



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Egenskaper til 3-lagsvinduer ved brannpåkjenning



Bachelorprosjekt utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Brannteknikk

Av: Christer Rake
Joacim Skogseide
Pål Ruud

Kand.nr.20
Kand.nr.1
Kand.nr.13

Haugesund

Våren 2016



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

FIRESAFE /

BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn: Pål Ruud
Joacim Skogseide
Christer Rake

Linje & studieretning Brannteknikk

Oppgavens tittel: *Egenskaper til 3-lagsvinduer ved
brannpåkjenning*

Oppgavetekst:

Kravene til vindusglass har økt betraktelig de siste årene. Fra 01.01.2016 satt veiledningen til byggteknisk forskrift krav til U-verdi på vinduer i småhus og boligblokk $\leq 0,8$. Kravet fører til at vinduer nå i all hovedsak vil være 3-lags. I følge Firesafe AS foreligger det i dag lite litteratur på hvordan vinduer med et ulikt antall lag glass oppfører seg ved brannpåkjenning.

Denne oppgaven tar for seg å teste og sammenligne egenskapene til to- og trelags vinduer ved brannpåkjenning. Dette blir gjort ved testing i fullskala, med en brannpåkjenning opp mot en fullt utviklet brann.

Endelig oppgave gitt: Onsdag 2.mars 2016

Innleveringsfrist: Onsdag 4.mai 2016 kl. 12.00

Intern veileder

Hans Jørgen Dahl, Høgskolen Stord/Haugesund

Ekstern veileder

Stein Kyrre Kvinge, Firesafe AS

**Godkjent av
studieansvarlig:
Dato:**

J. E. Lund
15/4-16



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Høgskolen Stord/Haugesund

Studie for ingeniørfag

Bjørnsonsgt. 45

5528 HAUGESUND

Tlf. nr. 52 70 26 00

Faks nr. 52 70 26 01

| | | |
|----------------------------------------------------------------------|------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Oppgavens tittel Egenskaper til 3-lagsvinduer ved brannpåkjenning | | Rapportnummer (Fylles ikke ut) |
| Utført av Christer Rake, Joacim Skogseide og Pål Ruud | | |
| Linje Sikkerhet, Brannteknikk | | Studieretning Ingeniør, Brann |
| Gradering Åpen | Innlevert dato 04.05.2016 | Veiledere Professor Hans Jørgen Dahl Senioringeniør Stein Kyrre Kvinge (Firesafe) |

Ekstrakt

Hovedformålet med denne oppgaven er å teste og sammenligne egenskapene til to- og trelagsvinduer ved brannpåkjenning. Det har blitt utført to brannforsøk i fullskala, og totalt er det benyttet fire vinduer til forsøkene.

Brannforsøkene gir indikasjoner på at vinduer med tre lag glass kan holde lenger enn vinduer med to lag, men resultatene tilsier samtidig at bruk av trelagsvinduer i bygg ikke vil utgjøre særlige branntekniske forskjeller.

Sammendrag

Som en avslutning på en treårig bachelorutdanning, tar denne oppgaven for seg å teste og sammenligne egenskapene til to- og trelags vinduer ved brannpåkjenning. Dette har blitt gjort ved brannforsøk i fullskala, med en brannpåkjenning tilnærmet en ISO 834 kurve. Forsøkene ble gjennomført på ResQ Sikkerhetscenter utenfor Haugesund. Oppgaven er et samarbeid mellom tre branningeniørstudenter ved Høgskolen Stord/Haugesund.

Bakgrunnen for å velge og teste vinduer med et ulikt antall glass er at kravene til U-verdi i vindusglass har økt betraktelig de siste årene. Kravet til lavere U-verdi fører til at vinduer nå i all hovedsak er 3-lags. I den forbindelse var det ønskelig å undersøke hvordan et ekstra lag glass påvirker brannegenskapene til vinduet.

Totalt ble det utført to forsøk, hvor det ble brukt to vinduer, henholdsvis ett tolags og ett trelags vindu i hvert forsøk. Det ble registrert temperatur i brannrommet, samt gjort registrering av stråling 1,1 meter fra utsiden av vinduene.

Brannforsøkene indikerer at et 3-lags vindu kan ha en noe høyere brannmotstand enn et tolags vindu, men at forskjellen er liten ettersom at glassene knuser fortløpende lag for lag. Differansen i tid før to- og trelags vinduene knuste var over seks minutter ved en brann som var litt mildere enn en ISO 834 brann, mens den kun var på 35 sekunder ved et strengere brannforløp. Det ble registrert lave stråleverdier på utsiden av vinduene før de knuste, og dette gav en indikasjon på at det vil være mulig å passere nært vinduene i tiden før de sprekker. Faktorer som branneffekt, fuktinnhold, temperatur eller ulikheter i glassene kan ha påvirket resultatene i de to forsøkene, noe som fremkommer ved to ulike brannforløp.

Selv om resultatene gir indikasjoner på at vinduer med tre lag glass kan holde lenger enn vinduer med to lag, konkluderes det med at bruk av trelags vinduer i bygg ikke vil utgjøre særlige branntekniske forskjeller.

Forord

Som en avslutning på en treårig bachelorgrad i Brannsikkerhet ved Høgskolen Stord/Haugesund skrives denne oppgaven. Problemstillingen til oppgaven ble presentert av Firesafe v/Stein Kyrre Kvinge, da Firesafe ønsket mer kunnskap om hvordan vinduer med et ulikt antall lag glass oppfører seg ved brannpåkjenning. Samarbeidet med Firesafe startet i november 2015, og endelig oppgavetekst ble først fastsatt i februar 2016.

Det var et sterkt ønske å velge en oppgave der det var mulig å knytte den treårige opparbeidede teoretiske kunnskapen med praktiske utfordringer og løsninger. Branntesting av vinduer har vært tidkrevende ved at det måtte tilegnes kunnskap fra andre bransjer rundt selve utførelsen (byggebransjen og murerbransjen). I tillegg har koordinering med annet arbeid utført av ResQ på samme arbeidsfelt og organisering i form av transport vært en utfordring.

For at oppgaven kunne gjennomføres har det vært flere viktige bidragsytere som har deltatt og gjort det mulig. Vi ønsker å gi en spesielt stor takk til høskolelektor Arjen Kraaijeveld v/HSH for all hjelp til refleksjon rundt planlegging, og til selve utførelse av forsøkene på ResQ. Deretter vil vi takke våre veiledere Professor Hans Jørgen Dahl v/HSH og senioringeniør Stein Kyrre Kvinge v/Firesafe for å ha vært gode diskusjonspartnere. Takk til førsteamanuensis Bjarne Christian Hagen v/HSH for faglig dyktig tilbakemeldinger og høskolelektor Gisle Kleppe. Videre vil vi takke Gilje for å bistå med vinduer, Byggmakker Storkaas AS og Bygg & Industriverktøy AS for bistand av festemateriell, ResQ for å stille et forsøksrom til disposisjon, og til slutt observatørene under forsøkene Amalie Tryggestad Kløcker og Alina Bondarenko.

Ordforklaringer

Aggregattilstand: *"Stoffer har tre aggregattilstander eller faser: fast fase, væskefase og gassfase"* (1)

Antennelsestemperatur: *"Den laveste temperatur der et materiale antennes og oppnår vedvarende forbrenning under angitte prøvebetingelser"*. (1)

BRA: Bygningens oppvarmede bruksareal

Brannforløp: *"Brannens utvikling fra antennelse til den har sloknet eller har blitt sloknet"*. (1)

Brannklasse (BKL): *"Klasse for byggverk ut fra den konsekvens en brann kan innebære for skade på liv, helse, samfunnsmessige interesser og miljø. Rangeres fra 1-4 hvor 4 er den høyeste."* (1)

Branncellebegrensende bygningsdel: 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. (2)

Brannenergi: *"Summen av varmemengde som frigis ved forbrenning av alle faste og mobile brennbare materier i et område."* (1)

Brenselstyrt forbrenning: *"Brann hvor tilgangen på brensel og brenselets egenskaper er bestemmende for brannens videre utvikling."* (1)

Eksotermisk reaksjon: *"Kjemisk reaksjon som avgir varme"* (1)

Flammepunkt: *"Den laveste temperatur der et materiale eller produkt avgir tilstrekkelig brennbar gass til å antennes momentant ved eksponering for flamme ved angitte prøvingsbetingelser."* (1)

Fordampningsvarme: *"Varmeenergi som kreves for å endre en masseenheter av et materiale fra kondensert fase til gassfase ved en gitt temperatur"* (1)

Funksjonskrav: *"Overordnet målsetting eller oppgave som skal oppfylles. Et funksjonskrav vil vanligvis være angitt kvalitativt. Kan gjelde byggverk som helhet eller bygningsdeler, installasjoner og utearealer."* (1)

ISO: International Organization of Standardization



Kalorimeter: Apparat til måling av varme eller temperaturforandringer. Fra slike målinger kan forskjellige termodynamiske parametere for prøven beregnes som entalpi- eller entropiforandringer.

Konduksjon: *"Transport av varmeenergi i stoffer."* (1)

Konveksjon: *"Transport av varmeenergi når væsker eller gasser strømmer."* (1)

Konvektiv varmefluks: *"Effekt per arealenhet, avgitt eller mottatt i form av konveksjon."* (1)

Massefluks: *"Massetap fra et prøvestykke/brennbar væske per tidsenhet og areal ved spesifiserte betingelser. Typisk enhet er gram/ m²s"* (1)

Massetapsrate: *"Massetap fra et prøvestykke/brennbar væske per tidsenhet ved spesifiserte betingelser. Typisk enhet er gram per sekund (g/s)."* (1)

NDVK: Norsk dør og vinduskontroll

Nedre brennbarhetsgrense: *"Laveste konsentrasjon av brennbar gass/ damp i luft som er tilstrekkelig for antennelse med etterfølgende flammeutbredelse gjennom blandingen uten tilførsel av energi utenfra"* (1)

NS-EN: Norsk og europeisk standard

Omhyllningsflate: *"Summen av de innvendige arealene, inklusive åpninger, som omhyller"* (1)

Overtenning: *"Overgang til en tilstand der alle overflater på brennbare materialer i et rom deltar i en brann."* (1)

Preakseptert ytelse: *"Ytelse angitt av myndighet som vil oppfylle, eller bidra til å oppfylle ett eller flere funksjonskrav."* (1)

Pyrolyse: *"Irreversibel kjemisk spalting av et stoff, ved påvirkning av varme."* (1)

Seksjoneringsvegg: *"Innvendig vegg mellom brannseksjoner med tilstrekkelig brannmotstand til å hindre at en brann sprer seg."* (1)

Selvantennelse: *"Antennelse av et stoff uten tilførsel av varme utenfra (selvoppvarming)"* (1)

SJA: Sikker jobbanalyse



Spesifikk varmekapasitet: "Varmekapasitet per masseenhet" (1)

Spontanantennelse: "Antennelse av et stoff med tilførsel av varme utenfra, men uten tennkilde." (1)

Standardbrann: "Brannutvikling som følger en definert temperaturutvikling over tid i henhold til en anerkjent standard" (1)

Støkiometrisk forbrenning: "Forbrenning der ekvivalensforholdet er lik 1". (1)

Synsfaktor: "Den andel av varmestrålingen som forlater et objekt og som treffer et annet objekt". (1)

TEK 10: Byggteknisk forskrift fra 2010.

Temperaturgradient: Endring i temperatur per lengdeenhet.

Termisk konduktivitet: "Varmeledningsevne" (1)

Termoelement: Benyttes til temperaturmåling, og er en elektrisk leder bestående av tre sammenføyede metalltråder. (3).

Totalfluksmåler: "Summen av konvektiv varmekraft og varmestrålingsfluks". (1)

Varmefluks: "Mengde varmeenergi avgitt, transmittert eller mottatt per arealenhed og per tidsenhet. Enheten er som oftest gitt i kilowatt per kvadratmeter (kW/m^2).". (1)

Varmeledning: "Transport av varmeenergi i stoffer." (1)

Varmekapasitet: "Mengden varmeenergi som kreves for å øke temperaturen til et objekt med en kelvin". (1)

Varmestråling: "Overføring av varme ved elektromagnetisk stråling" (1)

Varmestrålingsfluks: "Effekt per arealenhed, avgitt eller mottatt i form av varmestråling. Enheten er watt per kvadratmeter (W/m^2)". (1)

Ventilasjonsstyrt brann: "Brann hvor tilgangen på luft er bestemmende for brannens videre utvikling" (1)



VTEK 10: Veiledning for byggt teknisk forskrift fra 2010

Øvre brennbarhetsgrense: *"Den høyeste konsentrasjon av brennbar gass/ damp i luft som er mulig for antennelse med etterfølgende flammeutbredelse gjennom blandingen uten tilførsel av energi utenfra." (1)*

Åpningsfaktor: *"Forholdet mellom åpninger i et rom og rommets omhyllingsflate." (1)*

Symbolliste

| Symbol | Beskrivelse | Enhet |
|------------------------|---------------------------------------------|---------------------|
| A_0 : | Åpningsfaktor | $[m^{0.5}]$ |
| A_f : | Brenselets overflateareal | $[m^2]$ |
| A_T : | Omhyllingsflate | $[m^2]$ |
| $^{\circ}C$: | Grader Celsius | |
| C_p : | Spesifikk varmekapasitet ved konstant trykk | $[J/KgK], [J/molK]$ |
| C_v : | Spesifikk varmekapasitet ved konstant volum | $[J/KgK], [J/molK]$ |
| d : | Diameter | $[m]$ |
| ε : | Emissivitet [faktor mellom 0 og 1] | |
| h : | Konveksjonsfaktor | $[W/m^{20}C]$ |
| H_0 : | Høyde døråpning | $[m]$ |
| ΔH_c : | Forbrenningsvarme | $[kJ/g]$ |
| ΔH_f : | Formasjonsvarme | $[kJ/mol]$ |
| $\kappa\beta$: | Lysreduksjonsmål | $[m^{-1}]$ |
| K : | Kelvin | |
| L_v : | Fordampningsvarme | $[J/kg]$ |
| \dot{m} : | Massetapsrate | $[g/s]$ |
| \dot{m}'' : | Massefluks | $[kg/sm^2]$ |
| \dot{m}''_{∞} : | Maksimal massefluks | $[kg/sm^2]$ |
| \dot{q} : | Varmestrøm | $[W]$ |
| \dot{q}'' : | Varmefluks | $[W/m^2]$ |
| Q | Total energi eller varmemengde | $[J]$ |
| \dot{Q}_c : | Varmeproduksjon | $[kW]$ |
| r : | Radius | $[m]$ |
| R_T : | Total varmemotstand | $[m^2K/W]$ |
| t : | Tid | $[sekund]$ |
| ΔT : | Temperaturforskjell | |
| ρ : | Tetthet | $[kg/m^3]$ |
| T : | Temperatur | $[^{\circ}C], [K]$ |



| | | |
|---------------|----------------------------------------|----------------------------------------|
| T' : | Referansetemperatur | [°C] |
| T_0 : | Målt temperatur | [°C] |
| T_g : | Temperatur på varme gasser | [°C], [K] |
| ΔU : | Tillegg pga. utforming, utførelse m.m. | |
| Vol %: | Konsentrasjon | |
| χ : | Forbrenningseffektivitet | |
| λ : | Luftoverskuddstall | |
| σ : | Stefan-Boltzmanns konstant | $5,669 \cdot 10^{-8} \frac{W}{m^2K^4}$ |
| ϕ : | Synsfaktor | |



Innhold

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|
| Ekstrakt..... | i |
| Sammendrag | ii |
| Forord..... | iii |
| Ordforklaringer | iv |
| Symbolliste | viii |
| Figurliste..... | xiii |
| Tabelliste..... | xiv |
| Bildeliste..... | xv |
| 1. Innledning | 1 |
| 1.1 Bakgrunn..... | 1 |
| 1.2 Formål og mål..... | 1 |
| 1.3 Begrensninger | 1 |
| 2. Teori og regelverk | 3 |
| 2.1 Brannkjemi..... | 3 |
| 2.2 Brannodynamikk..... | 7 |
| 2.3 Rombrann | 8 |
| 2.3.1 Antennelse..... | 8 |
| 2.3.2 Vekstfase | 8 |
| 2.3.3 Fullt utviklet brann..... | 8 |
| 2.3.4 Utbrenningsfasen | 9 |
| 2.4 Standardbrann..... | 9 |
| 2.5 Varmetransport som følge av brann | 10 |
| 2.5.1 Konveksjon..... | 10 |
| 2.5.2 Varmeledning..... | 10 |
| 2.5.3 Synsfaktor..... | 11 |
| 2.5.4 Varmestråling | 11 |
| 2.5.5 Virkning av varmestråling på mennesker..... | 12 |
| 2.6 Standardisert (ISO 9705) forsøksrom..... | 14 |
| 2.7 Egenskaper til vindusglass | 15 |
| 2.7.1 Varmetekniske egenskaper..... | 15 |
| 2.7.2 Termiske spenninger | 15 |
| 2.7.3 Isolerende egenskaper energiruter..... | 16 |
| 2.7.4 Brannmotstand i vinduer | 17 |
| 2.7.5 Klassifisering av vinduer | 18 |
| 2.7.6 U-verdi | 19 |
| 2.8 Brannspredning via fasader..... | 20 |
| 2.8.1 Brannspredning via innvendig hjørne..... | 20 |
| 2.8.2 Brannspredning fra et vindu til vinduer i etasjen over | 20 |
| 2.8.3 Horisontal brannspredning via undersiden av brennbare balkonger, svalganger eller takutstikk..... | 21 |
| 2.8.4 Brannspredning via innglassede balkonger..... | 21 |
| 2.9 Byggteknisk forskrift – Sikkerhet ved brann..... | 22 |
| 2.10 Måleinstrumenter | 24 |
| 2.10.1 Termoelement..... | 24 |



| | |
|-------------------------------------------------|-----------|
| 2.10.2 Platetermoelement..... | 24 |
| 2.10.3 Strålefluksmåler | 25 |
| 3. Utstyr, metode og gjennomføring | 26 |
| 3.1 Forsøksrom | 26 |
| 3.2 Oversikt over forsøksområde..... | 27 |
| 3.3 ResQ Sikkerhetscenter | 28 |
| 3.4 Utstyr og materiale..... | 28 |
| 3.5 Forberedende arbeid..... | 29 |
| 3.5.1 Montering av vinduer | 30 |
| 3.5.2 Plassering av måleutstyr | 33 |
| 3.5.3 Brenselkar | 36 |
| 3.5.4 Brensel | 36 |
| 3.5.5 Kamera..... | 38 |
| 3.5.6 Vindmåling..... | 38 |
| 3.5.7 Datalogger Agilent 34970A..... | 39 |
| 3.5.8 Skyvemekanisme for gipsplater | 39 |
| 3.5.9 Observatører | 40 |
| 3.5.10 Øvrig utstyr | 40 |
| 3.6 Gjennomføring..... | 40 |
| 4. Resultat..... | 41 |
| 4.1 Brannforsøk 1 | 41 |
| 4.1.1 Vær og vind | 41 |
| 4.1.2 Brensel..... | 41 |
| 4.1.3 Observasjoner..... | 41 |
| 4.1.4 Røyklagshøyde..... | 42 |
| 4.1.5 Temperatur..... | 42 |
| 4.1.6 Strålefluks..... | 44 |
| 4.1.7 Platetermoelement..... | 45 |
| 4.2 Brannforsøk 2 | 46 |
| 4.2.1 Vær og vind | 46 |
| 4.2.2 Brensel..... | 46 |
| 4.2.3 Observasjoner..... | 46 |
| 4.2.4 Røyklagshøyde..... | 47 |
| 4.2.5 Temperatur..... | 47 |
| 4.2.6 Strålefluks..... | 47 |
| 5. Diskusjon | 49 |
| 5.1 Egenskapene til vinduene..... | 49 |
| 5.2 Brannforløpet..... | 49 |
| 5.3 Stråling..... | 49 |
| 5.4 Vær og vind..... | 50 |
| 5.5 Brensel..... | 50 |
| 5.6 Feilkilder | 51 |
| 5.6.1 Platetermoelementene..... | 51 |
| 5.6.2 Øvrige feilkilder | 52 |
| 6. Konklusjon | 53 |
| 7. Forslag til videre studier | 54 |
| 8. Kilder..... | 55 |



| | |
|-------------------------------------------------------|-----------|
| 9. Vedlegg | 57 |
| Vedlegg A - Beregninger..... | 57 |
| Vedlegg B - Opprigging av vinduer..... | 59 |
| Vedlegg C - Loggføring av arbeid på ResQ | 60 |
| Vedlegg D - Sikkerjobbanalyse (SJA)..... | 67 |
| Vedlegg E - Observatørskjema..... | 72 |
| Vedlegg F - Data fra forsøk..... | 76 |
| Vedlegg G - HMS datablad..... | 79 |

Figurliste

| | |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figur 1 - Brennbarhetsgrenser som en funksjon av brennbarhetsgrenser og temperatur (5) | 6 |
| Figur 2 - Faser i en rombrann (9) | 8 |
| Figur 3 - ISO 834 kurve (11)..... | 9 |
| Figur 4 - Energitransport (9) | 10 |
| Figur 5 - Varmeledning gjennom et fast stoff (6) | 11 |
| Figur 6 - Røykfylling av rom (9)..... | 12 |
| Figur 7 - Varmestråling fra røyklag (11)..... | 12 |
| Figur 8 - Personskader ved eksponering av ulik varmefluks (14)..... | 13 |
| Figur 9 - Dimensjoner på et ISO 9705 rom..... | 14 |
| Figur 10 - Termiske spenninger i glass (16) | 16 |
| Figur 11 - Tverrsnitt av 3- lagsvindu (18)..... | 16 |
| Figur 12 - Brannvindu (19)..... | 17 |
| Figur 13 - Brannvindu før og etter branneeksponering (19)..... | 18 |
| Figur 14 - Brannspredning i innvendig hjørne (25) | 20 |
| Figur 15 - Brannspredning gjennom vindu til fasaden (25)..... | 21 |
| Figur 16 - Brannspredning på undersiden av utspring (25) | 21 |
| Figur 17 - Geografisk plassering av ResQ Sikkerhetssenter..... | 28 |
| Figur 18 - Vinduenes plassering i forsøksrommet | 30 |
| Figur 19 - Montering av vinduer | 30 |
| Figur 20 - Plassering av termoelement 1/3..... | 34 |
| Figur 21 - Plassering av termoelement 2/3..... | 35 |
| Figur 22 - Plassering av termoelement 3/3..... | 35 |

