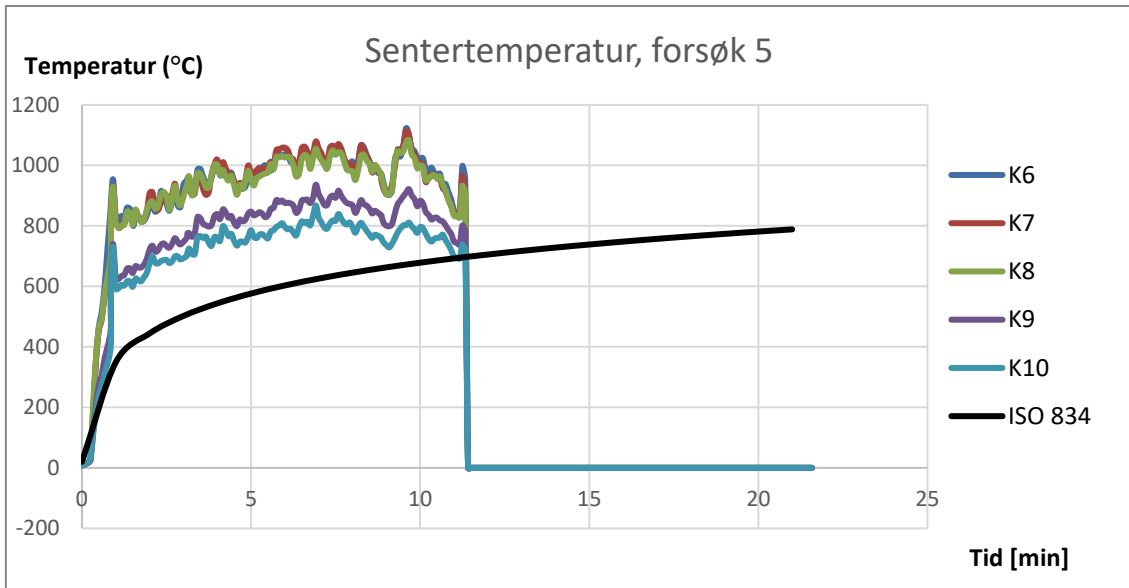
Figur 15 - Temperaturer målt i senter av brannrom, F2



Figur 16 – Temperaturer målt i senter av brannrom, F3



Figur 17 – Temperaturer målt i senter av brannrom, F4



Figur 18 – Temperatur målt i senter av brannrom, F5

Observasjoner

- I tabellene skal røyktykkelse forstås som den distansen fra taket i svalgang eller toppdelen av inngangen til forsøksrommet, ned til bunnen av røyklaget. Distansene er omtrentlige da røyktykkelsen er fluktuerende.
- Med brannspredning forstås hvilke deler av brenselet som på angitt tidspunkt er antent og bidrar nevneverdig til brannforløpet.
- Lengden på kontinuerlige flammer skal forstås som omtrentlige maksimale lengde. Flammelengden var generelt sett noe mindre enn denne lengden.

Tabell 6 - Observasjoner, forsøk 1

Tid [min:sek]	Røyktykkelse i svalgang [cm]	Røyktykkelse ut frontåpning [cm]	Røykfarge og tetthet	Brannspredning	Visuelle observasjoner vedr. svalgang
00:35	Ingen etablert	40-50	Mørk grå, moderat tetthet	Hovedsakelig parafin	-
02:00	10-40	50-65	Nesten svart, svært tett	Paller og parafin	-
03:05	10-50	45-55	Mørk grå, svært tett	Paller og parafin	Røykdykker: Ingen spesiell varme rett foran vindu
07:05	15-25	55-65	Mørk grå, svært tett	Paller og parafin	Kort stikkflamme fra øvre del av åpning.
08:35	25-35	35-40	Grå, noe tynnere	Paller og parafin	-
09:35	15-40	25-30	Lys grå, noe tynt	Paller og parafin	-
10:50	15-30	5-15	Nærmere hvit, nært transparent	Hovedsakelig paller	-
11:35	15-40	5-15	Nærmere hvit, noe tynt	Hovedsakelig paller	Røykdykker: Noe merkbar varme rett foran vindu
12:35	40-60	20-25	Grå, noe tynt	Hovedsakelig paller	-