Tabelliste

| | |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabell 1 - Egenskaper for Diesel..... | 3 |
| Tabell 2 - Brennbarhetsgrenser for diesel (8)..... | 6 |
| Tabell 3 - Virkning av strålefluks (9)..... | 13 |
| Tabell 4 - Dimensjoner på et ISO 9705 rom | 14 |
| Tabell 5 - Varmetekniske egenskaper til glass (16) | 15 |
| Tabell 6 - Utvikling av U-verdi for vinduer (24) | 20 |
| Tabell 7 - Nødvendig brannmotstand til vinduer i branncellebegrensende yttervegg. (Ytelser hentet fra VTEK 10)..... | 24 |
| Tabell 8 - Dimensjoner på forsøksrom benyttet i denne oppgaven..... | 26 |
| Tabell 9 - Oversikt over brenselforbruk i brannforsøk | 37 |
| Tabell 10 - Vær og vind - forsøk 1 | 41 |
| Tabell 11 - Visuelle observasjoner for 2-lags vindu | 41 |
| Tabell 12 - Visuelle observasjoner for 3-lags vindu | 42 |
| Tabell 13 - Røyklagshøyde - forsøk 1 | 42 |
| Tabell 14 - Grafen viser romtemperaturen målt av 4 termoelementer midt i rommet. | 43 |
| Tabell 15 - Målt strålefluks 1,1 meter fra utsiden av vinduet (0 - 12 kW/m ²)..... | 44 |
| Tabell 16 - Målt strålefluks i ekspandert skala (0 – 50 kW/m ²) | 44 |
| Tabell 17 - Vær og vind - forsøk 2..... | 46 |
| Tabell 18 - Visuelle observasjoner for 2-lags vindu | 46 |
| Tabell 19 - Visuelle observasjoner for 3-lags vindu | 46 |
| Tabell 20 - Røyklagshøyde - forsøk 2 | 47 |
| Tabell 21 - Grafen viser romtemperaturen målt av 4 termoelementer midt i rommet | 47 |
| Tabell 22 - Målt strålefluks 1,1 meter fra utsiden av vinduet | 48 |

Bildeliste

| | |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Bilde 2 - Brannspredning via innglasset balkong (26)..... | 22 |
| Bilde 3 - Totalfluksmåleren er til venstre i bildet, gitt som den røde måleren. Platetermoelementet ligger til høyre | 25 |
| Bilde 4 - Oversiktsbilde over forsøksområde..... | 27 |
| Bilde 5 - Forankring av vinduer | 31 |
| Bilde 6 - Dytting av steinull | 31 |
| Bilde 7 - Påføring av ekspanderende brannskum..... | 32 |
| Bilde 8 - Gipskledning rundt karm..... | 32 |
| Bilde 9 - Totalfluksmåler | 33 |
| Bilde 10 - Platetermoelement..... | 34 |
| Bilde 11 - Plassering av termoelement..... | 35 |
| Bilde 12 - Brenselkar..... | 36 |
| Bilde 13 - Plassering av paller over brenselkar 1/2..... | 37 |
| Bilde 14 - Plassering av paller over brenselkar 2/2..... | 37 |
| Bilde 15 - Vindmåler..... | 38 |
| Bilde 16 - Datalogger | 39 |
| Bilde 17 - Skyvemekanisme for gipsplater | 39 |
| Bilde 18 - Observatører | 40 |

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Dagens samfunn står over store utfordringer med tanke på miljø og energibruk. Menneskene er ansvarlig for store utslipp, utarming av essensielle naturressurser (fossilt brensel) og miljøbelastninger knyttet til utvinning av energi. Byggsektoren alene er ansvarlig for over 40% av energibruken i samfunnet. Tiltak gjort av norske myndigheter for å redusere energibruken er å integrere miljøhensyn og miljøtiltak i eksisterende lover og forskrifter som regulerer ulike aktiviteter i samfunnet. De norske forskriftskravene mot 2020 forventes å ha en trinnvis innstramning for nybygg og totalrehabilitering, der formålet er et såkalt ”nullenergibygg”. Av større energireduserende tiltak har EUs bygningsenergidirektiv stilt krav til at nasjonale bestemmelser revideres hvert femte år. Et av de nylige energitiltakene gjort i byggsektoren er å øke kravene til energiutslipp i bygningsdelen vindu. Fra 01.01.2016 satt veiledningen til byggt teknisk forskrift krav til U-verdi på vinduer i småhus og boligblokk $\leq 0,8 \text{ W/m}^2 \text{ K}$. Kravet fører til at vinduer nå i all hovedsak vil være 3-lags. (4)

1.2 Formål og mål

Det er interessant å finne ut om de økte energikravene også har en innvirkning på brannegenskapene til vinduer. Formålet med denne oppgaven er å teste og sammenligne egenskapene til to- og trelags vinduer ved brannpåkjenning.

For å oppnå det ønskede formålet ble det satt et mål om å gjennomføre to fullskala brannforsøk i et forsøksrom, tilnærmet et ISO 9705 rom. Vinduene skulle utsettes for en brannpåkjenning tilnærmet en ISO 834 brannkurve.

1.3 Begrensninger

Begrensningene for gjennomføring av denne oppgaven var tid, økonomi og at forsøksforholdene var uforutsigbare (utendørs). Den endelige oppgaveteksten ble satt først i februar. Fra februar til 04.mai 2016 var da tidsrommet oppgaven skulle utformes. I samme tidsrom var det flere hendelser som tok plass som:

- Innhenting av forsøksmateriell
- Planlegging av forsøk
- Utføring av forsøk

Av økonomiske begrensninger var det kostnaden på vinduer som merket seg spesielt ettersom at vinduer er kostbare. Gilje bistod med fire vinduer til denne oppgaven og gjorde dermed at forsøkene ble gjennomførbare.

Brannforsøkene ble utført i et fuktig forsøksrom utendørs, på ResQ Sikkerhetssenter. Det var ikke mulig å gjennomføre to forsøk med likt fuktighetsnivå i forsøksrommene i og med at



værforholdene var skiftende. Datoene for forsøksdagene ble satt på bakgrunn av værmeldingene.

2. Teori og regelverk

2.1 Brannkjemi

Forsøkene i denne oppgaven er gjennomført med diesel som primærbrensel. Når man skal gjøre beregninger må man gå til litteraturen for å finne verdier for brenselet. Å finne eksakte verdier for diesel i litteraturen er vanskelig fordi de kjemiske forbindelsene til diesel varierer fra leverandør til leverandør. Det er derfor gjort en antagelse om at diesel har tilnærmede egenskaper som gjelder for gjennomsnittet av de fire tyngre stoffene Benzen, Xylen, Heptan og Hexan (se tabell 1). Verdiene for disse tre stoffene er hentet fra DiNenno et al. (5), tabell 3-1.21. For å finne en tilnærmet verdi for den effektive forbrenningsvarmen ($\Delta H_{c\text{ luft}}$) til diesel, er det gjort et gjennomsnitt av de fire stoffene c-Hexan, n-Octan, n-Pentan og n-Butan. Verdiene for disse fire stoffene er hentet fra Drysdale (6), tabell 1.13. (7), (6), (5)

Diesel (8)

- Kjemisk gruppe: Petroleums produkt
- Tetthet: 767,25 [kg/m³]
- ΔH_c : -42,55 [MJ/kg]
- Flammepunkt: Over 55 [°C]
- Antennelsestemperatur: 220 [°C]

| Material | Tetthet [kg/m ³] | ΔH_c [MJ/kg] | $\Delta H_{c\text{ luft}}$ [kJ/g(luft)] | \dot{m}_∞ [kg/m ² s] | $\kappa\beta$ [m ⁻¹] |
|---------------|---------------------------------|-------------------------|--------------------------------------------|-------------------------------------------|-------------------------------------|
| Benzene | 874 | 40,10 | - | 0,085 | 2,700 |
| Xylen | 870 | 40,80 | - | 0,090 | 1,400 |
| Heptan | 675 | 44,60 | - | 0,101 | 1,100 |
| Hexan | 650 | 44,70 | 2,97 | 0,074 | 1,900 |
| Octan | - | - | 2,97 | - | - |
| Pentan | - | - | 2,97 | - | - |
| Butan | - | - | 2,97 | - | - |
| Diesel | 767,25 | 42,55 | 2,97 | 0,0875 | 1,775 |

Tabell 1 - Egenskaper for Diesel

En brann kan utvikles på tre ulike måter ved at den enten slukker, brenner konstant eller vokser. Brannutvikling styres av tre ulike forbrenningsforhold: (9)

- Støkiometrisk forbrenning
- Brenselstyrt forbrenning
- Ventilasjonstyrt forbrenning

Luftoverskuddstall [λ]

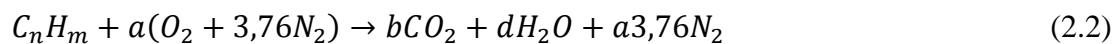
Luftoverskuddstallet beskriver hvor mye luft som er tilstede i en forbrenning.

$$\lambda = \frac{\text{luftmengde}}{\text{støkiometrisk luftmengde}} \quad (2.1)$$

Støkiometrisk forbrenning ($\lambda = 0$)

Ved en støkiometrisk forbrenning vil alt oksygenet bli brukt opp i reaksjonen, og produktene som dannes er CO_2 og H_2O .

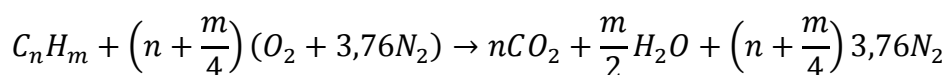
En generell støkiometrisk reaksjonslikning: (1), (9)



$$C_{\text{atomer}}: \quad n = b \quad \Rightarrow \quad b = n$$

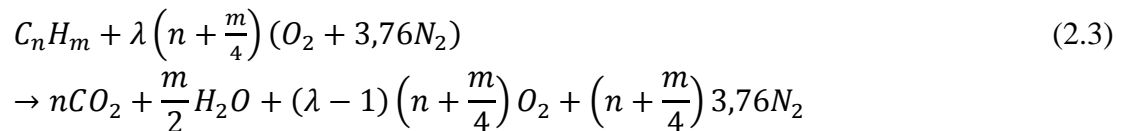
$$H_{\text{atomer}}: \quad m = 2d \quad \Rightarrow \quad d = \frac{m}{2}$$

$$O_{\text{atomer}}: \quad 2a = 2b + d \quad \Rightarrow \quad a = n + \frac{m}{4}$$



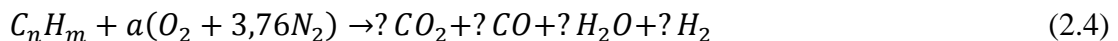
Brenselstyrt brann ($\lambda > 1$)

I en brenselstyrt forbrenning vil tilgang på brensel og brenselets egenskaper være de begrensende faktorene for forbrenningens videre utvikling. Forbrenningen har tilstrekkelig tilgang på luft og har høy nok temperatur. Oksygen vil her være en del av produktene. En generell brenselkontrollert reaksjonslikning: (1), (9)

**Ventilasjonsstyrt brann ($\lambda < 1$)**

En forbrenning hvor tilgang på luft er en begrensende faktor for forbrenningens videre utvikling. Tilgangen på brensel er tilstrekkelig og temperaturen er høy nok. Ved begrenset tilgang på luft vil det oppstå en ufullstendig forbrenning som danner produkter som uforbrente hydrokarboner og karbonmonoksid (CO), en luktfri, som er giftig ettersom den fortrenger oksygenet fra hemoglobinet i de røde blodcellene og danner karboksyhemoglobin (COHb) som reduserer oksygentilførselen til vevene og hemmer åndedrettet (10).

En generell ventilasjonskontrollert reaksjonslikning:



Denne type forbrenning kan ikke løses teoretisk, kun ved forsøk. (1), (9)

Spesifikk varmekapasitet

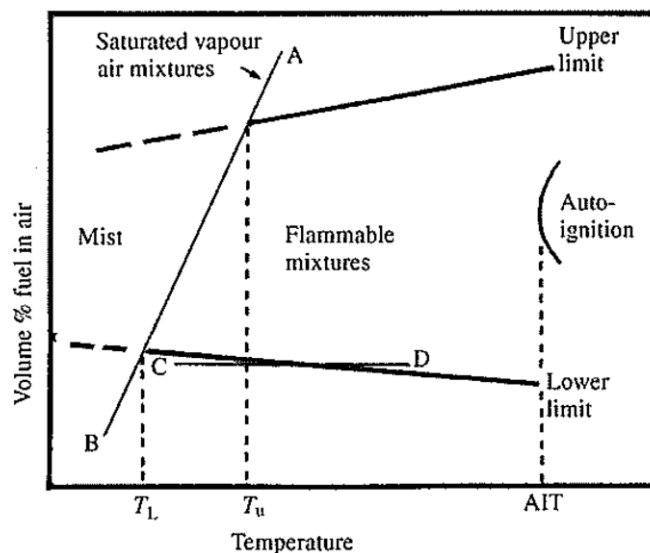
Den spesifikke varmekapasiteten til et materiale eller gass er mengden energi som kreves for å øke temperaturen til materialet med en kelvin [K]. En typisk enhet brukt for spesifikk varmekapasitet er [J/KgK] eller [J/molK]. Den spesifikke varmekapasiteten varierer under ulike forhold. Ved konstant trykk uttrykkes spesifikk varmekapasitet (C_p), og ved konstant volum (C_v). (1), (5)

Fordampningsvarme

Fordampningsvarme (L_v) er den mengde varmeenergi som kreves for å endre tilstanden til et materiale fra kondensert fase til gassfase. (1) (9)

Brennbarhetsgrenser

Brennbarhetsgrensene beskriver avgrensningene til en konsentrasjon av en gitt gass, for at gassen skal være brennbar. I tillegg til konsentrasjonen [Vol %] er også temperaturen [°C] et parameter for at gassen skal kunne brenne. Figur 1 viser forholdet mellom temperatur og konsentrasjon for en brennbar blanding, og at en økt temperatur øker brennbarhetsgrensene til en gass av en gitt gass/luft blanding. Auto-ignition i Figur 1 viser punktet hvor en luft-gass blanding spontanantenner.



Figur 1 - Brennbarhetsgrenser som en funksjon av brennbarhetsgrenser og temperatur (5)

| Nedre brennbarhetsgrense | | Øvre brennbarhetsgrense | |
|--------------------------|------------------|-------------------------|------------------|
| [Vol %] | g/m ³ | [Vol %] | g/m ³ |
| 1 | - | 6 | - |

Tabell 2 - Brennbarhetsgrenser for diesel (8)

Tabell 2 viser at ved en temperatur på 0 [°C] og en konsentrasjon av diesel i gassfase på mellom 1-6 [Vol %], vil blandingen være brennbar.

2.2 Brannodynamikk

Massetapsrate

For at en forbrenning av et fast stoff eller væske skal forekomme, må det faste stoffet/væsken omgjøres til gass. Prosessen med å omgjøre et brensel til gass har sammenheng med brenselets evne til å varmes opp til kokepunktet og fordampe (C_p og L_v). Hvilken størrelse arealet av brenseloverflaten har, type brensel og om brenselet blir påvirket av en ytre stråling har og innvirkning på hvor mye gass som fordamper. Denne prosessen kalles for massetapsrate (1). Massetapsraten (\dot{m}) har enhet [g/s]. Beregninger av massetapsrate per areal går under navnet massefluks (\dot{m}''), og har enheten [g/sm^2].

(9)

Varmeproduksjon

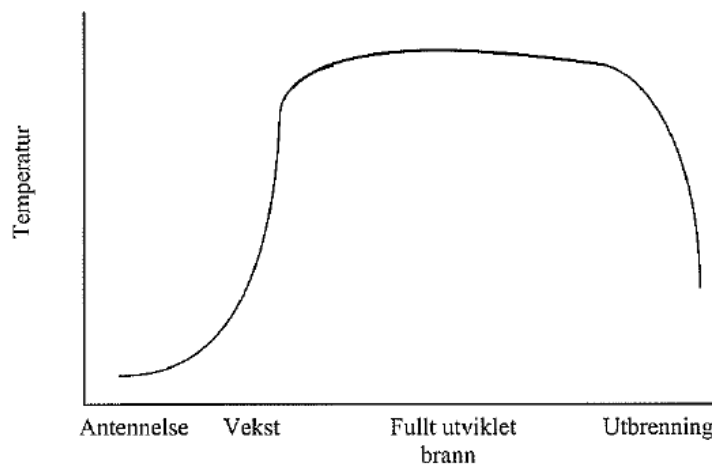
Energi (Q) vil bli frigjort i en forbrenningsprosess. Avhengig av typen materiale og materialets effektive forbrenningsvarme (ΔH_c) bestemmes mengden energi som blir avgitt. Ut fra formasjonsvarme (ΔH_f) eller oksygenforbruk kan man bestemme forbrenningsvarmen, som oftest oppgis i [kJ/g] eller [kJ/mol]. Å regne forbrenningsvarmen til et brensel kan være tidkrevende dersom det er flere reaktanter og produkter i forbrenningsprosessen. Derfor er det gjort en del studier som har tatt i bruk kalorimetri til å finne forbrenningsvarmen. Formelen for varmeproduksjon per tidsenhet (rate of heat release) er:

$$\dot{Q}_c = \chi \cdot \dot{m}'' \cdot A_f \cdot \Delta H_c = \chi \cdot \dot{m} \cdot \Delta H_c = [kW] \quad (2.5)$$

| | | |
|--------------|---|------------------------------|
| \dot{Q}_c | = | Varmeproduksjon [kW] |
| χ | = | Forbrenningseffektivitet |
| \dot{m}'' | = | Massefluks [g/sm^2] |
| A_f | = | Areal [m^2] |
| ΔH_c | = | Forbrenningsvarme [kJ/g] |
| \dot{m} | = | Massetapsrate [g/s] |

2.3 Rombrann

En brann i et rom vil normalt begynne i det små og utvikle seg over tid. Den består av fire faser: antennelse, vekstfase, fullt utviklet brann og utbrenningsfase. I mellom vekstfasen og en fullt utviklet brann oppstår et fenomen som kalles overtenning. Figur 2 skisserer de fire fasene i en rombrann.



Figur 2 - Faser i en rombrann (9)

2.3.1 Antennelse

En antennelse kan bli ansett som en prosess som produserer en eksotermisk reaksjon, karakterisert ved en økning i temperatur som er vesentlig høyere enn omgivelsene. Den kan fremkomme ved en tennkilde (fyrstikker, gnister eller glør), ved en spontanantennelse eller selvantennelse. Spontanantennelse oppstår vanligvis dersom en ytre strålingskilde varmer opp et materiale til det oppnås en temperatur hvor det begynner å brenne. (11)

2.3.2 Vekstfase

Etter antennelse har oppstått kan brannen fortsette å utvikle seg og vokse i et langsomt eller raskt tempo, avhengig av forbrenning, type brennbart materiale, samhandling med omgivelsene og tilgang på oksygen. Brannen vil fortsette å vokse til den involverer alt brennbart materiale i rommet (11). Aggregattilstanden til materialene spiller en viktig rolle i mengden brennbar gass som avgis av brennbare materialer. Gasser og væsker brenner lettere enn fast stoff fordi fast stoff må varmes opp og omdannes til brennbar gass før det kan brenne (9).

2.3.3 Fullt utviklet brann

På dette tidspunktet er energien som frigjøres i rommet på sitt største, og er veldig ofte ventilasjonsstyrt. I slike situasjoner kan det ofte observeres at røyken som kommer ut av

brannrommet antennes på utsiden. Grunnen til dette er at rommets åpninger ikke er i stand til å slippe inn tilstrekkelig luft til at all gass kan forbrennes i brannrommet. Røyktemperatur i rommet på dette tidspunktet er ofte veldig høy, mellom 700 til 1200 °C (11).

2.3.4 Utbrenningsfasen

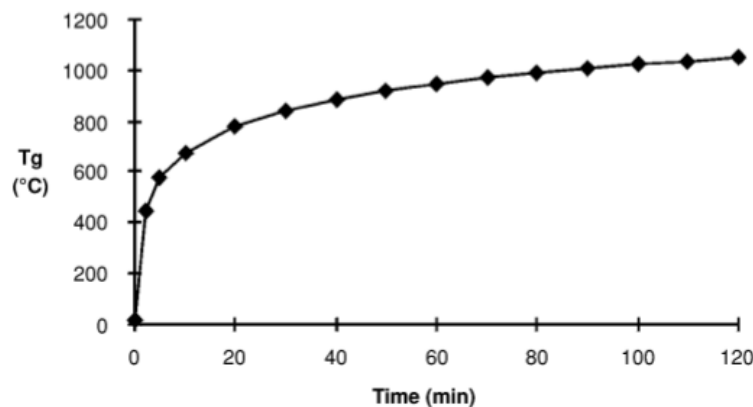
Når mengden brennbar gass blir redusert så mye at brannenes omfang ikke kan opprettholdes inntreffer utbrenningsfasen. Mengden av brennbart materiale som pyrolyserer reduseres og temperaturen i rommet vil synke på grunn av at brannens energiproduksjon avtar (9).

2.4 Standardbrann

Det å forutsi hvordan en brann vil oppføre seg har vist seg å være svært vanskelig (12). For å beskrive brannens oppførsel mest mulig korrekt må det foreligge god informasjon om brenselet, hvordan ventilasjonen vil bli, plassering av objektene som brenner o.l. Disse opplysningene må foreligge før brannen oppstår (9).

En designbrannen er definert ved en tid-temperatur kurve (se figur 3), og er innført på grunn av usikkerhetene rundt de forskjellige parameterne som inngår i brannscenarier (9). Den er utarbeidet av flere nasjonale standardorganisasjoner (11). Den europeiske standardiseringsorganisasjonen CEN og den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO) definerer standardkurven som: (13)

$$T_g = 20 + 345 \log_{10}(8t + 1) \text{ [}^\circ\text{C]} \quad (2.6)$$



Figur 3 - ISO 834 kurve (11)

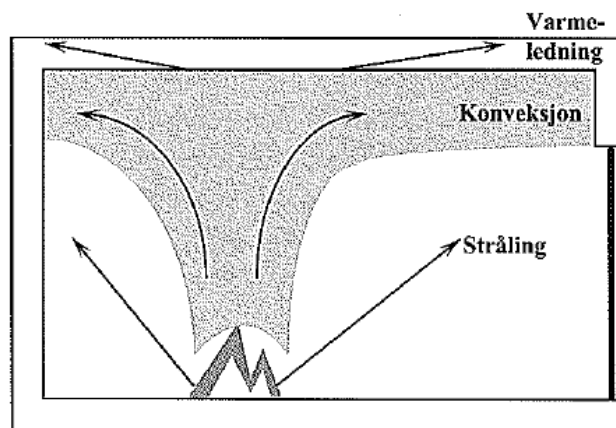
Figur 3 viser temperaturen som en funksjon av tid.

Det er viktig å være oppmerksom på at standardbranner ikke representerer virkelige branner, men skal kun brukes i forbindelse med prøvning av bygningsmaterialer og bygningskonstruksjoner. Standardbranner er likevel viktige fordi de skal være mer konservative i forhold til forventede bygningsbranner (12). At en brann er mer konservativ

betyr at den gir større belastning enn en standardbrann, og en mindre konservativ brann betyr at den er mildere enn en standardbrann.

2.5 Varmetransport som følge av brann

Det frigjøres store mengder energi ved et brannforløp. Energi transporteres bort fra flammene som følge av konveksjon, varmeledning og varmestråling, som vist i figur 4.



Figur 4 - Energitransport (9)

2.5.1 Konveksjon

Konveksjon assosieres med transport av varmeenergi via fluider. Denne transporten kan oppstå naturlig når fluider beveger seg som følge av temperatur- og tetthetsforskjeller, eller tvunget som følge av eksterne krefter (f.eks. vifter). Ved en brann er man mest opptatt av den naturlige konveksjonen (6).

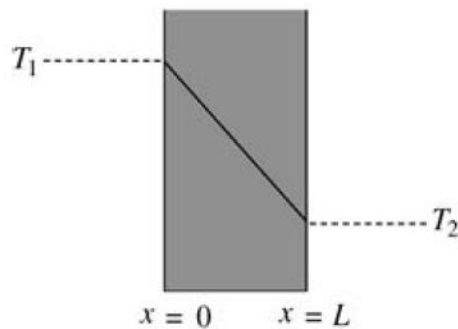
Varmetransport ved konveksjon er beskrevet i ligning 2.7 (6).

$$\dot{q}'' = h\Delta T \quad (2.7)$$

Konveksjonsfaktoren (h) er et empirisk tall som gjenspeiler forskjell i varmeoverføringsratene og varierer med hensyn til væsketype, geometrisk utforming og naturlig eller tvungen konveksjon (9).

2.5.2 Varmeledning

Varmeledning er transport av varmeenergi i faste stoffer. Brannspredning via bygningsdeler skjer som oftest som følge av varmeledning. Forskjellig type fast stoff har ulike varmeledningsevne, og det er vanlig at materialer som er gode varmeledere også er gode elektriske ledere (9). Figur 5 viser et eksempel på varmeledning gjennom et fast stoff.



Figur 5 - Varmeledning gjennom et fast stoff (6)

2.5.3 Synsfaktor

Stråling i et punkt, avhenger av en synsfaktor som tar hensyn til de geometriske forhold mellom emitterende og mottakende felt (6). Synsfaktoren defineres som en faktor mellom 0 og 1 som angir graden av stråling fra et materiale (1). Denne faktoren er en funksjon av den emitterende flatens bredde og høyde, samt en funksjon av avstanden mellom emitterende flate og det aktuelle punktet som varmestrålingen skal beregnes ved. Når for eksempel varmestråling fra et vindu multipliseres med synsfaktoren, blir resultatet den varmestrålingen som mottas i et gitt punkt. Ved økende avstand og avtagende areal på strålende flate, avtar synsfaktoren. (6)

2.5.4 Varmestråling

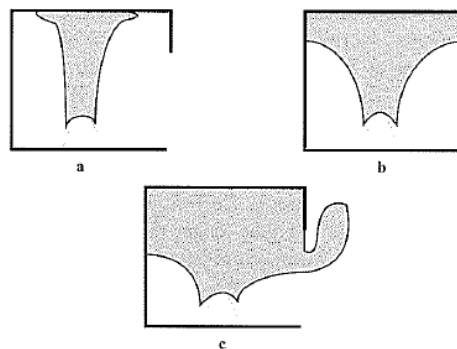
Termisk stråling involverer transport av varme ved elektromagnetiske bølger. Elektromagnetisk stråling avgis fra alle objekter som har en temperatur over det absolutte nullpunkt. Hvor mye energi som transporteres som varmestråling er avhengig av bl.a. temperatur, synsfaktor og materialelegenskaper.

Formelen for beregning av varmestråling er beskrevet i ligning 2.8 (6).

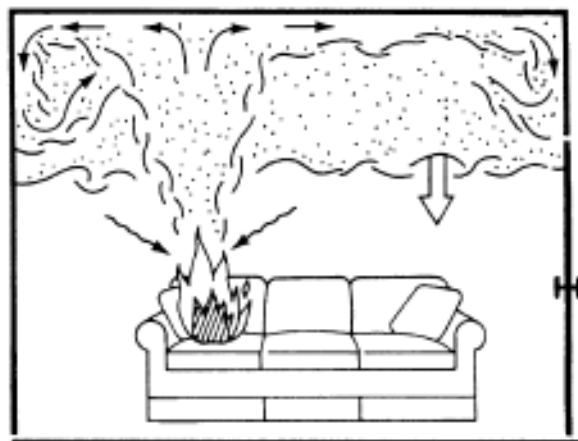
$$\dot{q}'' = \phi \varepsilon \sigma T^4 \quad (2.8)$$

Hvor T er temperatur i Kelvin, σ er Stefan-Boltzmanns konstant ($5,669 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}^4$), ϕ er synsfaktor og ε er emissivitet som er en faktor mellom 0 og 1 som angir graden av stråling fra et materiale.

Flammene fra en brann vil stråle tilbake på det materialet som brenner, og denne varmestrålingen vil øke forbrenningsraten. Røyken som produseres av en brann vil være varmere og ha mindre tetthet enn kald luft. Dette medfører at røyken stiger oppover mot taket. Figur 6 viser røyken som treffer taket, og sprer seg utover rommet langs takflaten, for så å forsvinne ut åpningen i rommet. Dersom brannen produserer mer røyk enn hva som slipper ut, vil røyklaget fylle mer og mer av rommet (9). Figur 7 skisserer varmestråling fra røyklag på en sofa. Dette bidrar til oppvarming og lettere brannspredning. Ved tilstrekkelig stråling på brennbart materiale, vil det oppstå en spontanantennelse.



Figur 6 - Røykfylling av rom (9)

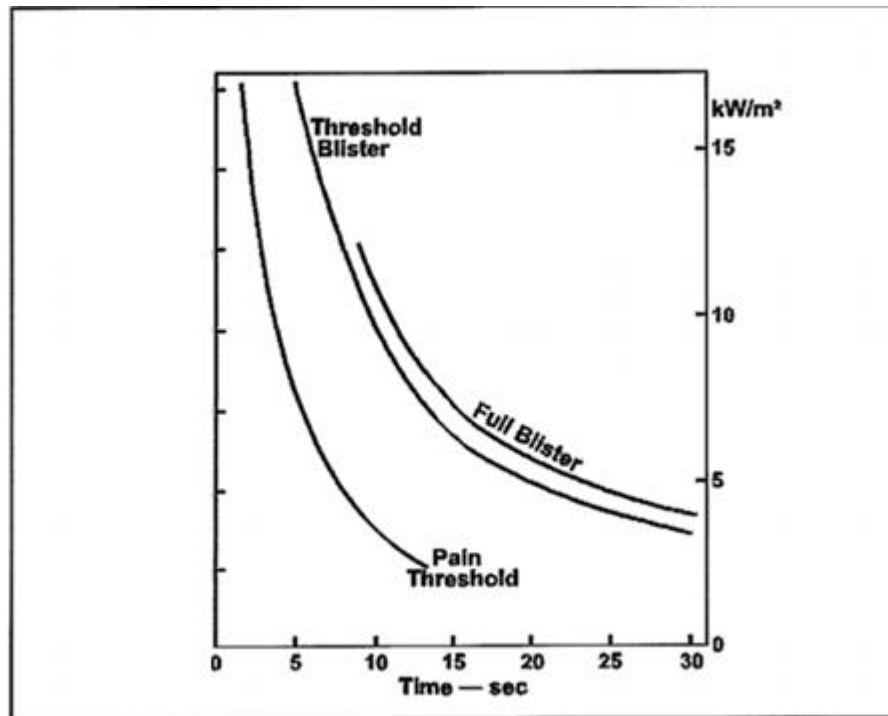


Figur 7 - Varmestråling fra røyklag (11)

2.5.5 Virkning av varmestråling på mennesker.

Skader på mennesker som følge av varmestråling er hovedsakelig en funksjon av varmefluks og eksponert tid. Figur 8 viser en konsekvensutredelse av påkjenningen av varmestråling som følge av jevn eksponering av varmestråling over en gitt periode. For eksempel ved en varmestråling på 5 kW/m^2 vil ekstrem smerte oppstå etter 15 sekunder. Jevn varmestråling på

10 kW/m² vil føre til blemmer etter 15 sekunder og alvorlige brannskader etter 30 sekunder. (14)



Figur 8 - Personskader ved eksponering av ulike varmekilder (14)

I tabell 3 er det angitt noen verdier for virkning av varmestråling på mennesker og materialer. (9)

| Varmestråling [kW/m ²] | Virkning av strålefluks |
|------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0,67 | Varmestråling fra solen om sommeren |
| 1 | Maksimal tålegrense for varmestråling ved uendelig lang eksponering |
| 6,4 | Smerte oppleves etter 8 sekunders eksponering på huden |
| 10,4 | Smerte oppleves etter 3 sekunders eksponering på huden |
| 12,5 | Pyrolyse fra treverk kan antennes med en tennkilde etter lang tids eksponering for varmestråling |
| 16 | Blemmer på hud etter 5 sekunders eksponering |
| 23 | 94 g/m ² ren bomull antenner |
| 25 | Krøllet avis-papir spontanantenner |
| 29 | Treverk spontanantenner etter lengre eksponering for varmestråling |
| 52 | Fiberplater spontanantenner etter 5 sekunders eksponering |

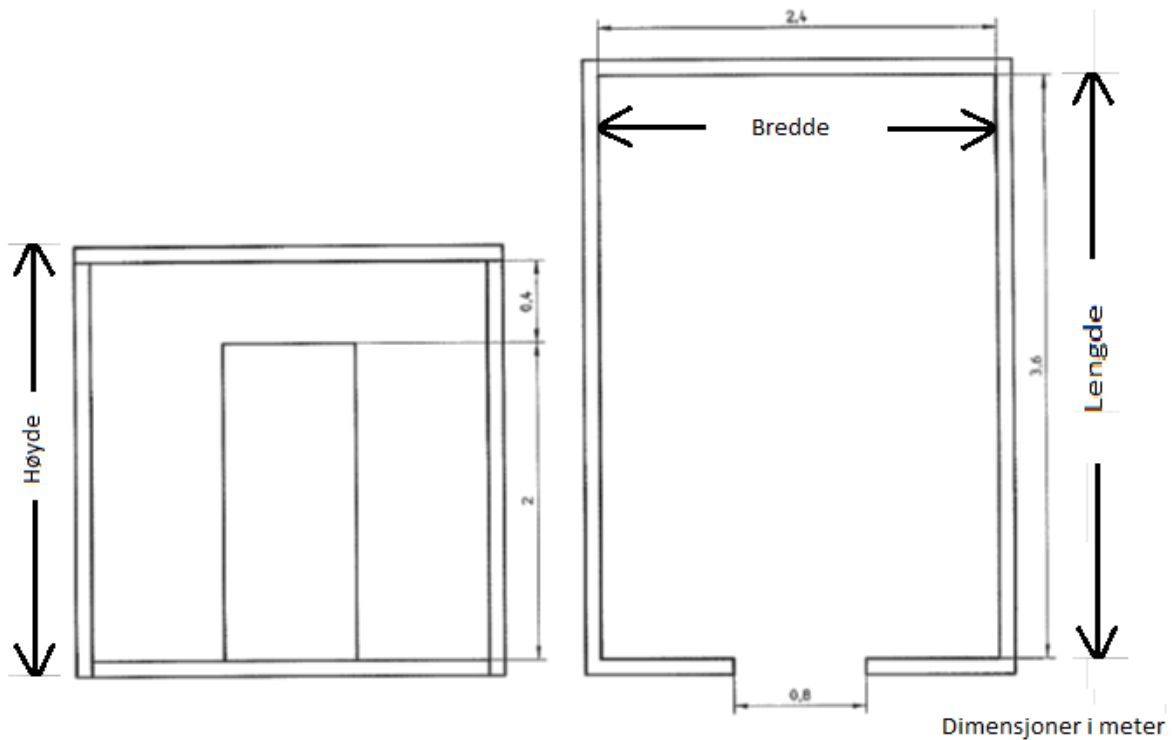
Tabell 3 - Virkning av strålefluks (9)

2.6 Standardisert (ISO 9705) forsøksrom

Den internasjonale standardiseringsorganisasjonen (ISO 9705) definerer et fullskala forsøksrom etter følgende mål: (15)

| | |
|----------------|-------|
| Rommets lengde | 3,6 m |
| Rommets bredde | 2,4 m |
| Rommets høyde | 2,4 m |
| Åpnings høyde | 2,0 m |
| Åpnings bredde | 0,8 m |

Tabell 4 - Dimensjoner på et ISO 9705 rom



Figur 9 - Dimensjoner på et ISO 9705 rom

ISO 9705 spesifiserer en forsøksmetode som simulerer en brann under godt ventilerte forhold i rommets hjørne, med en åpning som vist i figur 9. Forsøk etter ISO 9705 skal gjennomføres innendørs.

2.7 Egenskaper til vindusglass

Glass er et uorganisk materiale, hvor den kjemiske sammensetningen bestemmer egenskapene til glasset. Bygningsglass består hovedsakelig av sand, soda og kalkstein, som smeltes sammen og kjøles ned til det størkner, uten at det oppstår en krystallisering. Glass er altså en underkjølt væske som er så tregtflytende at den oppfattes som et fast stoff. Når glasset blir kjølt ned til romtemperatur blir det hardt og sprøtt. (16)

2.7.1 Varmetekniske egenskaper

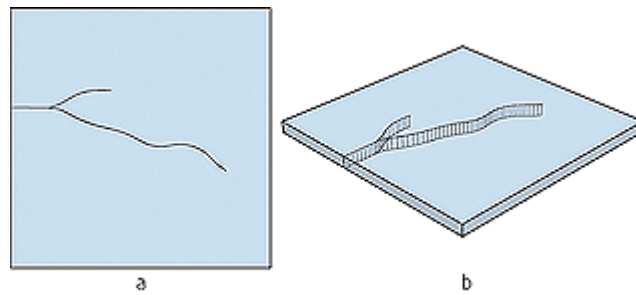
Ved raske temperaturendringer øker faren for at glasset sprekker. Temperaturgradienten i forhold til tykkelsen på vinduet, gjør at tynne glassplater tåler påkjenningen av temperaturendringer bedre enn tykke. Glass tåler trykkrefter bedre enn strekkrefter. Trykkrefter oppstår når de ytre områdene av glasset avkjøles først og således krymper relativt til de indre områdene av glasset, som er varmere enn de ytre områdene. Dette gjør at glass tåler vesentlig større temperaturpåkjenninger fra kaldt til varmt enn omvendt. Tabell 5 viser varmetekniske data for glass i henhold til NS-EN ISO 10456. (16)

| Egenskap | Veiledende verdi |
|----------------------------|----------------------------------------|
| Varmeutvidelseskoeffisient | $8 - 9 \times 10^{-3} \text{ mm/(mK)}$ |
| Termisk konduktivitet | 1,00 W/mK |
| Varmekapasitet | 750 J/kg K |

Tabell 5 - Varmetekniske egenskaper til glass (16)

2.7.2 Termiske spenninger

Dersom glass blir ujevnt oppvarmet oppstår det termiske spenninger. Hvis midtpartiet av glasset blir varmere enn kantene, vil de termiske spenningene føre til strekkpåkjenninger i kantene av glasset. Bruddanvisning i kantene leder fort til brudd i glasset, som vist i figur 10. I isolerende vinduer oppstår det ofte bøyespenninger i tillegg til strekkreftene og bruddbildet kan avvike fra figur 10. (16)



Figur 10 - Termiske spenninger i glass (16)

2.7.3 Isolerende egenskaper energiruter.

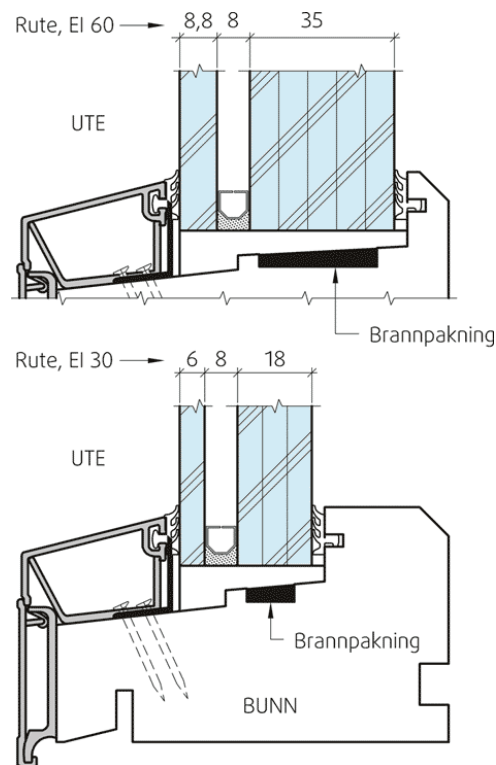
Bruk av energiruter kan redusere varmetapet i en bolig. Energiruter med 2 og 3 lags glass bruker vanligvis argongass som isolerende sjikt mellom glassene. Ved bruk av argongass hindrer man luftsirkulasjon i hulrommet slik at romvarmen overføres tregere fra det innerste varme glasset til det kalde ytterglasset. Denne gassen er gjennomsiktig og hindrer ikke lysgjennomgangen til rommet. Med to eller trelagsvinduer reduserer man kaldraseffekten. Det vil si at nedkjølt luft siger ned mot gulvet og oppleves som trekk. Ulempen med lavenergiglass er at de har en tendens til å dugge på utsiden i kaldt og fuktig klima. Dette skjer på grunn av at energiglassene har gode isolerende evner. Varmen fra innsiden slipper ikke ut og glasset på utsiden blir derfor kaldere. Det oppstår da kalde flater som danner dugg. Figur 11 viser tverrsnitt av et 3-lags vindu. (17)



Figur 11 - Tverrsnitt av 3-lagsvindu (18)

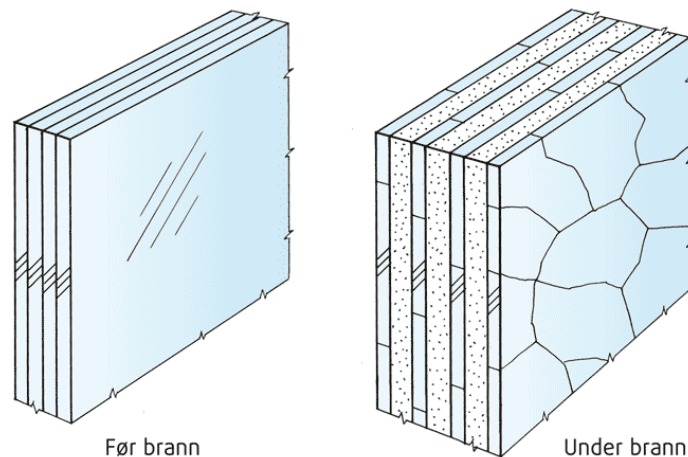
2.7.4 Brannmotstand i vinduer

For å hindre røyk/ brannspredning, sikre rømningsveier og redning, stiller byggt teknisk forskrift i enkelte tilfeller krav til bygningsdeler med brannskillende funksjon. Vinduer og glassfasader med brannmotstand kan være med å bidra til at disse kravene tilfredsstilles. Det kan for eksempel være aktuelt å bruke vinduer eller glassfasader med brannmotstand der avstanden mellom bygninger ikke tilfredsstillende nødvendige krav. Flere lag glass gir høyere brannmotstand, som vist i figur 12. (19)



Figur 12 - Brannvindu (19)

Vindu med brannmotstand er vanligvis konstruert med laminert glass med ekspanderende silikatsjikt. Når glasset blir oppvarmet av en eventuell brann vil disse silikatsjiktene ekspandere og produsere et isolerende skum, slik at glasset blir ugjennomsiktig. Det isolerende sjiktet bidrar i tillegg til å holde vinduet på plass. Figur 13 viser laminerte glass før og etter branneksposering. (19)



Figur 13 - Brannvindu før og etter branneeksponering (19)

2.7.5 Klassifisering av vinduer

Vinduer uten klassifisert brannmotstand

Det stilles krav til CE-merking av vinduer. Vinduer uten klassifisert brannmotstand skal følge NS-EN 14351-1 ved CE-merking. Vinduer blir sertifisert gjennom en bransjestyrt sertifiseringsordning som kalles Norsk Dør- og Vinduskontroll. Det vil si at et vindu som har NDVK merke er testet av SP Fire Research AS eller av et annet godkjent laboratorium i henhold til Europeiske standarder. Norske produkter blir klassifisert etter andre krav enn i andre europeiske land. NDVK merket forteller at produktet tilfredsstillende norsk klassifisering. (20) (21) (22)

Vinduer med klassifisert brannmotstand

I Norge blir brannmotstanden til vinduer og glassfasader dokumentert ved laboratorietesting av SP Fire Research AS. Klassifisering av vinduer og glassfasader med brannmotstand kan fortsatt klassifiseres med klasse A, B og F ved hjelp av NS 3919, men vil etter hvert bli utfaset av NS-EN 13501-2, som bruker klassebetegnelse E, I og W. Ettersom det ikke er direkte samsvar mellom gammel og ny klassifisering, vil ikke et vindu med sertifisert brannmotstand B 30 nødvendigvis oppnå brannmotstand-klasse EI 30 ved testing. (19)

Klasse E beskriver bygningens integritet. Dette er definert som bygningsdelens (vinduets) evne til å motstå brannpåkjenningen på en av sidene, uten at brannen smitter igjennom som følge av gjennomtrengning av flammer eller varme gasser. (2)

Klasse I står for isolasjon og er definert som evnen til å motstå brannpåkjenning på en av sidene, uten at brannen overføres til baksiden som en følge av betydelig varmegjennomgang (varmeledning). Varmeledningen må være så begrenset at verken overflaten på baksiden eller andre materialer i nærheten av denne blir antent. (2)

Klasse W definerer strålingsmotstand i bygningsdel.