Tabell 7 - Observasjoner, forsøk 2

Tid [min:sek]	Røyktykkelse i svalgang [cm]	Røyktykkelse ut frontåpning [cm]	Røykfarge og tetthet	Brannspredning	Visuelle observasjoner vedr. svalgang
01:05	20	30-50	Grå, lite tett	Parafin og paller	Flere stikkflammer <10cm
02:10	20-40	40-50	Grå, lite tett	Parafin og paller	Tilnærmet kontinuerlige flammer
02:35	25-35	50	Mørk grå, lite tett	Parafin og paller	Stikkflammer <20 cm
03:20	25-40	40-50	Mørk grå, lite tett	Parafin og paller	Røykdykker: Noe varmt rett foran vindu
03:50	25-40	40-50	Mørk grå, lite tett	Parafin og paller	Pulserende stikkflammer <20cm
05:20	20-35	40	Grå, mer transparent	Parafin og paller	Pulserende stikkflammer <20cm
07:20	10-25	30-45	Grå, nesten transparent	Parafin og paller	Enkelte stikkflammer <10cm
10:25	10-20	25-30	Grå, nesten transparent	Hovedsakelig paller	Kort stikkflamme
13:15	10-30	40-50	Grå, noe tettere	Hovedsakelig paller	Røykdykker: Merkbar varme rett foran vindu
15:20	10-20	40-50	Lys grå, mindre tett	Hovedsakelig paller	Kort stikkflamme
17:00	10-25	40-50	Lys grå, mindre tett	Nesten bare paller	Røykdykker: Redusert varme
19:50	10-20	40-60	Mørk grå, noe tett	Nesten bare paller	Stikkflamme ca 20 cm

Tabell 8 - Observasjoner, forsøk 3

Tid [min:sek]	Røyktykkelse i svalgang [cm]	Røyktykkelse ut frontåpning [cm]	Røykfarge og tetthet	Brannspredning	Visuelle observasjoner vedr. svalgang
01:45	10-30	50	Nesten svart, svært tett	Hovedsakelig parafin	Kontinuerlige flammer, <20 cm, i ca 20 s.
03:00	10-30	45-50	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Åpning redusert til 9 cm
03:20	10-30	45-50	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Stikkflamme ca 15 cm
					Røykdykker: Noe varmt i avstand 15 cm fra åpning
03:55	20-30	40-50	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Kort stikkflamme
04:15	15-30	40-50	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Kort stikkflamme
					Åpning redusert til ca 7 cm
04:35	15-25	40-50	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Stikkflamme, ca 10 cm
05:00	15-25	40-50	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Kort stikkflamme
05:20	10-15	40-50	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Åpning redusert ca 5 cm
05:50	5-10	40-50	Mørk grå, noe tynnere	Parafin og paller	Øvre del av åpning nesten lukket
06:45	0-5	25-35	Grå, svært tynt	Parafin og paller	-
09:55	10-15	Neglisjerbart	-	Hovedsakelig paller	Vinduet åpnet til ca 10 cm
16:55	15-20	10-15	Mørk grå, nesten transparent	Hovedsakelig paller	Stikkflamme
17:25	20-40	10-15	Mørk grå, nesten transparent	Hovedsakelig paller	Stikkflamme, ca. 10 cm
19:25	20-40	5-10	Grå, nesten transparent	Hovedsakelig paller	Fire stikkflammer <10 cm over ca. 30 s.
21:30	30-50	10-15	Mørk grå, nesten transparent	Hovedsakelig paller	Stikkflamme, ca. 10 cm
					Røykdykker: Større varme i avstand 10 cm fra åpning