Tallet etter klassifisering (EIW) sier hvor lenge bygningsdelen skal opprettholde sin funksjon. For eksempel skal et vindu med klasse EI 30 opprettholde integritet og isolasjon i 30 minutter.

2.7.6 U-verdi

Begrepet U-verdi eller varmegjennomgangskoeffisient, er et standardisert mål på hvor lett en bygningskomponent slipper gjennom varme. U-verdien angir hvor mye varme per tidsenhet, målt i watt (W), som kan strømme gjennom et areal ved konstant temperaturforskjell på 1 Kelvin. Mellom omgivelsene på varm og kald side av konstruksjonen (vinduet). En godt isolert bygningsdel har derfor lav U-verdi. (23)

U-verdien er gitt av formelen:

$$U = \frac{1}{R_T} + \Delta U \text{ (W/(m}^2\text{K))} \quad (2.9)$$

R_T = total varmemotstand (m²K/W)

ΔU = ev. Tillegg pga. utforming og utførelse

Når man kjenner U-verdien for alle ytterkonstruksjonene i en bygning, kan man beregne bygningens totale varmetap (23).

Byggteknisk forskrift fra 2010 (TEK10 § 14-1) stiller følgende energikrav til bygninger:

1. Bygninger skal prosjekteres og utføres slik at det tilrettelegges for forsvarlig energibruk.
2. Energikravene gjelder for bygningens oppvarmede bruksareal (BRA).
3. U-verdier skal beregnes som gjennomsnitt for de ulike bygningsdelene.
4. For bygning eller del av bygning som skal holde lav inne-temperatur, gjelder ikke energikravene dersom energibehovet holdes på et forsvarlig nivå.

Reglene i forskriftens kapittel 14 skal bidra til at bygninger som oppføres eller oppgraderes har lavt energibehov og miljøvennlig energiforsyning. Bestemmelsen gjelder bygningsdeler som yttervegg, tak, gulv, samt vindu, dør og glass inkludert glasstak og glassvegger. For vindu, dør og glass må karm og ramme med eventuelle sprosser, inkluderes i beregningen av U-verdien. (23)

For å oppnå en U-verdi < 1 benyttes det i følge Enova stort sett 3-lags vinduer. Tabell 6 viser historisk utvikling av krav til U-verdi for vinduer.

| Utvikling av U-verdi for vinduer | U-verdi (W/(m ² K)) |
|-----------------------------------|--------------------------------|
| Passivhus (NS 3700) | 0,8 |
| Nye forskrifter 2010 (TEK10) | 1,2 |
| Byggforskriftene 1997 (TEK97) | 1,6 |
| Byggforskriftene 1987 (TEK87) | 2,4 |
| Byggforskriftene på 60-70- tallet | 2,6 |

| | |
|-------------------------------|-----|
| Byggforskriftene på 40-tallet | 2,8 |
|-------------------------------|-----|

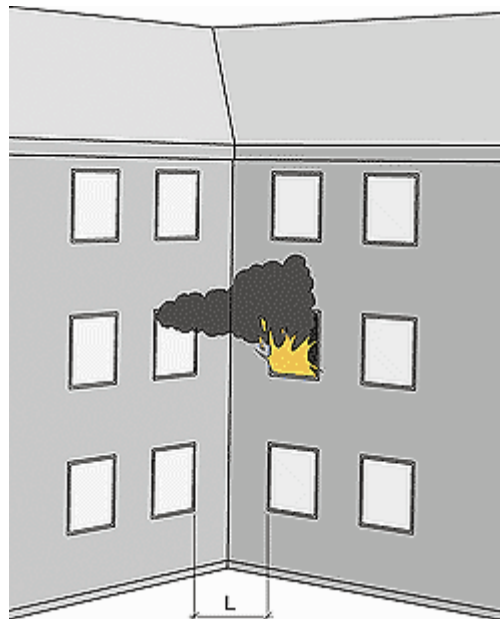
Tabell 6 - Utvikling av U-verdi for vinduer (24)

2.8 Brannspredning via fasader

En bygningsbrann starter som oftest på innsiden av bygget. Dersom den ikke slokkes på et tidlig stadie, men får fortsette å utvikle seg, er det fare for brannspredning via fasaden. En fullt utviklet brann i et lukket rom vil som oftest begrenses av ventilasjonsåpningene. Vinduer uten brannklassifisering tåler ikke høye temperatursvingninger over kort tid, og vil knuse. Dette medfører at brannen tilføres mer oksygen, slik at en betydelig del av forbrenningen kan komme til å skje på utsiden av fasaden. (25)

2.8.1 Brannspredning via innvendig hjørne

Dersom vinduer ligger nær hverandre i innvendig hjørne, kan en brannspredning lettere oppstå. Dette skisseres i figur 14. I tillegg til plassering og avstand mellom vinduene, spiller også størrelsen på vinduene en stor rolle. Brannspredning utenfra skjer ofte ved at glassruter knuses og at for eksempel gardiner antennes som følge av varmestråling.



Figur 14 - Brannspredning i innvendig hjørne (25)

2.8.2 Brannspredning fra et vindu til vinduer i etasjen over

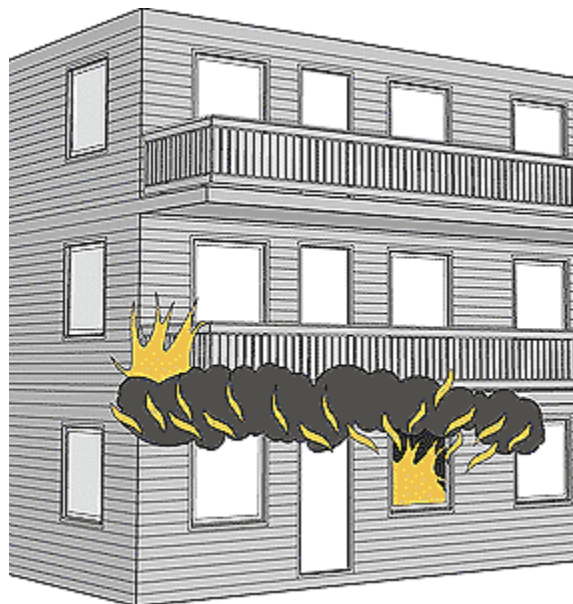
En brann kan spres fra et vindu til vinduer i etasjen over dersom brannen bryter gjennom vinduene og den vertikale avstanden mellom vinduene er liten. En brann sprer seg via etasjer på grunn av varmestråling. Figur 15 skisserer hvordan en brann kan slynges ut gjennom et vindu og spre seg. (25)



Figur 15 - Brannspredning gjennom vindu til fasaden (25)

2.8.3 Horisontal brannspredning via undersiden av brennbare balkonger, svalganger eller takutstikk

Brennbare utspring som ligger horisontalt kan bidra til horisontal brannspredning. Et utspring fra fasaden kan samle opp branngasser slik at undersiden av utspringet antennes. Samtidig stråles varme tilbake til veggen. Dette kan derfor bidra til hurtig horisontal brannspredning. Figur 16 skisserer hvordan brannspredning kan skje på denne måten. (25)



Figur 16 - Brannspredning på undersiden av utspring (25)

2.8.4 Brannspredning via innglassede balkonger

Det har blitt vanlig å benytte seg av innglassede balkonger i boligblokker i Norge. Balkonger som innglasses med tette vindusflater som beskytter mot vind, regn og snø blir også mer anvendbare for innredning. Dette medfører gjerne en økt brannrisiko i bygningen, ettersom innredningen medfører mer brannenergi på balkongen, som igjen fører til at flammefronten

kommer lengre ut på balkongen. I tillegg kan innredningen plasseres like på innsiden av glassveggen slik at de er mer eksponert for antennelse. Ved antennelse av inventar på en balkong, kan brannen utvikles videre, og spres inn i boenheten og/eller videre til andre balkonger og boenheter (25). Bilde 1 viser et typisk bygg med innglasset balkong.



Bilde 1 - Brannspredning via innglasset balkong (26)

2.9 Byggteknisk forskrift – Sikkerhet ved brann

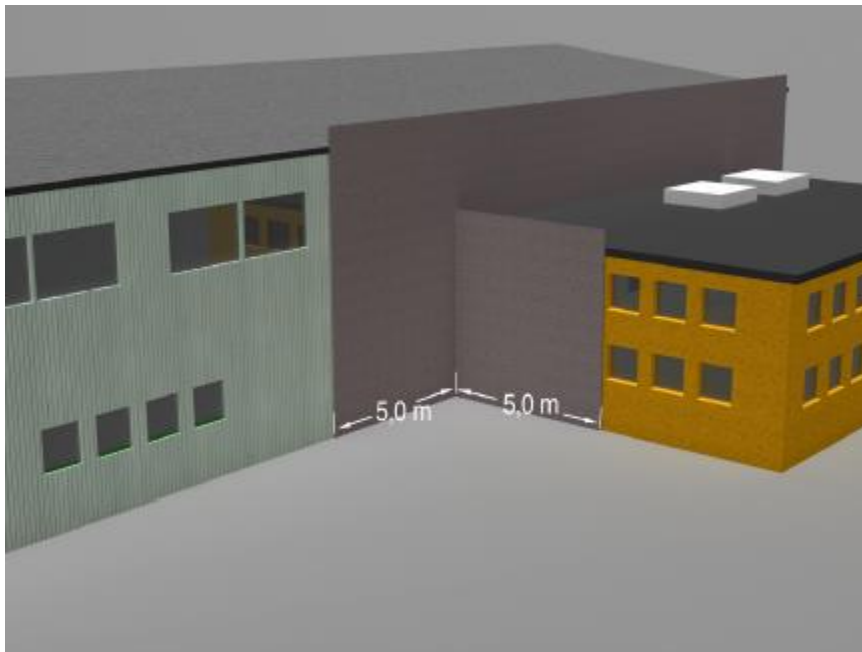
Byggteknisk forskrift fra 2010 (TEK 10) er en forskrift gitt av plan og bygningsloven. Denne forskriften gir føringer for det minimum av egenskaper et byggverk må ha for å kunne oppføres lovlig i Norge. I tillegg til TEK 10, er det utarbeidet en veiledning for byggteknisk forskrift (VTEK 10). Denne veiledningen forklarer forskriftens krav, utdypet innholdet i dem og gir føringer for hvordan kravene kan etterkommes i praksis. (2)

Brannspredning av brann fra vindu i yttervegg til fasade eller brennbart tak er ofte en vanlig årsak til brannspredning. For å unngå det i størst mulig grad, kan det forekomme krav om at det benyttes vindu med brannklassifisering. Som hovedregel skal vinduer ha samme brannmotstand som veggen den står i. (2)

Det er i byggteknisk forskrift et krav om at avstanden mellom lave byggverk (gesims- eller mønehøyde < 9,0 m) ikke kan være mindre enn 8,0 m med mindre byggverkene er skilt med branncellebegrensende bygningsdel eller bygningsdeler i hvert av byggverkene, som til sammen gir samme brannmotstand. Vinduer i en slik vegg må ha tilsvarende brannmotstand som veggen. Vinduene må ikke kunne åpnes i vanlig brukstilstand (2).

For å forebygge horisontal brannspredning via vinduer, gir VTEK 10 følgende føringer for å oppnå tilfredsstillende brannsikkerhet:

“Branncellebegrensende konstruksjoner, enten i samme byggverk eller mellom to lave byggverk må utføres slik at sannsynligheten for brannspredning via vinduer som ligger med liten innbyrdes avstand i innvendig hjørne (se figur 17), eller mellom vinduer i motstående fasader, blir liten”. (2)



Figur 17 - Motvirkning av brannspredning via vinduer i innvendig hjørne (2)

Hvis byggverket har automatisk brannsløkkeanlegg kan det benyttes vinduer uten spesifisert brannmotstand. Dette gjelder ikke for vinduer som beskytter rømningsvei, med mindre det er gjort en særskilt vurdering som påviser at brannmotstand ikke er nødvendig (2).

Enkeltvinduer i mindre rom i bolighus opp til $0,2 \text{ m}^2$ glassflate, kan være uten spesifisert brannmotstand når avstanden til uklassifisert bygningsdel er minimum 5,0 m (2).

Tabell 7 viser nødvendig brannmotstand i vindu ved forskjellig innbyrdes plassering, og avstand mellom vinduer.

| Utforming av motstående vinduer i yttervegger | | |
|------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------|-----------------------------------|
| Innbyrdes plassering | Avstand L i meter mellom vinduer (glassflater) | Nødvendig brannmotstand |
| Vinduer i motstående parallelle yttervegger i brannklasse 1 | $L < 3,0$ | Ett vindu EI 30 eller begge EI 15 |
| | $3,0 < L < 6,0$ | Ett vindu E 30 eller begge EI 15 |
| | $L \geq 6,0$ | Uspesifisert |
| Vinduer i motstående parallelle yttervegger i brannklasse 2 og 3 | $L < 3,0$ | Ett vindu EI 60 eller begge EI 30 |

| | | |
|---------------------------------------------------|-----------------|-----------------------------------|
| | $3,0 < L < 6,0$ | Ett vindu E 60 eller begge E 30 |
| | $L \geq 6,0$ | Uspesifisert |
| Vinduer i innvendige hjørner i brannklasse 1 | $L < 2,0$ | Ett vindu EI 30 eller vegge EI 15 |
| | $2,0 < L < 4,0$ | Ett vindu E 30 eller begge EI 15 |
| | $L \geq 4,0$ | Uspesifisert |
| Vinduer i innvendige hjørner i brannklasse 2 og 3 | $L < 2,0$ | Ett vindu EI 60 eller begge EI 30 |
| | $2,0 < L < 4,0$ | Ett vindu E 60 eller begge E 30 |
| | $L \geq 4,0$ | Uspesifisert |

Tabell 7 - Nødvendig brannmotstand til vinduer i branncellebegrensende yttervegg. (Ytelser hentet fra VTEK 10)

2.10 Måleinstrumenter

Måleinstrumenter i forbindelse med et brannforsøk benyttes for å få ut forskjellig data som for eksempel temperatur og stråling.

2.10.1 Termoelement

Termoelementer brukes til temperaturmåling, og benyttes typisk til måling av høye temperaturer, for eksempel i forbindelse med en brann. Disse kan anvendes i temperaturområdet fra -200 til over 2000 °C. Termoelementer er i dag standardiserte slik at man ved utbytte innen samme gruppe termoelement ikke skal trenge å gjøre store omkalibreringer (27).

Når to ulike metalltråder kobles sammen i begge ender og en ende blir varmet opp vil det gå en strøm i kretsen. Forklart på en forenklet måte, vil temperaturen i enden av termoelementet bli målt som en følge av denne spenningen.

Det finnes flere typer standardiserte termoelement, og hvilken type som er riktig velges ut i fra hvilken type forsøk som skal gjøres. Forskjellene går i hovedsak på forventet temperaturområde og krav om nøyaktighet.

2.10.2 Platetermoelement

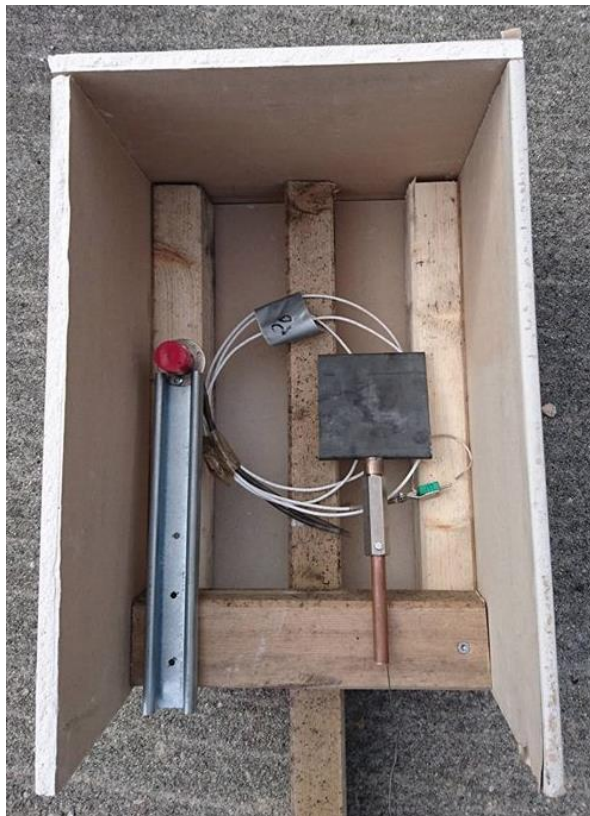
Et platetermoelement er et termoelement koblet til en plate, der platens bakside er isolert. Dette brukes til å måle følt temperatur på en flate. Platetermoelementene måler temperaturer på samme måte som termoelementer. Forskjellen er at målingene til termoelementer kan

anses som momentane. Termoelementene er såpass tynne at målingene kan bli sett på som punkter, mens målingene til platetermoelementene vil oppleves å ha en liten forsinkelse, ettersom det tar lenger tid å varme opp en større flate kontra tiden det tar å varme opp et lite punkt.

2.10.3 Strålefluksmåler

Under brannforsøkene i denne rapporten ble det benyttet en strålefluksmåler ved hvert vindu. Strålefluksmåleren fremkommer som den røde måleren i bilde 2.

Strålefluksmålerene som ble benyttet i forsøkene er en modifisert totalfluksmåler. En totalfluksmåler er konstruert for å måle total varmekraft, både stråling og konveksjon. Ved å montere totalfluksmåleren i en kasse vil måleren bli tilnærmet beskyttet for vind (konveksjon), og man har da modifisert totalfluksmåleren til å bli en strålefluksmåler, som kun måler strålingen.



Bilde 2 - Totalfluksmåleren er til venstre i bildet, gitt som den røde måleren. Platetermoelementet ligger til høyre

3. Utstyr, metode og gjennomføring

3.1 Forsøksrom

Tabell 8 viser en sammenligning av forsøksrommet på ResQ Sikkerhetssenter og et ISO standardrom. Forsøksrommene er ikke identiske men har mange likhetstrekk med tanke på rommets totale volum og størrelsen på åpningen. Foruten at forsøkene ble utført utendørs, er det derfor grunn til å anta at brannforløpet ville ha utartet seg på en måte som er sammenlignbare med et ISO rom.

| | Forsøksrom | ISO 9705 Standardrom |
|----------------|------------|----------------------|
| Rommets lengde | 3,40 m | 3,60 m |
| Rommets bredde | 2,40 m | 2,40 m |
| Rommets høyde | 2,15 m | 2,40 m |
| Åpnings høyde | 1,28 m | 2,00 m |
| Åpnings bredde | 1,20 m | 0,80 m |

Tabell 8 - Dimensjoner på forsøksrom benyttet i denne oppgaven

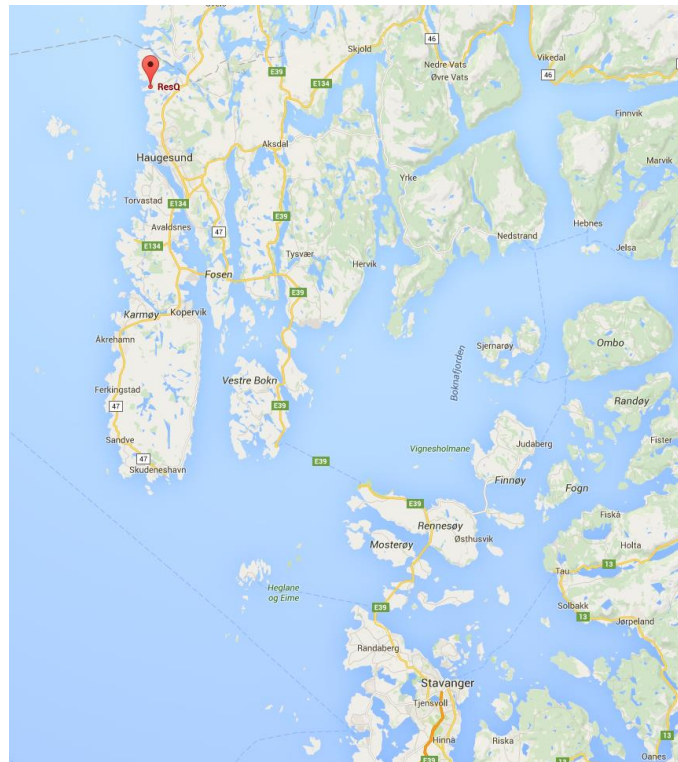
3.2 Oversikt over forsøksområde



Bilde 3 - Oversiktsbilde over forsøksområde

3.3 ResQ Sikkerhetssenter

Brannforsøkene ble utført på ResQ Sikkerhetssenter i Haugesund. Dette er et sikkerhetssenter som har et samarbeid med Høgskolen Stord/Haugesund, slik at det er mulig å gjennomføre brannforsøk i fullskala her. Område som ligger ca. 9 km utenfor Haugesund sentrum, og er tilrettelagt for de fleste brannforsøk som knyttes til brann. Geografisk plassering av sikkerhetssenteret er skissert i figur 17.



Figur 17 - Geografisk plassering av ResQ Sikkerhetssenter

ResQ Sikkerhetssenter ble etablert som Statens Havarivernskole i 1973 som et resultat av tre store skipsulykker i 1969. Skolen ble senere innlemmet i utdanningssystemet, først av Statens Sikkerhetshøgskole (1991) og senere som en del av Høgskolen Stord/Haugesund (1994). ResQ ble etablert i 2001 og har vokst betydelig. I dag har de sikkerhetssentere i Haugesund, Stavanger, Bergen og Kristiansund, og er en nasjonal leverandør av sikkerhets- og beredskapsopplæring. (28)

3.4 Utstyr og materiale

Brannforsøkene ble gjort den 05.04.2016 og 08.04.2016. For å gjøre forsøk med to- og trelags vinduer ble det brukt en del tid på klargjøring av forsøksrommet, innhenting av vinduer og knytte tilstrekkelig kjennskap til måleutstyr. Ettersom det kun ble utført to forsøk, var det avgjørende å planlegge forsøkene godt for å unngå at det oppsto uventede vendinger som kunne ødelegge forsøkene.

Det ble i disse forsøkene levert følgende vinduer av Gilje AS:

- 2 stk. Gilje Fast Low- E 1.2 (U-verdi 1,26 W/m²K)
- 2 stk. Gilje Fast 1.0 (U-verdi 0,77 W/m²K)

Termoelement, platetermoelement, strålefluksmåler og videomateriell er utstyr som Høgskolen Stord/Haugesund er i besittelse av, og dette ble lånt i tidsperioden da brannforsøkene ble utført.

Slangeutlegg og verneutstyr til bruk under rigging og brannforsøk ble lånt av ResQ Sikkerhetssenter.

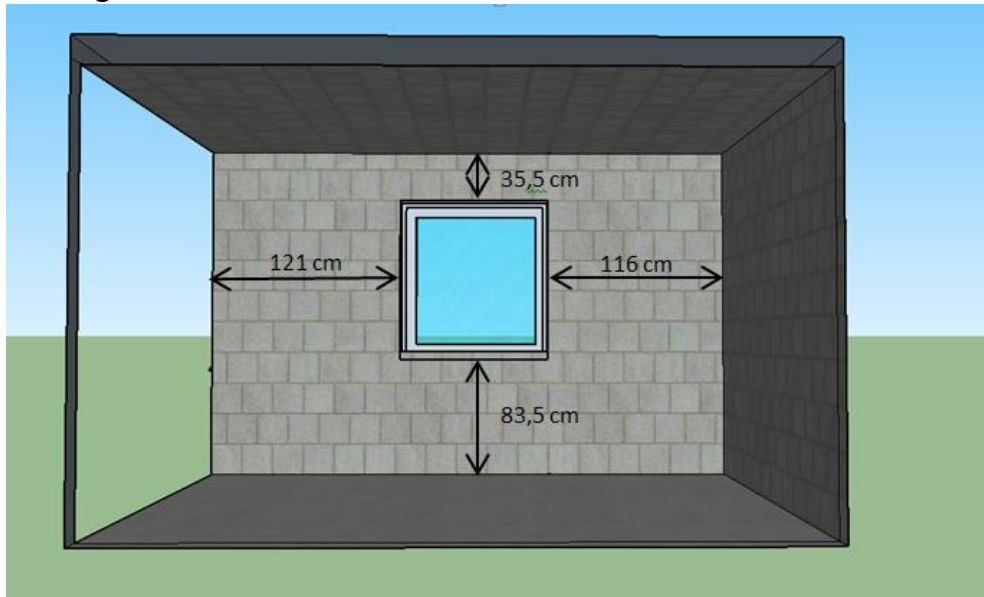
Betongblokker som ble brukt til murarbeid, trevirke, gips og verktøy har i hovedsak Høgskolen Stord/Haugesund bistått med.

Totalt ble det brukt ca. 70 timer på rigging + tid til handling og transport tur/retur ResQ. I tillegg ble det brukt en del timer på å samle sammen utstyr, diskusjon rundt hvilke målinger som skulle benyttes og henting av vinduer.

3.5 Forberedende arbeid

Før montering av vinduer ble forsøksrommet klargjort ved å utføre en testbrann for å redusere fuktnivå i rommet. Før gjennomføring av testbrannen ble det installert 3 termoelementer inne i rommet for å måle temperaturutviklingen og se at disse fungerte som tiltenkt.

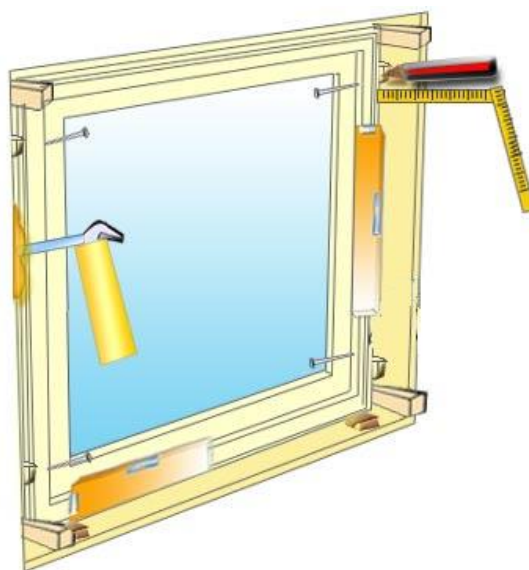
3.5.1 Montering av vinduer



Figur 18 - Vinduenes plassering i forsøksrommet

Figur 18 skisserer vinduenes plassering i forsøksrommet. Vinduene ble plassert på denne måten fordi det ble konkludert med å være en realistisk plassering i et normalt bygg. I tillegg ville de bli skjermet mot å bli for tidlig eksponert for direkte flammer ettersom brenselkaret ble plassert i midten innerst i rommet. Montering av vinduer ble gjort på en måte som oppfyller bransjestandard.

Det ble gjort ekstra tiltak for å brannsikre åpninger mellom vinduskarm og veggen i forsøksrommet. Figur 19 skisserer hvordan vinduene ble innfestet.



Figur 19 - Montering av vinduer

Vinduene ble først satt inn med kiler i karmen, før de ble skrudd inn i betongen ved hjelp av 4 hullplater. Dette er skissert i bilde 5. Kilene ble i hovedsak brukt for å sentrere vinduet, sørge for at det var i vater og sikre at det var en åpning mellom karm og utsparing. Deretter ble vinduet forankret til konstruksjonen med skruer og etterkontrollert med vater.



Bilde 4 - Forankring av vinduer

Neste steg var å dytte steinull (Rockwool) inn mellom vinduskarm og veggen. Dette er skissert i bilde 6.



Bilde 5 - Dytting av steinull

Deretter ble åpninger mellom veggen og vindu skummet med ekspanderende brannskum, type Soudal Soudafoam FR. Det er et skum som er brannklassifisert og som gir en god tetning mot røyk og gass. Påføring av brannskum er skissert i bilde 7.



Bilde 6 - Påføring av ekspanderende brannskum

Til slutt ble vinduskarmen kledd inn i gipsplater for å sikre mot røykgjennomtrengning. Bilde 8 viser hvordan vinduene så ut etter at de var ferdig montert.



Bilde 7 - Gipskledning rundt karm

3.5.2 Plassering av måleutstyr

For måling av stråling ble det bukt 2 stk. totalfluksmålere (se bilde 9). Totalfluksmålerne ble gjort om til strålefluksmålere ved å plassere målerne i kasser sammensatt av gipsplater og lekter for å forhindre påvirkning av vind og vær. Fra Veiledning til byggt teknisk forskrift § 12-6 er det et krav om at svalgang og korridorer i bygninger med krav til universell utforming skal ha en fri bredde på minimum 1,5 m ved rømning (2). Dersom man tar utgangspunkt i at en gjennomsnittlig skulderbredde til et menneske er 40 cm, blir den maksimale avstanden fra skulderen til en rømmende person til veggen i svalgangen 1,1 m.

Under forsøkene ble derfor strålefluksmålerne plassert 1,1 m i fra vinduene.

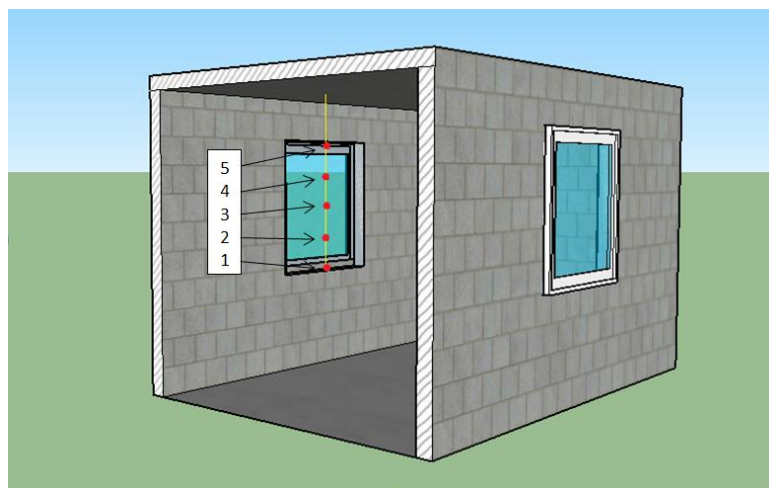


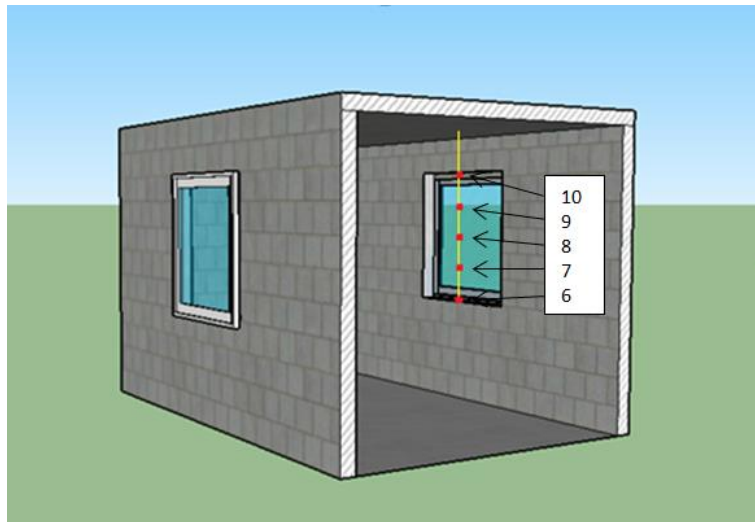
Bilde 8 - Totalfluksmåler

Det ble brukt 2 stk. platetermoelement for måling av temperatur utenfor vinduet (se bilde 10). Disse ble også plassert i de samme kassene for å unngå påvirkning fra vind og vær. Platetermoelementene ble også plassert 1,1 m i fra vinduene.

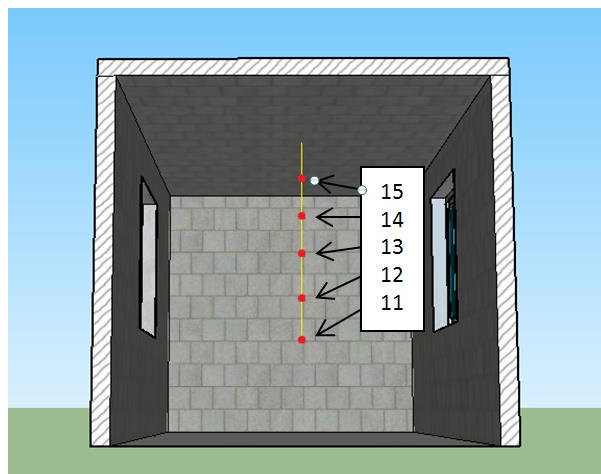
**Bilde 9 - Platetermoelement**

Det ble brukt totalt 15 stk. termoelementer type K for å måle temperatur i brannrom og ved vinduene på brannekspontert side. Plassering og nummerering av disse er skissert i figur 20, 21, 22 og bilde 11. Denne nummereringen blir det videre henviset til i tid-temperaturkurvene i resultatdelen.

**Figur 20 - Plassering av termoelement 1/3**



Figur 21 - Plassering av termoelement 2/3



Figur 22 - Plassering av termoelement 3/3



Bilde 10 - Plassering av termoelement

3.5.3 Brenselkar

Brenselkaret var utformet i metall og hadde dimensjonene 1,00 m · 1,00 m · 0,15m. En siporexblokk ble plassert i karet for å redusere dieselens væskeoverflateareal, som resulterte i at massetapsraten \dot{m} ble redusert, og derfor også redusert energiproduksjon i brannen. Med et areal på 0,846 m² og en diameter 1,04 m ble væskeoverflatearealet tilpasset slik at ønsket energiproduksjon noenlunde skulle gjenspeile ISO-834 kurven. Bilde 12 viser utforming av brenselkar.



Bilde 11 - Brenselkar

3.5.4 Brensel

Som brensel til forsøkene ble det brukt diesel og europaller av tre. Diesel har et flammepunkt på 60 °C (8). For at diesel skulle antenne ble det brukt omtrent 1 liter bensin til forvarming. Bensin som har et flammepunkt på -40 °C antente når den ble introdusert for en tennkilde, ved at det var varmegrader på forsøksdagene. Trepallene ble brukt som brensel først og fremst for at trepaller kan være en representativ form for variabel brannenergi i en gjennomsnittlig bolig i Norge. En slik bolig kan inneholde møbler som bord, stoler, veggseksjoner og skap bestående av tre.

Fra tabell 3.6 i Drysdale (6) ser man at trepaller stablet 0,8 m høyt og dieselbranner med en diameter større enn 0,9 m har en tilnærmet lik energiproduksjon på rundt 2000 kW/m², og begge med en rask vekstfase.

Trepallene ble plassert noe forskjellig i forsøkene. I forsøk 1 ble trepallene stablet direkte over brenselkaret, mens i forsøk 2 ble det brukt 4 stk siporexblokker stående på høykant for å heve pallene over brenselkaret.

Tabell 9 gir en oversikt over mengde brensel brukt i ulike forsøkene.

| Type brensel | Forsøk 1 Mengde | Forsøk 2 Mengde |
|--------------|--------------------|--------------------|
| Diesel | 100 [ℓ] | 50 [ℓ] |
| Bensin | 2 [ℓ] | 1 [ℓ] |
| Europaller | 4 [stk] | 4 [stk] |

Tabell 9 - Oversikt over brenselforbruk i brannforsøk

Bilde 13 og 14 illustrerer hvordan pallene var plassert over brenselkaret i begge forsøkene.



Bilde 12 - Plassering av paller over brenselkar 1/2



Bilde 13 - Plassering av paller over brenselkar 2/2

3.5.5 Kamera

For dokumentasjon av forsøkene ble det brukt 2 stk. HD webkamera og 2 stk. videokamera. Webkameraene var beskyttet mot varme ved at det var montert en glassplate i fronten av kameraene. Deretter ble webkameraene plassert i en skrå vinkel mot vinduene for at sprekker i glassene skulle bli synlig på videoen. Fra avstand ble det brukt et HD-videokamera med zoom for å filme 3-lags vinduet. Et siste videokamera var plassert i front, på avstand.

3.5.6 Vindmåling

For måling av vindhastighet under forsøkene ble det brukt en vindmåler av typen VelociCalc Pluss 8388. Vindhastigheten ble beregnet ut i fra gjennomsnittet til målinger før og etter forsøkene. Vindmåleren er vist i bilde 15.



Bilde 14 - Vindmåler

3.5.7 Datalogger Agilent 34970A

Bilde 16 viser loggeren som ble brukt under brannforsøkene. Den får input fra termoelement, platetermoelement og strålefluksmåler, og gir output til PC via softwareprogrammet BrannDatalog6 v6.3. Softwareprogrammet er utviklet på Høgskolen Stord/Haugesund av høgskolelektor Gisle Kleppe.



Bilde 15 - Datalogger

3.5.8 Skyvemekanisme for gipsplater

Det ble antatt at to- lags vinduet kom til å sprekkе først. For at tre- lags vinduet skulle få de samme forutsetningene som to- lags vinduet ble det besluttet å tildekke to-lags vinduet med gipsplater etter brudd i begge glasslagene. Det ble montert en skyveanordning som vist i bilde 17. Denne anordningen sørget for at dette kunne gjennomføres på en enkel og sikker måte.



Bilde 16 - Skyvemekanisme for gipsplater

3.5.9 Observatører

Det ble hentet inn to frivillige studenter til å observere hendelsesforløpet til 2- og 3-lagsvindue. Observatørene fikk utlevert et observasjonsskjema hver, hvor det ble notert sprekkdannelse og knusing av vindu, skader på karm og røykgjennomtrengning. Tidspunkt på disse hendelsene ble også notert.

Før gjennomføring av forsøkene ble det gjennomgått sikkerhetsinstrukser fra Sikker Jobb Analysen i vedlegg D, for å ivareta sikkerheten til alle forsøksdeltakerne. Bilde 18 viser observatører og bruk av vernebekledning.



Bilde 17 - Observatører

3.5.10 Øvrig utstyr

- Fluke 51 II Thermometer
- Linjal til måling av røykhøyde

3.6 Gjennomføring

På gjennomføringsdagene (05.04.2016 og 08.04.2016) ble forsøkene gjennomført på følgende måte:

1. Utføring av sikkerhetsinstruks
2. Tilkobling og testing av måleutstyr, datalogger, sikkerhetsutstyr og kameraer
3. Gjennomgang av arbeidsoppgaver
4. Igangsetting av filming
5. Antennelse
6. Koordinering av temperatur, brensel tilførsel, observasjoner og skyve anordning
7. Avslutning av forsøkene
8. Lagring og sikring av innsamlede data
9. Nedrigging og rydding av utstyr

4. Resultat

I denne delen blir resultatene fra de to forsøkene presentert. Det legges i hovedsak vekt på de observasjoner som ble gjort, tiden det tok før de ulike glasslagene sprakk, temperatur i brannrom, stråling og vær og vind i de to brannforsøkene.



Observasjoner som er gjort er kontrollert og justert basert på videoopptakene som ble gjort.

Temperaturer registrert ved vinduene i begge forsøkene var tilnærmet lik romtemperaturen. Grafene ligger vedlagt i vedlegg F.

4.1 Brannforsøk 1

4.1.1 Vær og vind

Tabell 10 viser været under brannforsøk 1.

| | Hastighet | Retning |
|------------|--------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vind | Svak vind 2,25 m/s |  Fra SØ |
| Temperatur | |  9°C |
| Nedbør | | 0 mm |

Tabell 10 - Vær og vind - forsøk 1

4.1.2 Brensel

Under forsøket ble det brukt 100 liter diesel, 4 europaller og 2 liter bensin.

4.1.3 Observasjoner

Tabell 11 gir en oversikt over visuelle observasjoner gjort for 2-lags vinduet ved første forsøk. Punktene beskrives ut i fra observasjoner gjort på utsiden av forsøksrommet.

| Tid [min.sek] | Glasslag | Observasjon |
|---------------|----------|---------------------------------------------------------------|
| 01.37 | 1 | Sprekk i glasset, oppe til høyre |
| 02.28 | 1 | Glasset er tilnærmet sprukket over hele flaten |
| 03.55 | 1 | Glasset knuser |
| 04.02 | 2 | Sprekk i høyre side av glasset |
| 04.46 | 2 | Et mindre hull til høyre i glasset. Røyk trenger ut av hullet |
| 05.56 | 2 | Glasset er mer eller mindre sprukket over hele |
| 06.46 | 2 | Glasset knuser |
| 06.46 | 2 | Dekket vinduet med gipsplater |
| 13.00 | | Forsøk slutt |

Tabell 11 - Visuelle observasjoner for 2-lags vindu

Tabell 12 gir en oversikt over visuelle observasjoner gjort for 3-lags vinduet ved første forsøk. Punktene beskrives ut i fra observasjoner gjort på utsiden av forsøksrommet.

| Tid [min.sek] | Glasslag | Observasjon |
|---------------|----------|---------------------------------------------------------|
| 01.38 | 1 | Sprekk i glasset, oppe til venstre |
| 03.00 | 1 | Hele glasset er sprukket |
| 03.44 | 1 | Glasset knuser |
| 04.15 | 2 | Sprekk i glasset, oppe til venstre |
| 05.24 | 2 | En bit av glasset faller ut, nede til høyre |
| 05.41 | 2 | Ny bit av glasset faller ut, oppe til høyre |
| 06.29 | 2 | Glasset knuser |
| 06.50 | 3 | To sprekker i glasset, midt på |
| 07.53 | 3 | Sprekker over hele glasset |
| 09.00 | 3 | Mengden røyk ut av vinduet øker |
| 10.00 | 3 | Små biter faller ut, men glasset holder fortsatt sammen |
| 13.00 | 3 | Glasset knuser |
| 13.00 | | Forsøk slutt |

Tabell 12 - Visuelle observasjoner for 3-lags vindu

4.1.4 Røyklagshøyde

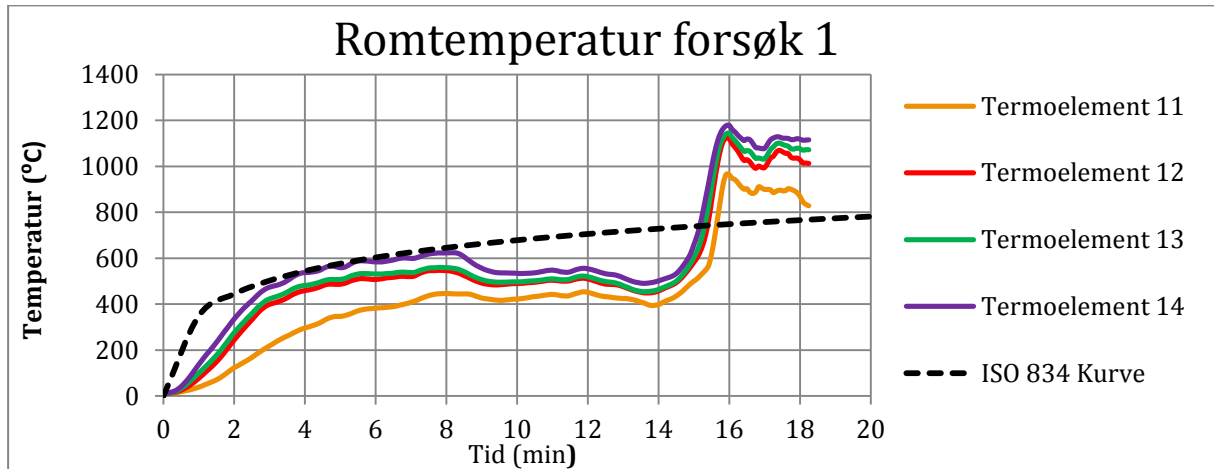
Tabell 13 gir en oversikt over visuelle observasjoner gjort for røyklagshøyde og farge på røyken ved første forsøk.

| Tid [min.sek] | Røyklags- Høyde [m] | Farge på røyken | Observasjon |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------------------|
| 00.25 | 1,10 | Svart | Hovedsakelig diesel som brenner |
| 01.15 | 1,00 | Grå/Svart | Diesel og paller brenner |
| 02.25 | 1,00 | Grå | |
| 06.00 | 1,00 | Grå | En del røykproduksjon |
| 09.10 | 1,00 | Grå/Hvit | Lys grå, nesten hvit røyk |
| 13.45 | 1,00 | Grå/Hvit | |
| 14.10 | 0,80 | Grå | Tykt røyklag |
| 15.00 | 0,50 | Mørk Grå | Tykt røykag |
| 15.25 | | | Overtenning |

Tabell 13 - Røyklagshøyde - forsøk 1

4.1.5 Temperatur

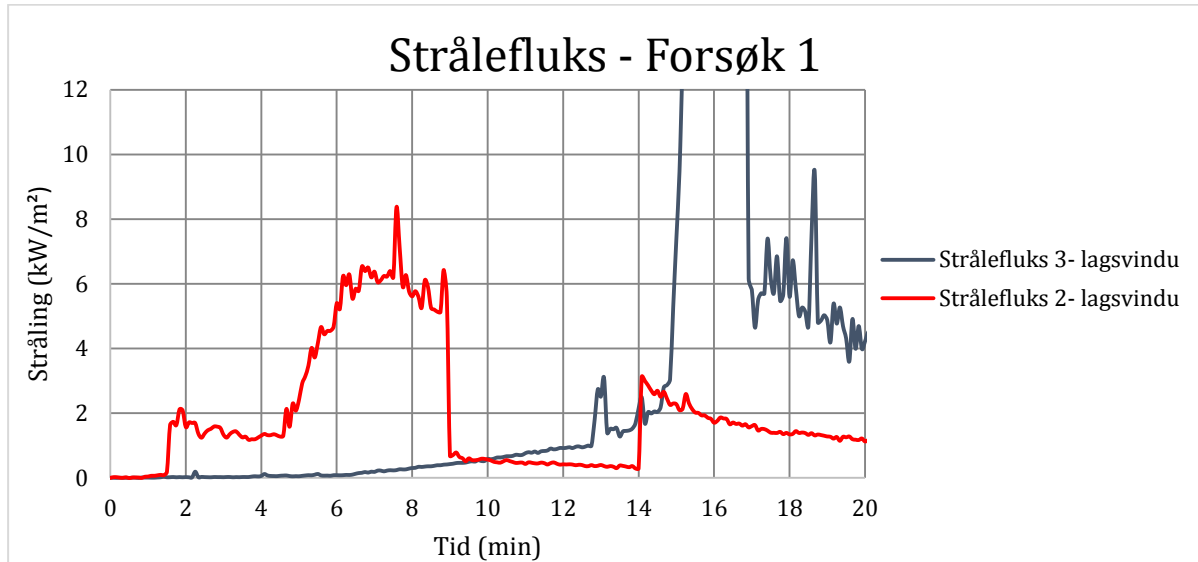
Tabell 14 viser temperatur målt i rommet i forsøk 1. Målte temperaturer ligger litt under ISO 834 temperaturkurven, men øker jevnt de første 8 minuttene. I fra 8 – 14 minutter stabiliserer temperaturen seg rundt 500 °C før den får en kraftig økning fra 14 minutter. Termoelement 15 registrerte ingen temperatur, og har derfor blitt ekskludert fra resultatet. Dette termoelementet ble erstattet med et nytt fungerende termoelement til forsøk to.