Tabell 9 - Observasjoner, forsøk 4

Tid [min:sek]	Røyktykkelse i svalgang [cm]	Røyktykkelse ut frontåpning [cm]	Røykfarge og tetthet	Brannspredning	Visuelle observasjoner vedr. svalgang
00:20	30-40	25-35	Mørk grå, Moderat tetthet	Parafin og bensin	Stikkflamme <10cm
01:00	40-50	30-40	Svart røyk, Høy tetthet	Parafin og paller	Kontinuerlig flamme <15s, <20cm
02:20	45-55	35-45	Grå røyk, tett	Paller og parafin	Kontinuerlig flamme <10s, <15cm
03:30	25-35	20-30	Svart røyk, moderat tetthet	Parafin og paller	Fluktuerende røkkoppsamling i svalgang
05:05	30-40	25-35	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Kontinuerlig flamme, <5s, <25cm. Mye røyk
05:45	30-35	30-40	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Røykdykker: Varme ved vindusåpning
06:40	25-35	30-40	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Jevn oppsamling av røyk
07:25	50-60	35-45	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Økning i røykansamling i svalgang
08:55	30-40	35-45	Grå, tett	Parafin og paller	Reduksjon i røkkoppsamling
09:50	45-55	40-50	Mørk grå, tett	Paller og parafin	Stikkflamme, <20cm, økning i røkkoppsamling
10:45	30-40	30-40	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Røykdykker: Varme ved åpning, men mulig å passere
11:00	25-35	20-30	Lys/mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Forskjeller i røykfarge ut vindu og frontåpning
12:30	15-25	10-20	Lys grå, liten tetthet	Hovedsakelig Paller	Jevn, mindre produksjon av røyk
14.30	15-25	10-20	Lys grå, Liten tetthet	Hovedsakelig Paller	Jevn røykproduksjon
16:00	20-30	10-20	Lys grå, Liten tetthet	Hovedsakelig Paller	Røykdykker: Ok forhold nær vindusåpning
16:05	20-30	10-20	Lys grå, moderat tetthet	Hovedsakelig Paller	Liten økning i røykproduksjon.

Tabell 10 - Observasjoner, forsøk 5

Tid [min:sek]	Røyktykkelse i svalgang [cm]	Røyktykkelse ut frontåpning [cm]	Røykfarge og tetthet	Brannspredning	Visuelle observasjoner vedr. svalgang
00:35	20-30	25-35	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og bensin	Større røykproduksjon
01:15	40-50	30-40	Mørk grå, tett	Parafin og paller	Kontinuerlige flammer, <10s, <35cm
02:20	40-50	25-35	Mørk grå, moderat tetthet	Parafin og paller	Røykdykker: Ubehagelig varme ved vindusåpning, reduseres raskt. Mye vind.
03:30	45-55	25-35	Grå, moderat tetthet	Paller og parafin	Turbulent røyk. Kontinuerlige flammer, <10s, <60cm
04:45	55-65	35-45	Mørk grå, tett	Paller og parafin	Kraftig røykproduksjon. Kontinuerlige flammer, <15s, <50cm
06:00	40-50	25-35	Lys grå, moderat tetthet	Paller og parafin	Kontinuerlige flammer, <10s, <40cm
07:35	95-105	20-30	Mørk grå, tett	Paller og parafin	Pulserende flamme, <15s, <45cm
08:20	35-45	25-35	Grå, moderat tetthet	Paller og parafin	Overgang til mindre røykproduksjon
09:50	65-70	20-30	Mørk grå, tett	Paller og parafin	Mindre røyk, men mer pulserende
10:10	20-30	15-25	Lys grå, lav tetthet	Paller og parafin	Forsøk avsluttes

10.7 Vedlegg G - Datablader totalfluksmålere



Hukseflux Thermal Sensors
URL: www.hukseflux.com
E-mail: info@hukseflux.com
The Netherlands

Certificate of calibration

Type: SBG01-10 Heat Flux Sensor
Serial Number: 1015

Calibration Date: 06-06-2008
Sensitivity: 0.578 mV·m²/kW
Resistance: 25.6 Ohm
Remarks:
Performed by: K.K. van den Berg

Connections

White sensor +
Black sensor -



Hukseflux Thermal Sensors
URL: www.hukseflux.com
E-mail: info@hukseflux.com
The Netherlands

Certificate of calibration

Type: SBG01-20
Serial Number: 1320

Calibration Date: 19-09-2011
Sensitivity: 0.343 mV·m²/kW
Resistance: 28.2 Ohm
Remarks:
Performed by: W.J.B. Fokke

Connections:

White sensor +
Black sensor -

The SBG01 is calibrated relative to a reference sensor of type 64-20SB-20, which is traceable to NIST. The comparison is made in a side-by-side comparison under a high-intensity lamp.

Overall uncertainty statement according to ISO: estimated to be within +/- 3 %, based on a standard uncertainty multiplied by a coverage factor of $k = 2$, providing a level of confidence of 95%. Application-related errors should be added to this error.

Signed:

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'WJB Fokke'.