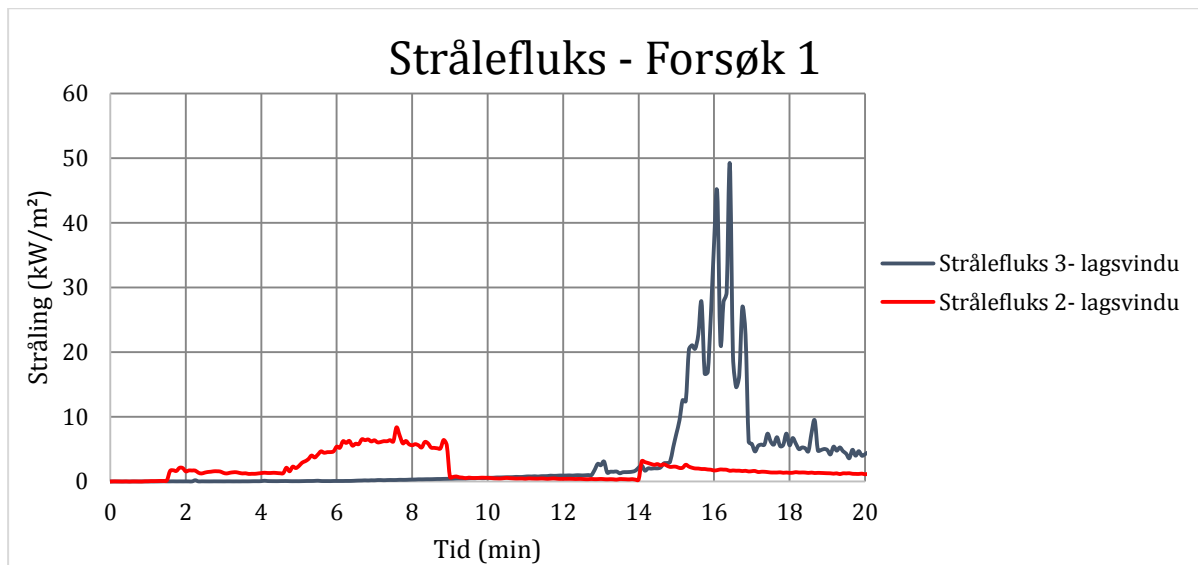
Tabell 14 - Grafen viser romtemperaturen målt av 4 termoelementer midt i rommet.

4.1.6 Strålefluks

Tabell 15 viser en oversikt over målt strålefluks i området 0 – 12 kW/m². Tabell 16 viser samme verdier for stråling men med forhøyede verdier for å få med verdier i området 15 – 17 min.



Tabell 15 - Målt strålefluks 1,1 meter fra utsiden av vinduet (0 - 12 kW/m²)



Tabell 16 - Målt strålefluks i ekspandert skala (0 - 50 kW/m²)

Strålefluks ble målt 1,1 m ifra begge vinduer. Grafene til 2- og 3- lagsvinduet viser at det er relativt lite stråling før vinduene knuser. Under forsøket ble det i tillegg registrert liten varme fra observatører som sto i nærheten av strålefluksmålerene. Etter ca. 9 minutter ble 2-lagsvinduet knust og vinduet ble dekket til av gipsplater. Det vises da tydelig i tabell 14 at strålingen reduseres. Ved 14 minutter økte strålingen ved 2-lagsvinduet på ny, noe som kan

skyldes at gipsplatene som dekte vinduet var brent hull i. 3- lagsvinduet knuste etter ca. 13 minutter, og etter ca. 15 minutter stod det flammer ut i fra vinduet og det ble målt strålefluks opp til 50 KW/m². Etter ca. 17 minutter ble måleutstyret fjernet.

4.1.7 Platetermoelement

Polene til platetermoelementene ble koblet feil og det ble da registrert feil måleresultater. Ved hjelp av formel 4.1 ble måleresultatene omregnet til riktige verdier med en feilmargin på ± 2-3 °C i følge høgskolelektor Gisle Kleppe. Målingene ved 2- lagsvinduet gav relativt gode verdier til tross for feilkobling. Målingene ved 3- lagsvinduet sviktet som følge av brudd etter 14 minutter. Se grafer i Vedlegg F.

$$T = 2 \cdot T_0 - T' \quad (4.1)$$

T = Riktig temperatur



T_0 = Målt temperatur

T' = Referanse temperatur

4.2 Brannforsøk 2

4.2.1 Vær og vind

Tabell 17 viser været under brannforsøk 1.

| | Hastighet | Retning |
|------------|-------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------|
| Vind | Flau vind 1,5 m/s |  Fra Vest |
| Temperatur | |  10 °C |
| Nedbør | | 0 mm |

Tabell 17 - Vær og vind - forsøk 2

4.2.2 Brensel

Det ble brukt 50 liter diesel, 4 opphøyde europaller og 1 liter bensin

4.2.3 Observasjoner

Tabell 18 gir en oversikt over visuelle observasjoner gjort for 2-lags vinduet ved første forsøk. Punktene beskrives ut i fra observasjoner gjort på utsiden av forsøksrommet.

| Tid [min.sek] | Glasslag | Observasjon |
|---------------|----------|---------------------------------------------------------------------|
| 00.52 | 1 | Sprekk i glasset, oppe til høyre |
| 01.30 | 1 | En bit av glasset faller ut, og det er nå et hull i glasset |
| 01.33 | 1 | Glasset knuser |
| 01.45 | 2 | Sprekk i glasset, oppe til høyre |
| 01.58 | 2 | Stor sprekk i midten av glasset |
| 02.40 | 2 | Et mindre hull, nede til høyre i glasset |
| 04.11 | 2 | Hull øverst, midt på glasset |
| 05.42 | 2 | Stort hull i midten av glasset, svart røyk og flammer ut av vinduet |
| 08.50 | 2 | Vinduet dekket med gipsplater |
| 06.17 | | Forsøk slutt |

Tabell 18 - Visuelle observasjoner for 2-lags vindu

Tabell 19 gir en oversikt over visuelle observasjoner gjort for 3-lags vinduet ved andre forsøk. Punktene beskrives ut i fra observasjoner gjort på utsiden av forsøksrommet.

| Tid [min.sek] | Glasslag | Observasjon |
|---------------|----------|------------------------------------------------------------------|
| 00.58 | 1 | Sprekk i midten av glasset |
| 01.10 | 1 | En bit av glasset faller ut |
| 01.36 | 1 | Glasset knuser |
| 01.49 | 2 | To sprekker i midten av glasset |
| 02.36 | 2 | En stor bit i midten av glasset faller ut |
| 03.21 | 2 | Glasset knuser |
| 04.36 | 3 | Sprekk over store deler av glasset |
| 06.00 | 3 | Ny stor sprekk som dekker store deler av glasset. Røyk kommer ut |
| 06.17 | 3 | Glasset knuser |
| 06.17 | | Forsøk slutt |

Tabell 19 - Visuelle observasjoner for 3-lags vindu

4.2.4 Røyklagshøyde

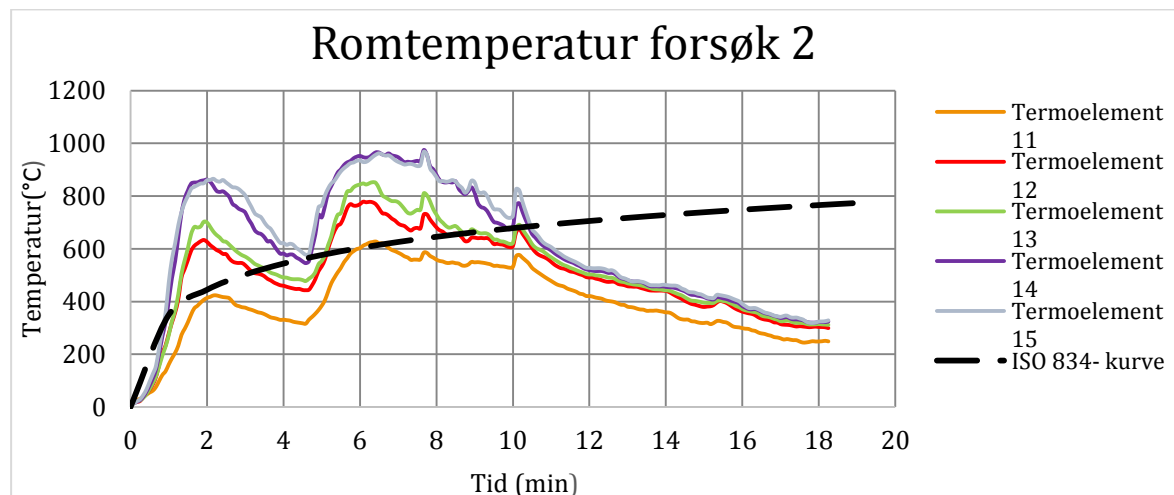
Tabell 20 gir en oversikt over visuelle observasjoner gjort for røyklagshøyde og farge på røyken ved andre forsøk.

| Tid [min.sek] | Røyklags- Høyde [m] | Farge på røyken | Observasjon |
|------------------|---------------------------|--------------------|-----------------------------------------------------|
| 00.29 | 1,00 | Svart | Hovedsakelig diesel som brenner |
| 01.18 | 1,00 | Lys grå | Røyken virker tynn og gjennomsiktig |
| 02.20 | - | - | Ingen synlig røyk. Hovedsakelig pallene som brenner |
| 05.15 | 1,00 | Svart | Etter påfyll av diesel økte røykproduksjonen |
| 06.00 | 1,50 | Lys grå | Røyken virker tynn og gjennomsiktig |
| 06.28 | 1,00 | Svart | Påfyll av diesel |
| 07.51 | 1,00 | Svart | Rester av pallene falt ned i brenselkaret |

Tabell 20 - Røyklagshøyde - forsøk 2

4.2.5 Temperatur

Tabell 21 viser temperaturutviklingen gjennom brannforløpet i forsøk 2. De første to minuttene steg temperaturen raskt, og det ble registrert temperaturer opp mot 900 °C. Mellom 2 og 4 minutter ble temperaturen redusert før den igjen steg. I forhold til ISO 834 kurven, var romtemperaturen noe høyere i dette forsøket.

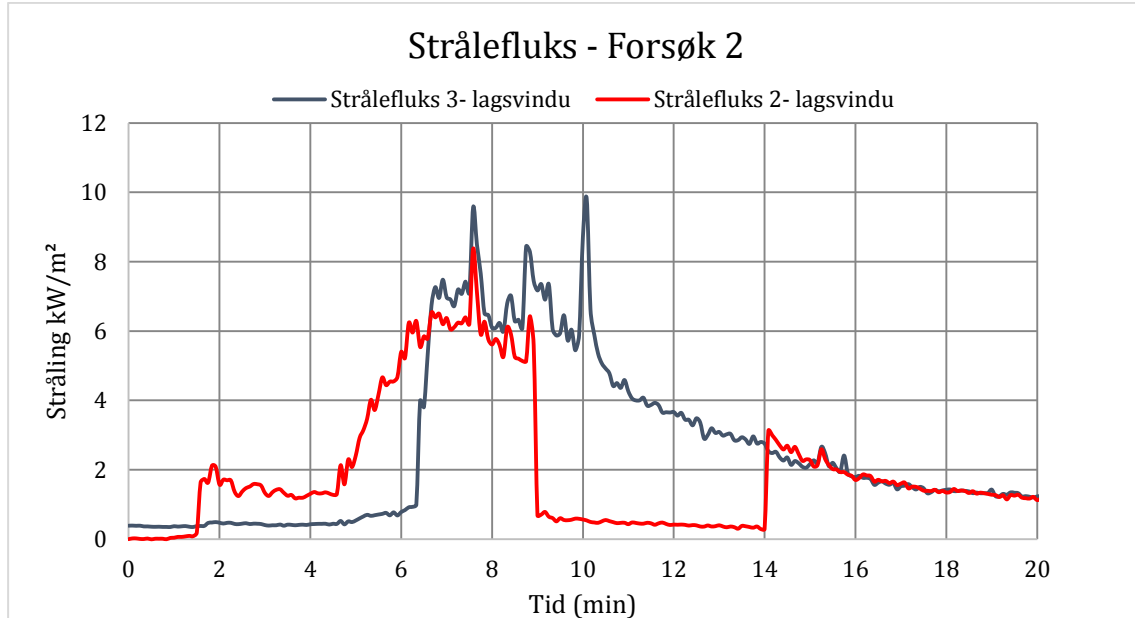


Tabell 21 - Grafen viser romtemperaturen målt av 4 termoelementer midt i rommet

4.2.6 Strålefluks

I andre forsøk var det også relativt lav strålefluks før vinduene knuste (se tabell 22). Like før det var gått to minutter gikk det hull på 2-lagsvinduet og strålefluksen økte. Etter fire minutter falt større deler av glasset ut ifra 2-lagsvinduet og strålefluksen økte til like over 8 kW/m². Etter ca. 9 minutter ble 2-lagsvinduet dekket til med gipsplater, og registrert stråling ble redusert til et minimum. Gipsplatene ble fjernet etter 14 minutter. 3-lagsvinduet knuste da

6 minutter var passert. Strålefluksen økte da kraftig og det ble registrert maksimalt ca. 10 kW/m².



Tabell 22 - Målt strålefluks 1,1 meter fra utsiden av vinduet

5. Diskusjon

5.1 Egenskapene til vinduene

Brannforsøkene gir en indikasjon på hvor lenge to- og trelagsvinduer vil holde ved brannpåkjenning. Det er i første forsøk registrert en differanse på 6 minutter og 14 sekunder før de to vinduene knuser, noe som nesten er det dobbelte. I andre forsøk er det en raskere temperaturøkning, og det registreres en differanse på 35 sekunder før de to vinduene knuser. Dette kan gi en indikasjon på at differansen på to- og trelagsvinduer kan være stor ved en mindre brannpåkjenning, men at differansen kan være mindre ved et brannforløp som er kraftigere enn tid-temperaturkurven til ISO 834.

5.2 Brannforløpet

Brannforløpet i de to gjennomførte forsøkene ble noe ulike. Dette skyldes mest sannsynlig et stort fuktinnhold i omhyllingsflaten til rommet i første forsøk. Ved et stort fuktinnhold vil brannen bruke mye energi på å fordampe fukten. En del av luften i rommet vil bli fortrent av vanndamp, noe som kan redusere lufttilgangen til brannen og gjøre den ventilasjonsstyrt. Fortrengning av luft resulterer i at temperaturen i brannrommet vil synke (9).

Varmeoverføringsegenskapene til omhyllingsflaten vil også øke med et høyere fuktinnhold, slik at mye av varmen blir ledet ut i fra forsøksrommet. Grunnen til dette er at vann har høyere varmeledningsevne enn luft (29). Reduksjonen i temperatur fremkommer ganske tydelig i tabell 13 i tidsperioden 8 – 15 minutter. Det ble i tillegg observert hvit røyk i fra forsøksrommet i tidsperioden hvor grafene viser at temperaturen synker. Dette kan være med på å bekrefte at det var mye fukt i rommet. Fuktinnholdet gjorde også at det ble kraftig røykutvikling i brannforsøk 1.

Da andre forsøk ble gjennomført var mesteparten av fukten i rommet fordampet og brannens vekstfase ble hurtigere ved at en større mengde energi ble frigjort på kortere tid sammenlignet med forsøk 1. Røykproduksjonen var i tillegg mindre. Temperaturen steg kraftig i begynnelsen og oversteg ISO- kurven, noe som kan være grunnen til at vindusglassene sprakk og knuste på et tidligere tidspunkt enn i første forsøk. Som nevnt i kapittel 2.7.1, vil et glass som eksponeres for raske temperaturstigninger kunne sprekke raskere.

Etter ca. to minutter i forsøk 2 synker temperaturen (se tabell 21). Dette skyldes at dieseltilførselen til brenselkaret stoppet som en følge av at tidsuret på dieselpumpa ikke fungerte etter hensikten. Tilførsel av diesel ble oppnådd igjen etter ca. 5 minutter.

5.3 Stråling

Forsøk nr. 1

Strålefluksmålingene utenfor vinduene var lav før vinduene knuste. Dette kan skyldes at det var et tykt røyklag inne i forsøksrommet som skygget for strålingen. Etter ca. 15 minutter i første forsøk ble det en kraftig økning i strålefluks ved 3- lagsvinduet. Ved dette tidspunktet

hadde det vært overtenning og det sto flammer ut i fra 3-lagsvinduet. Den økte strålingen kan skyldes at vinden ledet flammer ut 3-lagsvinduet og gav høye stråleverdier.

Forsøk nr. 2

Da forsøk nr. 2 ble gjennomført var det nesten helt vindstille. Det kan være årsaken til at strålefluksmålingene til begge vinduene var ganske like.

5.4 Vær og vind

Haugesund er en kommune som ligger på vestkysten av Norge, et område kjent for å ha en god del nedbør og vind. Det ble gjennomført en testbrann i forsøksrommet i uke 10 der formålet var å redusere fukten i rommet. I etterkant av brannen ble det lagt en presenning som dekke over taket, som skulle hindre tilgang til fukt før forsøkene ble gjennomført. Forsøkene kom først i gang tre uker etter testbrannen. I mellomtiden var det kommet en del nedbør som klarte å trenge seg inn i rommet. Fargene i betongblokkene under første forsøk hadde en mørk gråfarge, og man kunne tydelig se store dråper hengende ned fra vinduskarmene. I andre forsøk kunne man se at fargene i forsøksrommet hadde en hvit/lys gråfarge uten noen tegn til fukt i vinduskarmene. Det ble ikke brukt fuktmåler til å måle konkrete verdier for fukt før og etter forsøkene.

Forsøkene ble lagt til dager der værmeldingen i forkant hadde gitt uttrykk for 0 mm nedbør og vindhastighet under 5 m/s. Det var ønskelig å unngå nedbør for å unngå komplikasjoner med det elektriske måleutstyret brukt under forsøkene, noe som kunne ført til feil eller svikt i målinger.

Videokameraer ble i hovedsak brukt som dokumentasjon av forsøkene. Nedbør under forsøkene ville forårsaket ekstra arbeid med tildekking av kameraene. Ved tildekking av kameraene kunne i tillegg lysforholdene til innspillingen blitt påvirket, noe som kunne redusert kvaliteten på dokumentasjonen.

Totalfluksmålerne og platetermoelementene ble plassert i en kasse for å beskytte instrumentene mot vind, slik at målingene skulle gi resultater i form av strålefluks og følt temperatur. Om det hadde vært sterk vind under forsøksdagene kunne strålefluksmålingene blitt påvirket av konveksjon, og dermed kunne resultatene gitt en annen registrering enn det som var formålet.

Som nevnt i resultatdelen ble vær og vindforholdene vurdert som tilfredsstillende under forsøkene.

5.5 Brensel

Plassering av- og mengde brensel varierte noe fra første til andre forsøk. I første forsøk ble treballene plassert direkte på toppen av brenselkaret. I andre forsøk ble pallene opphøyd noen ekstra centimeter fra karet. Forskjellen i plasseringen av pallene kan innvirke på størrelsen av

dieseloverflatearealet, som igjen har innvirkning på frigjørelsen av energi til brannen. Etter hva Drysdale (6) skriver om teorien til væskeoverflatearealets innvirkning på en brann, er det naturlig å gjøre en antakelse at energifrigjøringen i andre forsøk var større enn i første forsøk.

Det ble brukt dobbelt så mye diesel i første forsøk sammenliknet med andre forsøk. Fra dataloggeren under forsøk 1 ble det registrert at temperaturen i brannrommet begynte å synke etter 8 minutter. Det ble da fylt på diesel for å øke temperaturen. Fra tabell 14 kan man se at det ikke ble stigning i temperaturen etter flere fyllinger.

Som tidligere nevnt, brukte brannen en stor mengde energi på å fortrenge fukten i bygget. Da mesteparten av fukten var fortrent etter 15 minutter var det en stor mengde brensel tilgjengelig, og man ser fra tabell 14 at temperaturen steg fra 550 °C til 1200 °C i løpet av 1 minutt, 15 minutt ut i forsøket.

I andre forsøk var rommet tørt og brannen brukte lite energi på å fortrenge fukt. Dermed var behovet for mengde brensel lavere. Det ble brukt 50 liter i andre forsøk mot 100 liter i første forsøk.

5.6 Feilkilder

5.6.1 Platetermoelementene

Ved opprigging og tilkobling av måleutstyr ble det montert nye koblinger på platetermoelementene. Under monteringen ble de elektriske polene snudd, noe som resulterte i at platetermoelementene målte negativ temperatur. Da platetermoelementene ble koblet til dataloggeren viste dataprogrammet utslag på rundt 9 °C, noe som stemte godt overens med de øvrige termoelementene og referansetemperaturen første forsøksdag. Etter endt forsøk ble det gjort en rask gjennomgang av dataene der det ikke ble observert at flere av verdiene i dataene var negative.

Andre forsøk ble gjennomført med samme tilkoblingsfeil. Algoritmen brukt i dataprogrammet for å gjøre om spenninger til temperatur er mer avanserte enn at det er tilstrekkelig å bytte fortegn på dataene. Utvikleren av "BrannDataLog 6", Gisle Kleppe kom opp med at ved hjelp av formel 5.1 var det mulig å omregne verdiene med en feilmargin på ± 2 til 3 °C. Det er imidlertid grunn til å sette spørsmålstegn hvorvidt de omregnede verdiene er reliable.

$$T = 2 \cdot T_0 - T' \quad (5.1)$$

der

T = Riktig temperatur

T_0 = Målt temperatur

T' = Referanse temperatur

5.6.1.1 Forsøk 1

Sammenlikner man målingene for platetermoelement og strålefluks i tabell 5 (vedlegg F) og tabell 15 i første forsøk ser man at målingene gjort ved 2-lags vinduet stemmer godt overens. Temperaturene målt 1,1 m fra 2-lagsvinduet er lave, noe som også ble fysisk registrert, ved passering av vinduene. Strålefluksen var målt til under 10 kW/m^2 der smerte, i følge tabell 3, opplevtes etter 3-8 sekunders eksponering på huden. (9)

Gipsplater ble skjøvet foran 2-lagsvinduet for å hindre lufttilgang til brannen da 2-lagsvinduet knuste etter cirka 7 minutter. Temperaturen fikk ikke tid til å øke nevneverdig før gipsplatene ble skjøvet for, noe som kan forklare de lave målingene.

For målingene til platetermoelementet ved 3-lagsvinduet skjer det et brudd ved 12-13 minutter. Det er i samme tidspunkt at verdiene fra strålefluksen begynner å øke. Det ses i betraktning til observasjonene gjort at 3-lagsvinduet knuser.

5.6.1.2 Forsøk 2

2-lags vinduet knuste etter cirka 4 minutter. Fra tabell 20 ser man at temperaturen i brannrommet har sunket noe i samme tidsrom. Ved 5 minutter blir brannen tilført brensel, noe som øker temperaturen i og utenfor brannrommet. Man ser fra målingene til platetermoelementet ved 2-lags vinduet at temperaturen nådde sin topp på $200 \text{ }^\circ\text{C}$ ved 6 minutter før gipsplatene dekket for vinduet. Da sank temperaturen nevneverdig før den tok seg opp igjen ved 15 minutter da platene ble fjernet.

For 3-lags vinduet ser man at det på ny blir et brudd i målingene i tidsrommet vinduet knuser.

5.6.2 Øvrige feilkilder

I tillegg til overnevnte feilkilder kan følgende faktorer hatt innvirkning på resultatene:

- Konstruksjonen til forsøksrommet bar preg av slitasje fra tidligere forsøk. Det er antatt at dette hadde liten betydning for forsøket.
- Ulikheter i produksjon av vinduene. Vinduene ble inspisert før og etter montering, og det ble ikke gjort registreringer som tilsier ulikheter.

6. Konklusjon

Ettersom det kun er utført to forsøk, er det vanskelig å konkludere med hvilke variabler som førte til forskjell i tiden til vinduene knuste. Det kan for eksempel være snakk om variabler som branneffekt, fuktinnhold, temperatur eller ulikheter i glassene.

Brannforsøkene indikerer at et 3-lags vindu kan ha en noe høyere brannmotstand enn et 2-lags vindu, men at forskjellen er liten ettersom at glassene knuser fortløpende lag for lag.

Strålingsmålingen på utsiden av vinduene er lav så lenge vinduene er intakte, og gir ikke målinger som tilsier at det vil medføre personskafe å oppholde seg i nærheten. Dette gir en indikasjon på at det vil være mulig å passere nært vinduene i tiden før de sprekker.

Resultatene presentert i denne oppgaven vil kun gi en indikasjon på vinduers faktiske egenskaper. Det er imidlertid lite som tyder på at bruk av trelags vinduer i bygg vil utgjøre særlige branntekniske forskjeller.

7. Forslag til videre studier

- Utføre tilsvarende forsøk i et rom med variabel brannenergi tilsvarende en bolig
- Utføre tilsvarende forsøk der en gassbrenner blir brukt for å kunne ha bedre kontroll på temperaturen under forsøkene
- Utføre tilsvarende forsøk flere ganger for å se om man får signifikante resultater
- Utføre tilsvarende forsøk der man ser på termiske spenninger i vindusglassene

8. Kilder

1. **Kollegiet for Brannfaglig Terminologi.** Faguttrykk. [Internett] u.å. <http://kbt.no/faguttrykk.asp>.
2. **Byggteknisk forskrift med veiledning (VTEK10).** *Veiledning om tekniske krav til byggverk.* s.l. : Direktoratet for byggkvalitet, 2015.
3. **Sandstad, Jacob.** Termoelement. [Internett] Store Norske Leksikon, 13 April 2009. [Sisert: 3 Mars 2016.] <https://snl.no/termoelement>.
4. **Direktoratet for Byggkvalitet.** Gode bygg for et godt samfunn. u.å.
5. **DiNenno, Philip J., et al., et al.** *The SFPE handbook of fire protection engineering.* 4. utgave. Quincy, Massachusetts : National fire protection, 2008.
6. **Drysdale, Dougal.** *An introduction to fire dynamics.* 3. utgave. Chicester : John Wiley & Sons Ltd, 2011.
7. **Karlsson, Bjørn og Quintiere, James G.** *Enclosure Fire Dynamics.* United States of America : CRC Press LLC, 2000.
8. **Shell Norge.** Shell Anleggsgas svovelfri. *Produktteknisk datablad.* 2015.
9. **Hagen, Bjarne Christian.** *Grunnleggende Brannteknikk.* Haugesund : Bjarne Christian Hagen, 2004.
10. **Andrew, Erik.** Toksikologi. [Internett] Store Norske Leksikon, 14 Februar 2009. [Sisert: 28 April 2016.] <https://snl.no/toksikologi>.
11. **Bjørn Karlsson, James G. Quintiere.** *Enclosure Fire Dynamics.* Florida : CRC Press, 1999.
12. **SFPE.** *Handbook of Fire Protecting Engineering.* 4. Quincy, Massachusetts : National Fire Protection Association, 2008.
13. **International Organization for Standardization.** *ISO 834 - Elements of building construction.* 2013.
14. **Andreassen, M, et al., et al.** *Handbook for Fire Calculation and Fire Risk Assessment in the Process Industry.* Kjeller : Scandpower SINTEF NBL, 1997.
15. **International Organization for Standardization.** *ISO 9705 - Full Scale room test for surface products.* 2016.
16. **SINTEF Byggforsk.** 571.951 Byggnigsglass. [Internett] juni 2013. <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=580>.
17. **Enova.** Bytt til 3-lags lavenergivindu. [Internett] [Sisert: 26 februar 2016.] <http://www.enova.no/radgivning/privat/rad-om-produkter-og-losninger/tiltak-i-bygningskroppen/bytt-til-3-lags-lavenergivindu/bytt-til-3-lags-lavenergivindu/99/123/>.
18. **Norsk Vinduskompani.** Norsk Vinduskompani. 3- lags energiglass. [Internett] [Sisert: 26 februar 2016.] http://norskvinduskompani.no/verdt_aa_vite/teknisk_info/teknisk_info_glass_og_ruter/3_lags_energiglass/.
19. **SINTEF Byggforsk.** 571.957 Vinduer og glassvegger med brannmotstand . [Internett] Høst 2006. [Sisert: 04 februar 2016.] <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=571957>.
20. —. 533.102 Vinduer. Typer og funksjoner. [Internett] April 2014. [Sisert: 4 Februar 2016.] <http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&docNumber=533102>.
21. **Norsk Trevare.** Norsk Trevare. *NDVK Norsk Dør og Vinduskontroll.* [Internett] [Sisert: 04 februar 2016.] <http://www.trevare.no/ndvk/>.
22. **Norsk Dør- og Vindus- kontroll.** NDVK. *NDVK. Regler.* [Internett] mai 2012. [Sisert: 04 februar 2016.] http://www.ndvk.no/gallery/documents/ndvk_krav_til_vinduer_og_dorer.pdf.

-
23. **SINTEF Byggforsk**. 471.008 Beregning av U-verdier etter NS-EN ISO 6946. [Internett] 1998. [Sitert: 1 Mars 2016.]
<https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=208§ionId=2>.
24. **Enova**. Hva er U-verdi? [Internett] u.å. [Sitert: 11 Mars 2016.]
<http://www.enova.no/radgivning/privat/enovas-merkeordning/tips-og-rad/vindu/hva-er-u-verdi/hva-er-u-verdi/344/571/>.
25. **SINTEF Byggforsk**. 520.310 Brannspredning via fasader. [Internett] 2006. [Sitert: 5 Mars 2016.] <https://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?documentId=3256§ionId=2>.
26. **Produktfakta**. Lumon balkonginnglassing – Skandinavisk design og kvalitet. [Internett] 16 Februar 2011. [Sitert: 11 Mars 2016.] <http://www.produktfakta.no/lumon-norge-as-lumon-balkonginnglassing-26112/nyhet.html>.
27. **Pyrocontrol**. Termoelementer (TC). *www.pyrocontrol.no*. [Internett]
<http://www.pyrocontrol.no/tempraturkatalogen/46-47.pdf>.
28. **ResQ**. Om ResQ. [Internett] u.å. [Sitert: 20 April 2016.] <http://www.resq.no/om-resq>.
29. **Ormestad, Store Norske Leksikon - Helmut**. *Varmeledning*. 2009.
30. **SINTEF Byggforsk**. 523.702 Innsetting av vindu i mur- og betong vegger. [Internett] Mars 2012. [Sitert: 6 Mars 2016.]
<http://bks.byggforsk.no/DocumentView.aspx?sectionId=2&documentId=370>.

9. Vedlegg

Vedlegg A - Beregninger

Beregninger

I kapitlet for beregning gjelder kildehenvisningen Drysdale (2001) hvis ikke annet er oppgitt.

Varmeproduksjon med luftstrøm gjennom døren Maksimal lufttilgang

Maksimal lufttilgang beregnet ut fra døren som ventilasjonsåpning i ISO-rommet:

$$\dot{m}_{luft} = 0,5A_{dør}H_{dør}^{1/2} [kg_{luft}/s]$$

$$\dot{m}_{luft} = 0,5 \cdot (1,28m \cdot 1,20m) \cdot 1,28m^{1/2}$$

$$\dot{m}_{luft} = 0,87 [kg_{luft}/s]$$

Varmeproduksjon ved full utnyttelse av lufttilgang

Beregnet branneffekt ved maksimal utnyttelse av lufttilgang:

$$\dot{Q}_{c\ luft} = \Delta H_{c\ luft} \cdot \dot{m}_{luft} [kW]$$

$$\dot{Q}_{c\ luft} = 2,97kJ/g(luft) \cdot 870g_{luft}/s$$

$$\dot{Q}_{c\ luft} = 2583 [kW]$$

3.2 Dimensjonering av brenselkaret

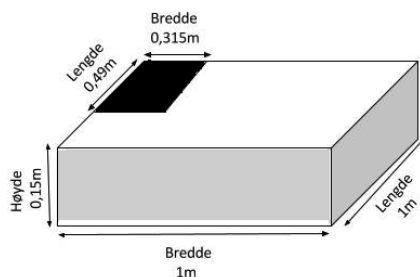
Brenselsareal

Brenselets overflatearealet har innvirkning på hvor stor branneffekten blir. Se figur 1.

$$A_f = l \cdot b - (l_{stein} \cdot b_{stein}) [m^2]$$

$$A_f = 1m \cdot 1m - (0,49m \cdot 0,315m)$$

$$A_f = 0,846 [m^2]$$



Figur 1 – Skisse av brenselkaret med stein

Brenselarealets diameter

I beregninger oppgis vanligvis brenselarealets diameter.

$$A_f = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2 \rightarrow d = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}} [m]$$

$$d = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,846m^2}{\pi}}$$

$$d = 1,038 [m]$$

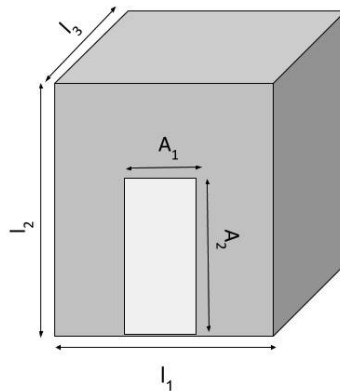
Omhyllingsflaten til ISO-rommet

Utregning av omhyllingsflaten til ISO-rommet er som vist i figur 2.

$$A_T = A_t - A_0 = 2(l_1l_2 + l_1l_3 + l_2l_3) - (A_1 \cdot A_2) [m^2]$$

$$A_T = 2 \cdot (2,40m \cdot 2,15m + 2,40m \cdot 3,15m + 2,15m \cdot 3,15m) - (1,20m \cdot 1,28m)$$

$$A_T = 37,45 [m^2]$$



Figur 2 - Omhyllingsflaten til ISO-rommet

Åpningsfaktoren $A_0\sqrt{H_0}$, der H_0 er høyden til døråpningen

$$A_0\sqrt{H_0} = (h_{dør} \cdot b_{dør}) \cdot \sqrt{h_{dør}} [m]$$

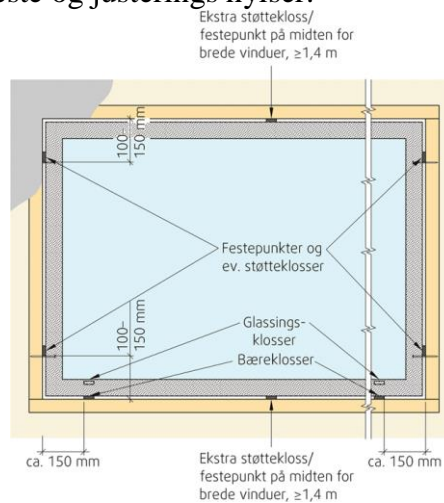
$$A_0\sqrt{H_0} = (1,28m \cdot 1,20m) \cdot \sqrt{1,28m}$$

$$A_0\sqrt{H_0} = 1,74 [m]$$

Vedlegg B - Opprigging av vinduer.

Innsetting av vindu i mur og betongvegger. Byggforsk 523.702

Det skal tilpasses for to vinduer i et ISO rom, hvor vinduene ble montert i henhold til 523.702. Hvis det lar seg gjøre vil vinduene bli montert med skruer og ved hjelp av støtteklosser. Hensikten med støttekilene er å hindre at vinduskarmen blir presset ut av posisjon ved innskruing slik at hjørnesammenføyningene ikke blir ødelagt. Byggforsk sin veiledning for innmontering av vinduer, 523.702, fraråder all bruk av spiker til montering av vinduer. Et alternativ kan være bruk av feste og justerings hylser.



Figur 1

Siden ISO-rommet er bygd av mur/betong ble vinduskarmen isolert med mineralull og tett med en elastisk tetningsmasse. Det ble lagt til en innvendig omramming med gips for å hindre uønsket brannpåkjenning på vindusrammen og tetningsmassen.

(30)

Vedlegg C - Loggføring av arbeid på ResQ

Loggføring av arbeid på Resq

Dato: 05.02.2016

Klokkeslett: 10:30-11:00

Til stede: Joacim, Pål

Gjøremål: Omvisning på Resq

Dato: 24.02.2016

Klokkeslett: 10:30-11:00

Til stede: Joacim, Christer og Pål

Gjøremål: Gjennomgang av sikkerhetsrutiner på ResQ

Dato: 29.02.2016

Klokkeslett: 12:31- 16:00

Til stede: Joacim, Christer og Pål

Gjøremål: Rivning av murvegg på taket av test rom. Testbrann med 3 termoelementer.



Dato: 03.03.2016

Klokkeslett: 12:55-14:40

Til stede: Christer og Pål

Gjøremål: Tilpasset åpning for vinduene



Dato: 09.03.2016

Klokkeslett: 14:55-15:25

Til stede: Christer og Pål

Gjøremål: Kjørte til Gilja for å hente vinduene kl. 09:30. Losset av vinduene på Resq.

Dato: 11.03.2016

Klokkeslett: 10:00-15:25

Til stede: Joacim, Christer og Pål

Gjøremål: Murte på plass en siporex blokk som hadde falt ut og diverse murarbeid.



Dato: 16.03.2016

Klokkeslett: 09:55-15:50

Til stede: Joacim, Christer og Pål

Gjøremål: Kjørte innom Byggmax før vi reiste til Resq og kjøpte noe utstyr. Skrudde fast vinduer, tettet rundt karm med rockwool og påførte brannskum.



Dato: 30.03.2016

Klokkeslett: 13:08-15:41

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Skrudde fast skyve anordning for gipsplate over 2- lagsvinduet. Skar bort unødvendig brannskum.



Dato: 31.03.2016

Klokkeslett: 13:36-15:51

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Var innom skolen og hentet noe utsyr før vi reiste til Resq. Lagde 2 kasser med stativ til vindskjerming av plate- termoelement og strålefluksmålere.



Dato: 01.04.2016

Klokkeslett: 09:50-15:55

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Monterte gipsplater i og rundt vinduskarmer.



Dato: 04.04.2016

Klokkeslett: 10:30-15:55

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Kjørte innom Byggmax og Jernia og handlet inn noe utstyr før vi reiste til Resq. Var også innom Årabrot miljøpark og fikk glassplater og glava. Plassering av termoelementer. Skrudde opp linjal for måling av røykhøyde. Lagde kamerastativ til webkameraer, med skjerm mot branneksponeering. Merket av plassering til stativ til platetermoelement og strålefluksmålere.



Dato: 05.04.2016

Klokkeslett: 10:10-18:20

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Klargjøring og rigging av måleutstyr. Gjennomføring av forsøk nr.1. Rigget ned måleutstyr etter endt forsøk. Ryddet rundt testrommet.



Dato: 06.04.2016

Klokkeslett: 09:20-15:15

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Ryddet inne i testrommet. Fjernet restene av vinduene. Lagde forsikaling og murte på plass siporexblokk som falt ut da 3-lagsvinduet ble fjernet. Forskalet og murte ut vinduskarmer. Monterte 2-lagsvindu. Kjørte innom Würth og handlet skruer på turen hjem.



Dato: 07.04.2016

Klokkeslett: 08:25-17:25

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Fjernet forskaling og monterte 3- lagsvindu. Tettet rundt vinduskarm med glava. Påførte brannskum. Brannskummet sto og tørket i 4 timer. I mellomtiden ble det montert ny skyveanorning for gipsplater foran 2- lagsvinduet. Etter at brannskummet hadde tørket ble vinduskarmene kledd inn med gipsplater.



Dato: 08.04.2016

Klokkeslett: 07:35-14:20

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Spikret fast siste gipsplate rundt 3- lagsvinduet. Tilpasset to gipsplater for dekking av 2- lagsvindu. Riggert til måleutstyr til forsøk nr. 2. Plasserte kameraer. Gjennomførte forsøk nr. 2. Riggert ned utstyr etter forsøket. Ryddet rundt testrommet. Kjørte tilbake utstyr til skolen.





Dato: 11.04.2016

Klokkeslett: 07:30-09:25

Til stede: Joacim og Pål

Gjøremål: Ryddet inne i testrommet. Trakk ut termoelementer og kjørte tilbake utstyr til skolen.

Total tid brukt på praktisk arbeid: 69 timer og 42 minutter + tid til handling og transport tur/retur ResQ.

Vedlegg D - Sikkerjobbanalyse (SJA)

Sikker Jobbanalyse (SJA)

Tittel: Brannforsøk med 2 og 3-lags vinduer gjennomført i et testrom på ResQ Sikkerhetssenter

Avd./Disiplin

Utføres av Branningeniørstudenter fra Høgskolen Stord/Haugesund: Pål Ruud, Christer Rake og Joacim Skogseide

Kontrolleres av Laboratorieansvarlig: Arjen Kraaijeveld

Kontaktperson ved ResQ: Olav Vågen

Observatør: Professor Hans Jørgen Dahl

SJA-ansvarlig

ARJEN KRAAIJEVELD

Beskrivelse av arbeidet

Det skal utføres to forsøk for å identifisere egenskapene til 2 og 3-lagsvinduer i et brannforløp. For å gi like forutsetninger i forsøkene, gjøres det en testbrann i forkant av forsøkene for å fjerne fukt i testrommet.

Innretning

Forsøkene vil foregå i et fullskala testrom bestående av materialet Siporex:

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

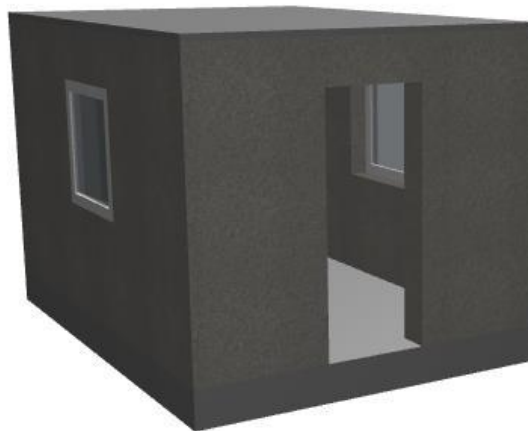
Etter testforsøket vil det bli lagt en presenning over testrommet for å hindre tilførsel av fukt. Det vil bli sagt ut to åpninger tilpasset vinduer med dimensjon 990 x 990 [mm]:

| | |
|-----------------------|-------|
| Vinduåpningens lengde | 1 [m] |
| Vinduåpningens bredde | 1 [m] |

Inne i testrommet er det plassert et brenselkar av metall:

| | |
|--------------------------------------------------------|-------------------------|
| Brenselkarets lengde | 1,00 [m] |
| Brenselkarets bredde | 1,00 [m] |
| Brenselkarets høyde | 0,15 [m] |
| Brenselkarets areal (forminsket med 2 stk lecablokker) | 0,846 [m ²] |

Testrommet er skissert i figur 1.



Figur 1 - Skisse av testrom

Område

Krysset markert i figur 2 viser her testrommet ved ResQ Sikkerhetssenter i Haugesund. Nordsiden av bygget går mot det fri, 1,5m øst for test rommet er det plassert en stålcontainer: resten av omgivelsene består av et åpent og flatt landskap uten hindringer som fører til fare for brannspredning.



Figur 2 - Oversikt over testområde

Utstyrsliste

1. 2 stk. 2-lags vindu 990 x 990 [mm]
2. 2 stk. 3-lags vindu 990 x 990 [mm]
3. 3 stk. PCer
4. 16 stk. hullplater
5. 20 meter rockwool dyttestrimmel
6. 3 stk. std. gipsplater
7. 2 tuber Soudal Soudafoam FR ekspanderende brannskum
8. 15 stk. termoelementer (K-modell)
9. Feste til termoelementer
10. 2 stk. strålefluksmålere (modell) med stativ
11. 2 stk. platetermoelement
12. Kjølesystem/ gummislange for kjølevann til strålefluksmålere (ca. 3mm)
13. Karmskruer
14. Vindmåler

15. Brensel: 150 antall liter diesel-parafin blanding. 8stk. europaller for å redusere dieselforbruket, og for at europaller er et type brensel som er mer likt brenselet i en bolig.
16. Brensel til brannens startfase: 1 liter bensin
17. Drivstoffteller
18. Brenselkar (1 x 1 x 0,15 m)
19. 1 stk. lekablokker for reduksjon av brensel- areal.
20. Vindskjerm til strålefluksmåler
21. 2 stk. HD- videokamera
22. 2 stk. web- kamera
23. Glass til beskyttelse av videokamera
24. Slokkemateriell (1 stk. slanger og strålepistol)
25. Verneutstyr: brannbekledning, brannhjelmer og brannhansker

Forutsetninger

- Studentene må kjenne til gjeldende sikkerhetsrutiner ved ResQ og få tilstrekkelig opplæring i bruk av utstyr
- Forsøkene må foregå innenfor ResQ sine åpningstider
- Forsøkene må legges til en dag hvor det er meldt om gunstige værforhold, uten nedbør og sterk vind.
- Laboratorieansvarlig Arjen Kraaijeveld må være til stede ved forsøk.
- Studentene må kjenne til risiko knyttet til kjemikalier som blir brukt under forsøkene.

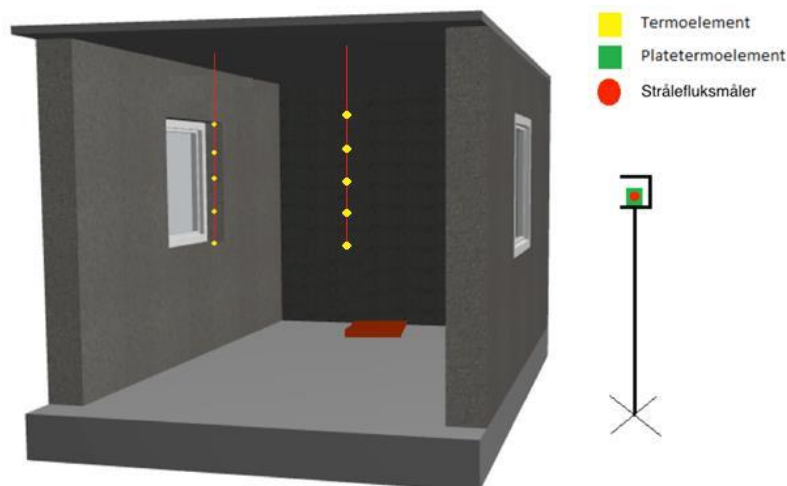
Framgangsmåte

Kort beskrivelse av hva som skal gjøres, trinn for trinn

- Plassering av 3 stk. termoelementer
- Koble til PC
- Fylle i brenselkaret
- Klarere området for uvedkommende
- **Gjennomføring testbrann**
- Montering av vinduer
- Plassering av termoelementer
 - 5 stk på innsiden av begge vinduer, med vertikal avstand på 25 cm som skissert i figur 3
 - 5 stk hengende midt i rommet, med vertikal avstand på 25 cm som skissert i figur 3
- Plassering av strålefluksmålere og platethermoelement.
 - 1,1 m fra vinduet.
- Måle vindhastighet med en vindmåler
- Koble termoelementer og strålefluksmålere til PC
- Sjekke at måledata blir registrert på en tilfredsstillende måte
- Plassering av videokameraer
- Legge ut slokkeutstyr
- Fylle i brenselkaret
- Klarere området for uvedkommende
- **Gjennomføring av forsøk nr.1**
- Montering av vinduer
- Plassering av termoelementer
 - 5 stk. på innsiden av begge vinduer, med vertikal avstand på 25 cm som skissert i figur 3

- 5 stk. hengende midt i rommet, med vertikal avstand på 25 cm som skissert i figur 3
- Plassering av strålefluksmålere og platethermoelement.
 - 1,1 m fra vinduet.
- Måle vindhastighet med en vindmåler
- Koble thermoelementer og strålefluksmålere til PC
- Sjekke at måledata blir registrert på en tilfredsstillende måte
- Plassering av videokameraer
- Legge ut slukkeutstyr
- Fylle i brenselkaret
- Klarere området for uvedkommende
- **Gjennomføring av forsøk nr.2**

Figur 3 gir en skisse over plassering av måleutstyr på inn- og utsiden av testrommet. I tillegg er det skissert hvor brenselkaret er plassert innerst i rommet.



Figur 3 - Plassering av måledata i testrom

Faremoment

- Tennkilder
- Brenselsøl
- For kort avstand fra brannen til personer
- Innånding av røykgass
- Innånding av brensel damp
- Brannspredning

Mulig konsekvens

- Uønsket antennelse av brensel
- Uønsket spredning av brann
- Brann- og røykskader. I verste fall dødsfall
- Giftskader. I verste fall dødsfall
- Materielle skader

Tiltak

- God planlegging i forkant

- Opplæring av sikkerhetsrutiner ved ResQ
- Bruk av verneutstyr
- Bruk av slukkeutstyr
- Varsle personer på området
- Sunn fornuft

Slokkemetode

Det er valgt å bruke vann som slökkemetode under forsøkene. Brannen foregår under kontrollerte forhold i et ubrennbart testrom. Brannen vil ved et normalt testforløp slukkes ved at brenselet tar slutt. Vann blir brukt for å kontrollere områdene rundt testrommet.

Vurdering av størrelsen til brannen

Utregningene er gjort med diesel-parafin blanding som brensel.

Maksimal lufttilgang

Maksimal lufttilgang beregnet ut fra døren som ventilasjonsåpning i ISO-rommet:

$$\dot{m}_{luft} = 0,5 A_{dør} H_{dør}^{1/2} [kg_{luft}/s]$$

$$\dot{m}_{luft} = 0,5 \cdot (1,28m \cdot 1,20m) \cdot 1,28m^{1/2}$$

$$\dot{m}_{luft} = 0,87 [kg_{luft}/s]$$

Varmeproduksjon ved full utnyttelse av lufttilgang

Beregnet branneffekt ved maksimal utnyttelse av lufttilgang:

$$\dot{Q}_{c\ luft} = \Delta H_{c\ luft} \cdot \dot{m}_{luft} [kW]$$

$$\dot{Q}_{c\ luft} = 2,97kJ/g(luft) \cdot 870g_{luft}/s$$

$$\dot{Q}_{c\ luft} = 2584 [kW]$$

Konklusjon

Det blir vurdert at den totale risikoen forbundet med testforsøkene er akseptabel.



2-lag

| Tid | Vindu | Observasjon |
|-----|-------|----------------------------------------|
| 050 | | - røyk |
| 52 | ∩ | sprekt (1) |
| 105 | ∩ | |
| 112 | ∩ | |
| 125 | ∩ | høyk midt |
| 130 | ∩ | hull |
| 133 | | knust |
| 145 | | |
| 146 | ∩ | sprekt (2) |
| 153 | | |
| 158 | ∩ | |
| 202 | ∩ → | hull |
| 220 | ∩ | høyk |
| 240 | (∩) | hull røyk |
| 325 | | røyk gjennom hull |
| 411 | ∩ | hull |
| 425 | ∩ | høyk midt |
| 522 | ∩ | flamme |
| 525 | | høyk flamme gjennom start |
| 542 | | stor hull → flamme, start røyk gjennom |
| 617 | ∩ | flamme |
| 640 | (∩) | hull (men holder sammen) |
| 715 | ∩ | flamme |
| 742 | ∩ | hull røyk under/høyk |
| 810 | ∩ | bremses karbon |
| 850 | ∩ | hullene knust |

Hint/Tips

- *Sprekt glass (røykgjennomtrenging, hvilket glasslag, hvor på glasset)
- *Knust glass (flammer ut av glasset, røyk ut av glasset)
- *Vinduskarmen (røykgjennomtrenging, hvor på karmen, flammer ut av karmen, karmen brenner, synlige åpninger)
- *Vinduet + karm faller ut
- *Glasset faller ut, men karmen står



3-lag

| Tid | Observasjon | |
|-------|----------------------------------|---------|
| 01.38 | " glass 1 nr 1 | Glass 1 |
| | " -11- | 1 |
| 02.03 | " -11- | 1 |
| 02.26 | " | 1 |
| 02.38 | " | 1 |
| 03.00 | sprekk helt | 1 |
| 03.44 | helt nr 1 | 1 |
| 04.15 | sprekk nr 2 | 2 |
| 04.29 | " | 2 |
| 04.46 | " | 2 |
| 04.59 | " | 2 |
| 05.24 | datter ut | 2 |
| 05.41 | " | 2 |
| 06.29 | datter helt ut | 2 |
| 06.50 | sprekk | 3 |
| 07.06 | røyk ut sprekk | 3 |
| 07.40 | sprekk | 3 |
| 07.53 | sprekk | 3 |
| 09.19 | sprekk del datter snarav røyk ut | 3 |
| 09.36 | lyst vindu | 3 |
| 11.17 | Bit ut | 3 |
| 12.41 | Bit ut | 3 |
| 13.09 | Bit ut | 3 |
| | 13.00 Vindu knuser | |

Hint/Tips

- 1 *Sprekt glass (røykgjennomtrenging, hvilket glasslag, hvor på glasset)
- 2 *Knust glass (flammer ut av glasset, røyk ut av glasset)
- 3 *Vinduskarmen (røykgjennomtrenging, hvor på karmen, flammer ut av karmen, karmen brenner, synlige åpninger)
- 4 *Vinduet + karm faller ut
- 5 *Glasset faller ut, men karmen står

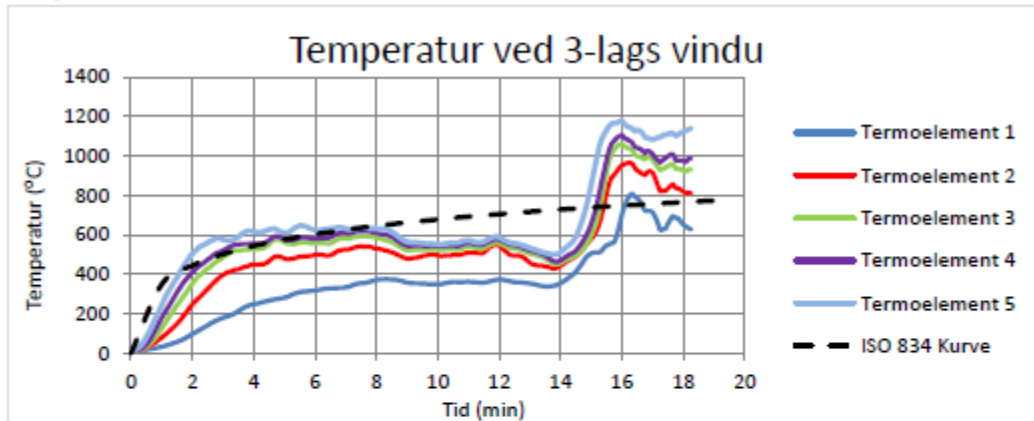
Amalie Kløcker 05.04.16

Starter video 01.47 webcam

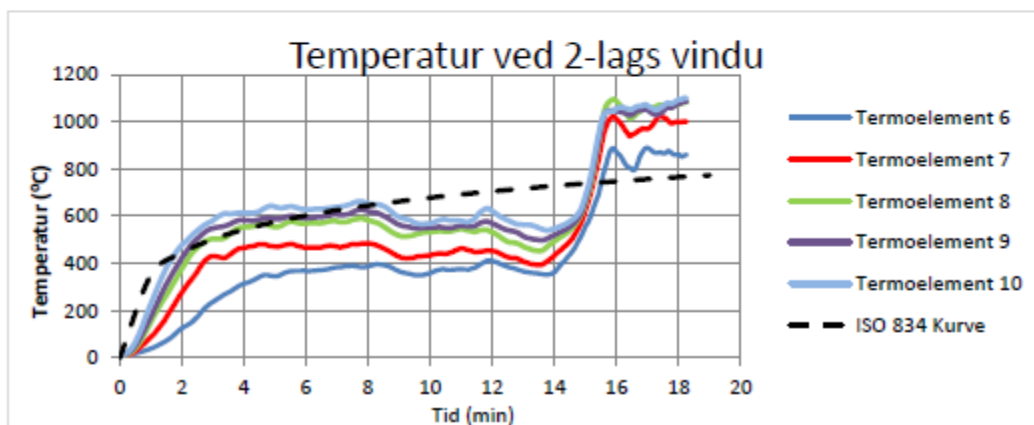
Vedlegg F - Data fra forsøk

Data fra forsøk

Forsøk 1

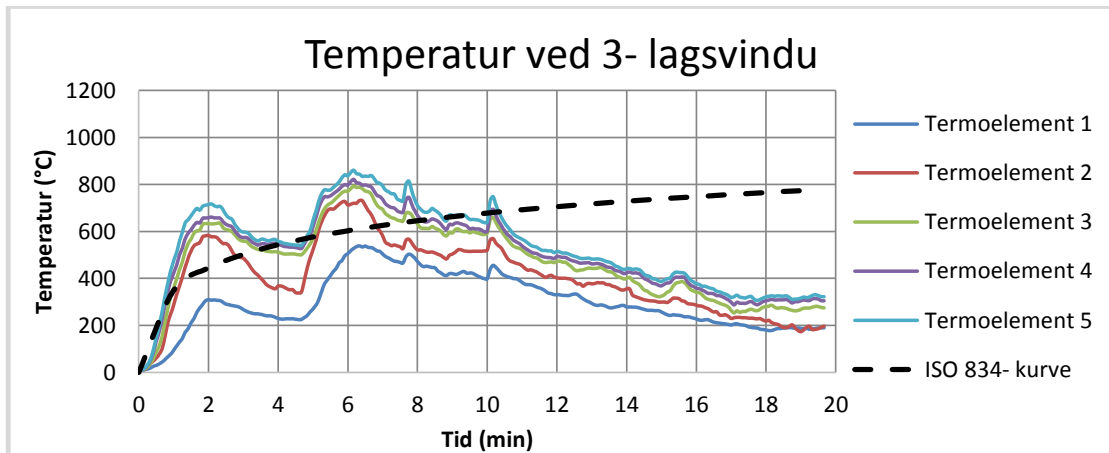


Tabell 1. Grafen viser temperaturen målt ca. 20 cm ut fra 3-lagsvinduet

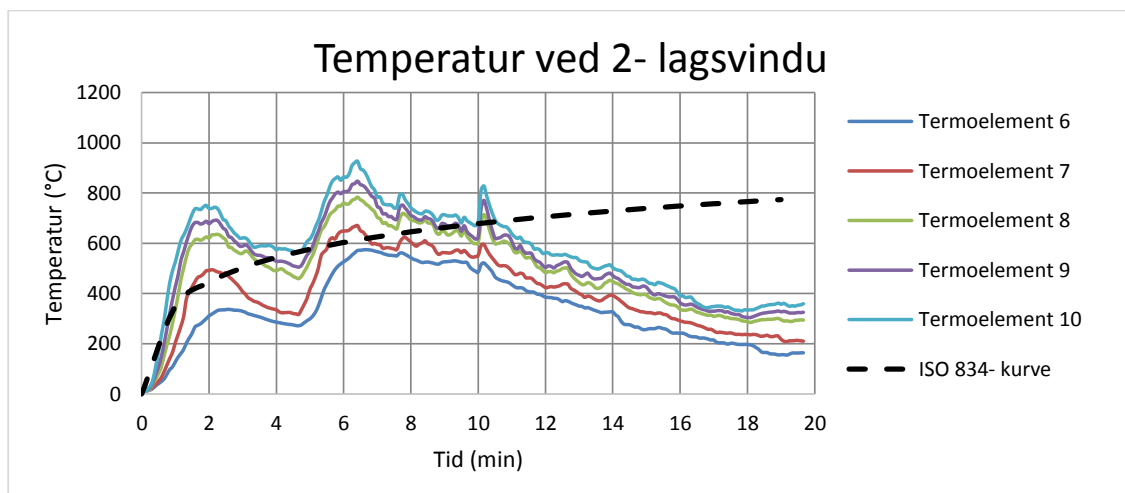


Tabell 2. Grafen viser temperaturen målt ca. 20 cm fra 2-lags vinduet

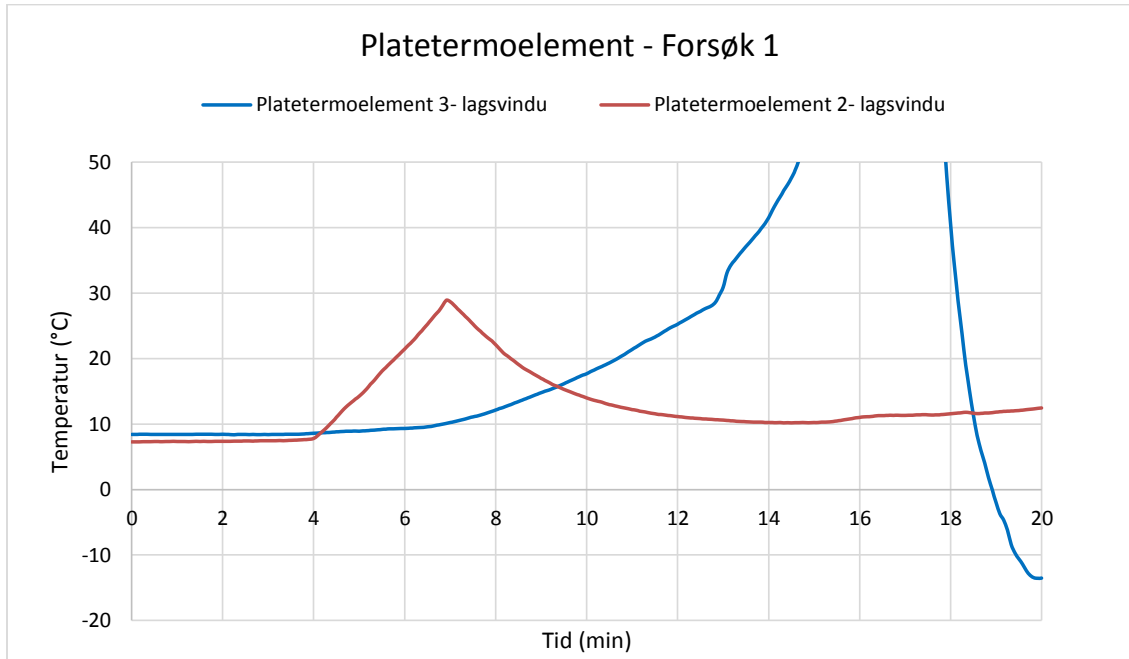
Forsøk 2



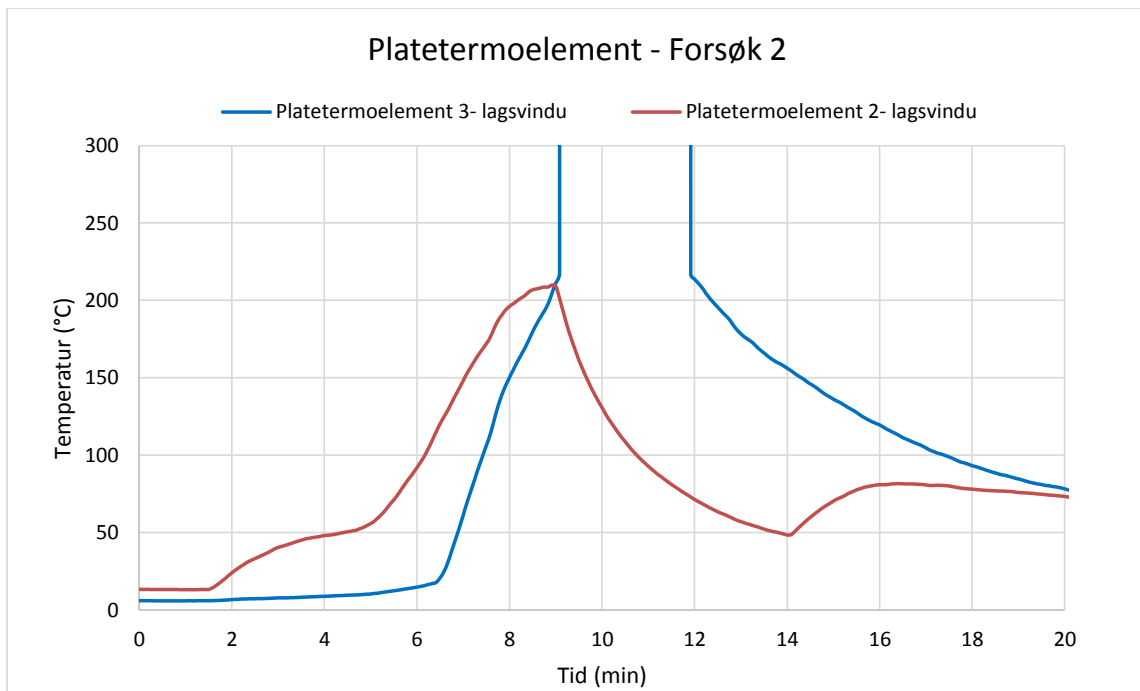
Tabell 3. Grafen viser temperaturen målt ca. 20 cm fra 3- lags vinduet.



Tabell 4. Grafen viser temperaturen målt ca. 20 cm fra 2- lags vinduet.



Tabell 5 Måleresultater fra platetermoelement - forsøk 1



Tabell 6 Måleresultater fra platetermoelement - forsøk 2



Vedlegg G - HMS datablad



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

Certificate of calibration

Type: SBG01-20
Serial Number: 1318

Calibration Date: 19-09-2011
Sensitivity: 0.338 mV·m²/kW
Resistance: 29.3 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:



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: