



Termisk stråling i en to-sonemodell

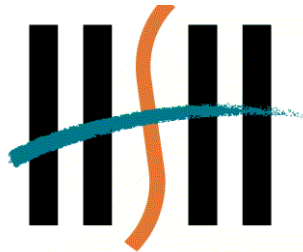


Hovedprosjekt utført ved Høgskolen Stord/Haugesund - Avd. for ingeniørfag

Studieretning : Brannsikkerhet

Av : Ronny André Hagen
Helen Westeng

Kandidat: 17
Kandidat: 31



Høgskolen Stord/Haugesund
Avdeling for ingeniørfag
Bjørnsonsgt. 45
5528 HAUGESUND
Tlf. nr. 52 70 26 00
Faks nr. 52 70 26 01

Oppgavens tittel Termisk stråling i en to-sonemodell		Rapportnummer
Utført av Ronny André Hagen og Helen Westeng		
Linje Sikkerhet		Studieretning Brannsikkerhet
Gradering Åpen	Innlevert Dato 03.05.2002	Veileder ved HSH Alf Reidar Nilsen
Oppdragsgiver Høgskolen Stord/Haugesund		Kontaktperson hos oppdragsgiver Alf Reidar Nilsen

Ekstrakt

Hensikten med oppgaven var å studere hvordan varmestråling i en to-sonemodell ble påvirket av vanndråper sprøytet inn i det varme røyklaget under taket. Alle forsøkene ble utført i et rom med geometri tilnærmet standarden "ISO 9705 Room Corner test".

Det ble utført forsøk med to ulike brensel; bensin og trevirke/møbler. For bensinbrannene ble det prøvd med vanntåke, sprinkler og uten inngrep. I det møblerte rommet ble det gjennomført forsøk med og uten vanntåke.

Det ble sett på hvordan teoretiske modeller for beregning av varmekraft, ved hjelp av måling av temperatur, stemte overens med de målte. Ved sammenligning ble det funnet at de teoretiske modellene gir et relativt likt resultat som ved bruk av varmekraftsmålere, før overtenning.

Resultatene viste også at ved bruk av vanndråper i røyklaget ble røykgasstemperaturen redusert så mye at varmestrålingen ble minimal. Sprinklerdysen og vanntåkedysene (FOGTUBE®) reduserte varmestrålingen omtrent like mye, men ved bruk av vanntåke var vannbehovet bare en tiendedel i forhold til det som ble brukt av sprinklerdysen.

FORORD

I forbindelse med avslutningen av den treårige ingeniørutdannelsen ved Høgskolen Stord/Haugesund skal alle sisteårs studenter gjennomføre et hovedprosjekt. Hensikten med dette prosjektet er at studentene skal få utøvd de faglige kunnskapene som en har tilegnet seg gjennom årene ved Høgskolen, samt tilegne seg faglig kunnskap og erfaring i skriftlig og muntlig presentasjon.

Prosjektet teller 4 vekttall og tar sikte på å la studentene jobbe selvstendig med tverrfaglige problemstillinger. Dette bidrar til at studentene får en mulighet til å vise faglig helhetsforståelse, og evne til å kombinere de ulike fagkunnskapene mot et endelig resultat.

Prosjektet har for oss vært meget lærerikt og interessant. Vi har fått en bedre fordypning i brannndynamikk og erfart hvordan varmestråling i en to-sonemodell fungerer. Spesielt har det vært interessant å betrakte brannforløp på nært hold og sette det i sammenheng med teori. Det har også vært spennende å se på hvordan forskjellige faktorer har hatt en innvirkning på varmestråling.

Vi har også fått erfare at det å gjennomføre praktiske forsøk ikke alltid er enkelt. Murphy's lov har ofte vært hard og brutal, men prosjektet har lært oss at vi kan klare å takle uforutsette hendelser og problemer.

Vi ønsker å takke for all hjelp og støtte i forbindelse med gjennomføringen av prosjektet:

- Doktorgrad stipendiat Alf Reidar Nilsen, HSH, for all støtte som vår interne veileder og Seniorforsker Ragnar Wighus, NBL, som ekstern veileder.
- Res Q for sponning av bensin til brensel og lån av kontor.
- Professor Torgrim Log, HSH og gründer av Faros AS, for utlån av vanntåkedyser og for gode råd og innspill til oppgaven.
- Doktorgrad stipendiatene Leiv Anfin Drange, HSH, og Zia Kazemi, HSH, for god hjelp med utstyr og gode råd og innspill til oppgaven.
- Lab. Ingeniør, ved HSH, Sara Østlund for utlån av instrumenter og utstyr.
- Yaaseen Amith ved maskinlabb. HSH for teknisk hjelp.
- Gisle Kleppe, HSH, for kjempegod hjelp med oppdatering av Labview.
- Medstudentene Øistein V. Nessler, Ole A. R. Larsen og Jonas A. M. Sykfont for all hjelp i forbindelse med oppbygging av møblert rom.
- Vi ønsker også å takke Brødrene Dahl A/S, OBS Bygg og Årabrot miljøpark for sponning av materialer.

Haugesund 03.05.2002

Helen Westeng

Ronny A. Hagen

NOMENKLATURLISTE

A_d	Dråpenes overflateareal	[m ²]
A_f	Overflatearealet til brenselet	[m ²]
A_s	Arealet av det varme røyklaget	[m ²]
$C_{p(G)}$	Varmekapasitet i gassfase	[kJkg ⁻¹ K ⁻¹]
$C_{p(L)}$	Varmekapasitet i væskefase	[kJkg ⁻¹ K ⁻¹]
E	Utstrålt energi	[Wm ⁻²]
ε	Emissivitet	[0 < ε < 1]
ε_g	Røyklagets emissivitet	[0 < ε < 1]
ε_m	Mottakers emissivitet	[0 < ε < 1]
ε_R	Resulterende emissivitet	[0 < ε < 1]
h	Konvektivt varmeoverføringstall	[Wm ⁻² K ⁻¹]
h_{kon}	Konvektiv varmeoverføringstall	[kWm ⁻² K ⁻¹]
ΔH_c	Forbrenningsvarme til brenselet	[kJg ⁻¹]
ΔH_{vap}	Fordampningsvarme	[MJkg ⁻¹]
k	Varmeledningsevnen til materialet	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]
K	Røykens spesifikke absorpsjonskoeffisient	[m ⁻¹]
L	Røyklagets tykkelse	[m]
L_V	Fordampningsvarme	[kJg ⁻¹]
\dot{m}''	Fordampningsrate	[kgm ⁻² s ⁻¹]
\dot{q}_h	Varmestrøm mellom varm gass og dråper	[kW]
\dot{Q}_c	Energiproduksjon	[kW]
\dot{q}''	Transportert varmeenergi pr. flateenhet	[Wm ⁻²]
\dot{q}''_R	Mottatt strålingsenergi	[Wm ⁻²]

\dot{q}_x''	Transportert varmeenergi pr. flateenhet	[Wm ⁻²]
\dot{Q}_E''	Tilbakestrålingen fra de varme røykgassene eller ekstern kilder	[Wm ⁻²]
\dot{Q}_F''	Energioverføring fra flammen til brenseloverflaten	[kWm ⁻²]
\dot{Q}_L''	Energitap fra brenseloverflaten	[kWm ⁻²]
t	Tid	[min]
t^*	Modifisert tid	[timer]
T	Temperatur	[K]
T_a	Absolutt temperatur til det strålende røyklag	[K]
ΔT	Temperatur differanse	[K]
T_d	Dråpenes temperatur	[K]
T_g	Røykgassens temperatur	[K]
T_m	Temperatur til mottakene overflate	[K]
T_o	Starttemperatur	[°C]
T_R	Romtemperatur	[°C]
Δx	Tykkelsen på materialet	[m]
χ	Forbrenningseffektivitet	[0< χ <1]
σ	Stefan-Boltzmann konstant	[5,67·10 ⁻⁸ Wm ⁻² K ⁻⁴]
ϕ	Konfigurasjonsfaktor	[0< ϕ <1]

INNHOLDSFORTEGNELSE

FORORD	3
NOMENKLATURLISTE	4
INNHOLDSFORTEGNELSE	6
SAMMENDRAG	8
1. INNLEDNING	9
1.1 Bakgrunn	9
1.2 Tidligere arbeider og eksperimenter	9
1.3 Forskjell fra tidligere arbeider	10
1.4 Gjennomføring av oppgaven	10
2. TEORI	12
2.1 Energiproduksjon	12
2.2 Røyk	13
2.2.1 To-sonemodellen	13
2.3 Varmetransport	14
2.4 Vann som slökkemiddel	16
2.4.1 Sprinklersystem	16
2.4.2 Vanntåkesystem	17
2.4.3 Dråpeteori	18
2.5 Beregning av temperatur i brannrommet	20
3. UTSTYR OG METODER	22
3.1 Brannrom	22
3.2 Innsamling av data	24
3.2.1 Varmefluksmålerne	24
3.2.2 Vekt	25
3.2.3 Termoelement	25
3.2.4 Datalogger	26
3.2.5 Programvare	27
3.3 Sprinkler-/ vanntåkesystem	27
4. GJENNOMFØRING AV FORSØK	29
4.1 Innledende forsøk og testforsøk med vanntåke	29
4.2 Referanseforsøk, bensinbrann	30
4.3 Forsøk med sprinklerdyse, bensinbrann	33
4.4 Forsøk med vanntåkedyse, bensinbrann	35
4.5 Forsøk med innkledd rom	40
4.5.1 Møblert rom, med aktivering av vanntåkedyser	41
4.5.2 Møblert rom, uten inngrep av vanntåke	42

4.5.3 Sammenligning av forsøkene	44
5. BEREGNINGER.....	45
5.1 Temperaturer i brannrommet.	45
5.2 Gjennomføring av beregninger for total varmekraft og strålekraft ved bensinbrann....	46
5.2.1 Beregnede og målte varmekraft for referanseforsøk	46
5.2.2 Beregnede og målte varmekraft for sprinklerforsøk.....	47
5.2.3 Beregnede og målte varmekraft for vanntåkeforsøk	48
5.3 Beregninger og målinger fra forsøk med møblert rom	49
5.3.1 Sammenligning av beregnet og målt temperatur.....	49
5.3.2 Sammenligning av beregnet og målt strålekraft	50
6. DISKUSJON	52
6.1 Vær og vind.....	52
6.2 Brensel.....	52
6.3 Utstyr.....	52
6.4 Konstanter	53
6.5 Referanseforsøk.....	54
6.6 Forsøk med sprinklerdyse	54
6.7 Forsøk med vanntåke dyse	54
6.8 Møblert rom med og uten vanntåke	55
KONKLUSJONER	57
REFERANSER.....	58
VEDLEGGSLISTE.....	60

SAMMENDRAG

Hensikten med oppgaven var å studere hvordan varmestråling i en to-sonemodell ble påvirket av vanndråper sprøytet inn i det varme røyklaget under taket. Alle forsøkene ble utført i et rom med geometri tilnærmet standarden "ISO 9705 Room Corner test", med dimensjonene 3.6 m · 2.4 m · 2.4 m og "åpen dør" på 0.8 m · 2.0 m.

Varmestrålingen ble registrert ved bruk av varmefluksmålere plassert i et stativ på gulvet midt i rommet. For å kunne beregne varmestrålingen og sammenligne mot den målte, ble det plassert seks termoelementer vertikalt midt i rommet. Gjennomsnittstemperaturen fra disse termoelementene ble benyttet i beregningene. Det ble også satt et termoelement i høyde med varmefluksmålerne.

Det ble utført forsøk med to ulike brensel; bensin og treverk/møbler.

I forsøkene med bensin ble et stålkarr med 11 kg brensel benyttet. Karet ble plassert på en vekt innerst i høyre hjørne av rommet. Det ble gjennomført branner uten inngrep, med sprinklerdyse og med vanntåkedyser. Forsøkene med sprinkler og vanntåke viste at temperaturen sankt betydelig og at varmestrålingen ble kraftig redusert. Den maksimale strålefluksen ble ved bruk av sprinklerdyse redusert fra 26 kWm⁻² til 1.5 kWm⁻² og fra 26 kWm⁻² til 3.8 kWm⁻² med vanntåkedyser.

Ved bruk av vanntåke i bensinbrannene ble den beregnede varmestrålingen litt høyere (0.2-0.4 kWm⁻²) enn den målte, i store deler av forsøkene. Ved beregning av varmestråling tas det kun hensyn til temperaturen i røyklaget og ikke til vanndråper i luften mellom det varme røyklaget og gulvnivå. Differansen kan skyldes at de vanndråpene som trenger gjennom røyklaget blokkerer noe av varmestrålingen.

Brannene med treverk/møbler ble gjennomført med og uten vanntåke. Også her viste det seg at vanntåken reduserte temperatur og varmestråling. Den maksimale strålefluksen ble redusert fra 41 kWm⁻² til 0.8 kWm⁻².

Begge dysetypene var meget effektive til kontroll av brannene. Det ble registrert at vanntåken reduserte varmestrålingen omtrent like mye som ved bruk av sprinkler, men med et lavere vannforbruk. Dette gir redusert fare for brannspredning og overtenning, innsats i rommet ville dermed vært mulig.

Beregning av varmestråling fra de målte temperaturene viste seg å stemme bra overens med de registrerte varmefluksmålingene før overtenning. Dersom varmefluksmålere ikke er tilgjengelig kan temperaturer i brannrommet gi et godt estimat.

1. INNLEDNING

Hovedpunktet i dette prosjektet er å se på hvordan den termiske strålingen ned til gulvnivå endrer seg, med og uten vanndråper, som slippes direkte inn i de varme røykgassene. I den forbindelse er det ønskelig å se på hvordan de beregnede verdiene for stråling stemmer overens med de resultatene som blir målt ved hjelp av varmefluksmålerne.

1.1 Bakgrunn

De ulike typene av varmeoverføring bestemmer hvordan energi transporteres i et brannrom. Under en brann transporteres energi til omkringliggende konstruksjoner via varmeledning, konveksjon og varmestråling. I denne oppgaven ble det testet ut hvor mye energi fra de varme omgivelsene, og i hovedsak røyklaget, som strålte ned til gulvnivå. Da varmestråling til omkringliggende objekter er en viktig årsak til overtenning, ble det også sett på hvordan strålingen kan reduseres ved hjelp av vanndråper som sprøytes direkte inn i røyklaget.

Konseptet med å bruke vanntåke som slökkemiddel er ikke nytt, området har vært veldokumentert helt tilbake til 1930 tallet^[1]. Frem til nå har vanntåke til brannbekjempelse vært lite brukt sammenlignet med andre tradisjonelle slökkemiddel. I forbindelse med utfasing av slökkegassen Halon har derimot forskningen på vanntåke skutt fart. Dette har medført kommersielt tilgjengelige systemer for brannsløkking ved hjelp av vanntåke.

Vann har i alle tider vært et anerkjent slökkemiddel. Fordelen med vann er at det finnes i store mengder, det er effektivt i de fleste branner, det er billig og det er ufarlig for mennesker og miljø. Ved å bruke vanntåke utnyttes vannets egenskaper til opptak av energi i større grad enn ved tradisjonelle sprinkleranlegg. I optimalt tilpassede anlegg vil sekundærskader kunne unngås, som f. eks vannskader, siden vannforbruket er lavere.

Når vanntåke slippes ned i det varme røyklaget vil røykgassene bli nedkjølt. Strålingen som treffer andre objekter vil dermed reduseres, og sannsynligheten for overtenning i brannrommet vil være mindre. Dette er interessant da en av de store truslene for mennesker og materielle verdier er den raske spredningen av brann og røyk, noe varmestrålingen bidrar kraftig til.

1.2 Tidligere arbeider og eksperimenter

I forbindelse med forberedelsene til hovedprosjektet ble det utført litteratur søk og innhentet store mengder informasjon om vanntåke. Gjennomgående viste det seg at mye av fagstoffet innen vanntåke var utarbeidet de siste 10 årene. Men allerede i 1950'årene fant Braidech og Rasbash^{[2], [3]} ut at vanntåke i store branner var mer effektivt enn systemer som benyttet seg av større dråper.

I den senere tid er det utført en mengde eksperimenter i ulike skalaer. I følge SINTEF rapport "Vanntåke slökketeknologi – status 2000"^[4] blir mye av den grunnleggende forskningen om forbrenning utført i liten skala, altså i mindre apparaturer. I rapporten vises det til et forsøk som er gjort for sammenligning av vanntåke og Halon 1301 i en motstrøms brenner. Det ble konkludert med at når dråpene har en diameter på 20 µm er vann like effektivt som Halon 1301 på vektbasis. Fordampningsvarmen til vanndråpene ble maksimalt utnyttet i brennerens flammer.

Ved Høgskolen Stord/haugesund (HSH) har det blitt gjennomført flere forsøk med bruk av vanntåke i rom med geometri tilnærmet standarden ”ISO 9705 Room Corner test”, med dimensjonene 3.6 m · 2.4 m · 2.4 m og ”åpen dør” på 0.8 m · 2.0 m. I et av forsøkene ble det sett på vanntåkens innvirkning på energibalansen i et brannrom^[5]. Dette forsøket viste at vanntåke, sluppet ut fra dyser rett under taket, kjølte røyklaget og fordampningsraten til brenselet avtok. Det ble funnet at energiproduksjonen som følge av redusert tilbakestråling fra røyklaget, til en væskebrann som utviklet om lag 800 kW, utgjorde 20% ved 5 liter vanntåke per minutt og 30% ved 14 liter vanntåke per minutt.

Vanntåke er i utgangspunktet ingen inert gass, men vil ved tilstrekkelig oppvarming fordampe og danne en inert gass (vanndamp). Dette medfører dårligere betingelser for forbrenning og ved tilstrekkelig uttynning kan vanndampen føre til at forbrenningen opphører. SINTEF NBL har utviklet og verifisert en empirisk modell for når slokking i et rom oppnås, basert på temperatur og oksygenkonsentrasjon i den gassen som trekkes inn i flammen^[6]. Modellen viste at dersom temperaturen i den luften som tilføres flammesonen økes, må en senke oksygenkonsentrasjonen mer for å få til slokking. Det vil si at jo høyere temperatur en har, jo lavere brenselkonsentrasjon trenger en for antennelse.

1.3 Forskjell fra tidligere arbeider

Tidligere arbeider har i stor grad tatt for seg slokkeeffekten til vanndråper avhengig av størrelse på dråper, antall dyser, plassering av dysene og vanntrykket. Andre arbeider har tatt for seg hvordan dråpene virker inn på energibalansen i brannrommet.

I denne oppgaven vil fokuset vært rettet mot hvordan termisk stråling fra de varme omgivelsene endrer seg med bruk av vanndråper sprøytet inn i det varme røyklaget under taket. Det er utført lite arbeider som viser målinger av termisk stråling og sammenligninger mot beregninger i denne typen rom. Denne oppgaven dreier seg derfor mer om endringer i termisk stråling enn det å slokke selve brannen.

1.4 Gjennomføring av oppgaven

Alle forsøkene ble gjennomført i et rom med geometri tilnærmet standarden ”ISO 9705 Room Corner test”. I bensenbrannene ble et kar med 11 kg brensel plassert i høyre hjørne lengst fra ventilasjonsåpningen. For å studere hvordan den termiske strålingen endrer seg til et punkt på gulvet, med og uten vanndråper i det varme røyklaget, ble det plassert varmekulde målere i et stativ midt på gulvet. Beregninger av varmestråling ble sammenlignet med de målte verdiene. Karet med bensen ble plassert på en vekt, slik at vektetapet til en hver tid kunne måles og energiproduksjonen beregnes. For å beregne strålingen fra røyklaget ble seks termoelementer plassert vertikalt midt i rommet og et termoelement i høyde med varmekulde målerne. Ut fra tidligere erfaringer vil det oppstå en to-sonemodell med varm røyk i taket og kald innstrømmende luft ved gulvnivå. De seks termoelementene ble derfor plassert i området 0.024 m fra taket til 1.2 m fra taket. I tillegg ble det plassert en stein, av samme materiale som resten av rommet, på gulvet med tre termoelementer i ulik dybde.

Det ble først gjennomført tre forsøk med bensen som brensel, uten slokkemiddel. Disse forsøkene ble brukt som referanse. Deretter ble det utført et forsøk med bensen som brensel, med inngrep fra en sprinklerdyse. Så tre forsøk med bensen som brensel, med inngrep fra to vanntåkedysere (FOGTUBE®).

Til slutt ble det gjennomført to forsøk der ISO-rommet delvis ble kledd med sponplater og møblement ble plassert inn i rommet (sofa, bord, stol, seng og hylle). I det første forsøket ble vanntåke benyttet for å kjøle røyklaget, mens i det andre fikk brannen utvikle seg fritt.

2. TEORI

Det meste av teori innen brannndynamikk er hentet fra D. Drysdale^[7]. I tillegg er det innhentet stoff fra rapporter og publikasjoner for å beskrive teori innen røyk og vanntåke. Beregningsverktøyet for bruk til møblert rom baseres på Eurocode^[8].

2.1 Energiproduksjon

I forsøkene vil det bli brukt brensel som forbrenner ved en eksoterm oksidasjonsprosess. Brann er definert som ”ukontrollert forbrenningsprosess som kjennetegnes av varmeavgivelse, ledsaget av røyk, flamme eller gløding”^[9]. Oksidasjon er en kjemisk reaksjon som krever oksygen. Når brenselet reagerer med oksygen dannes det en rekke produkter bl.a. karbondioksid, karbonmonoksid og vanndamp. Mange av produktene dannes grunnet ufullstendig forbrenning. Et uttrykk for energiproduksjon er gitt som^[7]:

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

der

\dot{Q}_c	=	energiproduksjon	[kW]
χ	=	forbrenningseffektivitet	[0 < χ < 1]
\dot{m}''	=	fordampningsrate	[kgm ⁻² s ⁻¹]
ΔH_c	=	forbrenningsvarme til brenselet	[kJg ⁻¹]
A_f	=	overflatearealet til brenselet	[m ²]

Likn. 2.1 viser at energiproduksjonen er avhengig av forbrenningseffektiviteten, fordampningsraten (hvor mye som forbrennes), brenselets overflate og forbrenningsvarmen.

Fordampningsraten kan uttrykkes som^[7]:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F'' - \dot{Q}_L''}{L_v} \quad [\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}] \quad (2.2)$$

der

\dot{Q}_F''	=	energioverføring fra flammen til brenseloverflaten	[kWm ⁻²]
\dot{Q}_L''	=	energitap fra brenseloverflaten	[kWm ⁻²]
L_v	=	fordampningsvarme	[kJg ⁻¹]

Siden forsøkene skjer inne i et rom, vil det dannes et varmt røyklag. Røyken som legger seg i taket vil, i tillegg til flammene, avgi energi i form av stråling. Dette vil påvirke brannforløpet ettersom noe av denne energien vil bidra til oppvarming av brenselet, og derved økt fordampningsrate. Denne effekten kan uttrykkes som:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{Q}_F'' + \dot{Q}_E'' - \dot{Q}_L''}{L_v} \quad [\text{gm}^{-2}\text{s}^{-1}] \quad (2.3)$$

der

\dot{Q}_E''	=	tilbakestrålingen fra de varme røykgassene eller ekstern kilder.	[Wm ⁻²].
---------------	---	--	----------------------

Ved å bruke vandrdåper i brannplumen vil følgende kunne oppnås^[10]:

- Kaldere flamme \Rightarrow lavere \dot{Q}_F''
- Mindre IR gjensidig stråling \Rightarrow lavere \dot{Q}_E''
- Større varmetap til tåke enn til luft \Rightarrow større \dot{Q}_L''
- Fuktet overflate \Rightarrow større L_V

Alle disse leddene vil bidra til en lavere fordampningsrate, \dot{m}'' , og reduksjon av varmeproduksjon.

2.2 Røyk

Det som til vanlig betegnes som røyk består egentlig av oppvarmet luft, samt uforbrente gasser og partikler fra selve forbrenningsprosessen. De vanligste forbrenningsgassene er karbondioksid, CO_2 , og karbonmonoksid, CO , men det dannes også en rekke andre giftige og ikke giftige produkter, avhengig av hvilke materialer som brenner. Mengden av forbrenningsgasser er derfor i stor grad avhengig av hva som brenner og betingelsene for selve forbrenningsprosessen.

Den mest vanlige beskrivelsen av en typisk brann i et rom er to-sonemodellen, Fig 2.1. To-sonemodellen er en forenklet måte å modellere brannforløpet på. Modellen baserer seg på at røykgasser inne i et lukket rom deler seg inn i et kaldt og et varmt sjikt. Denne antagelsen antas å være riktig for små branner og relativt små rom før overtenning. Den vil altså være gjeldene for det ISO-rommet som skal benyttes, i tiden før eventuell overtenning.

2.2.1 To-sonemodellen

En brann i et rom kan utvikle seg på mange forskjellige måter. Forskjellene kommer av rommets geometri, ventilasjon, type brensel, mengde brensel og overflateområde. Hvor stor røykutvikling brannen vil avgi er avhengig av bl.a. materialer som brenner, hvor brennbart materialene er og brannbelastningen i brannrommet.

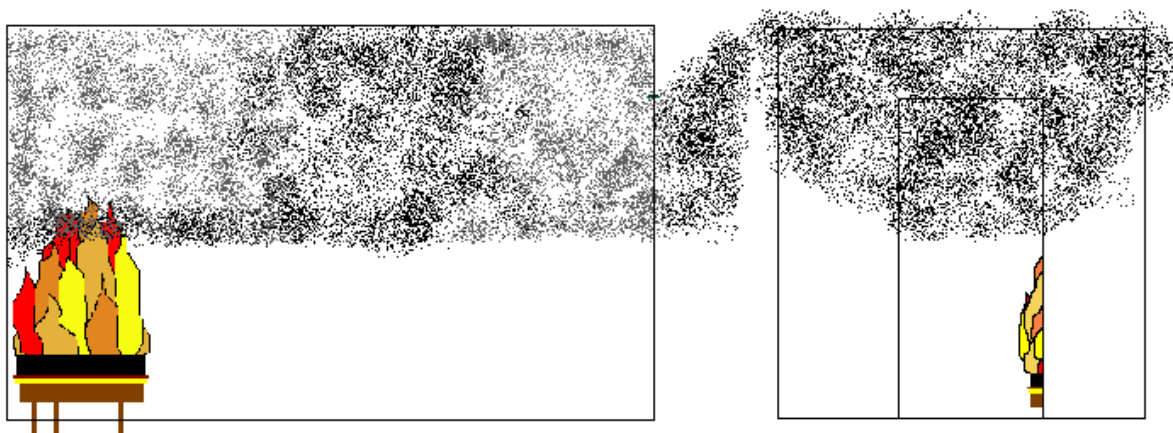


Fig. 2.1 Skisse av to-sonemodellen sett fra siden, t.v., og sett forfra, t.h.

Ved flammebrann vil forbrenningsprosessen skape varme som fører til at branngassene stiger oppover. Dette kommer av at de varme branngassene har lavere tetthet enn luften omkring, og

tetthetsforskjellen får da den varme røyken eller varme luften til å stige. Den ”røyksøylen” som da vil bevege seg oppover blir kalt for brannplumen.

Etter hvert som brannplumen stiger vil mer luft blandes inn. Dette vil føre til at den øker i tverrsnitt, får lavere temperatur og lavere hastighet ved økt høyde.

Dersom den varme røyken treffer en hindring, for eksempel taket i et rom, legger den seg oppunder taket. Det varme røyklaget er lettere enn luften nede ved gulvet, og det vil derfor stabilisere seg oppunder taket dersom ikke avkjøling eller omrøring finner sted.

Røyklaget vil gradvis bli tykkere inntil røyken kan unnsnippe til omgivelsene gjennom dører, vinduer og/eller luker. De varme gassene i røyklaget vil da sive ut gjennom den øvre delen av åpningen, mens frisk luft vil bli sugd inn via den nedre delen, se Fig. 2.1.

2.3 Varmetransport

For å forklare varmetransporten i brannrommet er det tre grunnleggende mekanismer som vil bli brukt^[7]:

- 1 – Ledning
- 2 – Konveksjon
- 3 – Stråling

1 – Ledning

Ledning assosieres ofte ved varmetransport i faste stoffer. Det er kjent at varme vil forflytte seg fra et område med høy temperatur til et med lavere temperatur. Dette kan uttrykkes som:

$$\dot{q}_x'' = -k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.4)$$

der

\dot{q}_x''	=	transportert varmeenergi pr. flateenhet	[Wm ⁻²]
k	=	varmeledningsevnen til materialet	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]
Δx	=	tykkelsen på materialet	[m]
ΔT	=	Temperatur differanse kald/varm side	[K]

Varmeledningsevnen, k , er karakteristisk for hvert enkelt materiale og kan variere med temperaturen i materialet.

2 – Konveksjon

Konveksjon er varmetransport mellom et fast stoff og omkringliggende fluid. Den empiriske sammenhengen ble først diskutert av Newton som:

$$\dot{q}'' = h \cdot \Delta T \quad (2.5)$$

der

\dot{q}''	=	transportert varmeenergi pr. flateenhet	[Wm ⁻²]
h	=	konvektivt varmeoverføringstall	[Wm ⁻² K ⁻¹]
ΔT	=	temperaturdifferanse fast stoff/fluid	[K]

Det konvekktive varmeoverføringstallet, h , er avhengig av karakteristikken for systemet, geometrien til det faste stoffet og egenskapene til fluidet. Å bestemme størrelsen til h har vist seg å være et stort problem for varmetransport og fluid dynamikk. De typiske verdiene ligger i området 5-25 Wm⁻²K⁻¹ for fri konveksjon og 10-500 Wm⁻²K⁻¹ for tvungen konveksjon i luft.

3 – Stråling

I henhold til Stefan-Boltzmann ligning vil den totale energien sendt ut fra et legeme øke med T^4 . Den totale utstrålingen av energi er:

$$E = \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.6)$$

der

E	=	utstrålt energi	[Wm ⁻²]
ε	=	emissiviteten til strålende legeme	[0 < ε < 1]
σ	=	Stefan-Boltzmann konstant	[5,67·10 ⁻⁸ Wm ⁻² K ⁻⁴]
T	=	temperaturen til legemet	[K]

For å finne ut hvor mye stråling som faller på et mottakene punkt må det tas hensyn til den geometriske sammenhengen mellom sender og mottaker. Denne sammenhengen kalles konfigurasjonsfaktor. Dette gir uttrykket for mottatt strålingsenergi:

$$\dot{q}''_R = \phi \cdot \varepsilon_R \cdot \sigma \cdot (T_R^4 - T_m^4) \quad (2.7)$$

der

\dot{q}''_R	=	mottatt strålingsenergi	[Wm ⁻²]
ϕ	=	konfigurasjonsfaktor	[0 < ϕ < 1]
ε_R	=	resulterende emissivitet	[0 < ε < 1]
σ	=	Stefan-Boltzmann konstant	[5,67·10 ⁻⁸ Wm ⁻² K ⁻⁴]
T_R	=	temperatur i røyklaget	[K]
T_m	=	temperatur til mottakene overflate	[K]

Konfigurasjonsfaktoren kan beregnes ut fra tabeller og grafer i litteratur^[7].

Den resulterende emissiviteten for røyklager og det som mottar strålingen kan uttrykkes som:

$$\varepsilon_R = \frac{1}{\frac{1}{\varepsilon_g} + \frac{1}{\varepsilon_m} - 1} \quad (2.8)$$

der

$$\begin{aligned} \varepsilon_g &= \text{røyklagets emissivitet} \\ \varepsilon_m &= \text{mottakers emissivitet} \end{aligned}$$

Emissiviteten til røyklaget kan beregnes ut fra:

$$\varepsilon_g = 1 - \exp(-KL) \quad (2.9)$$

der

$$\begin{aligned} \varepsilon_g &= \text{røykgassens emissivitet} && [0 < \varepsilon < 1] \\ K &= \text{røykens spesifikke absorpsjonskoeffisient} && [\text{m}^{-1}] \\ L &= \text{røyklagets tykkelse} && [\text{m}] \end{aligned}$$

Emissiviteten vil nærme seg 1 når den optiske tettheten øker. Mottakers emissivitet er ofte ukjent og må antas.

2.4 Vann som sløkkemiddel

Vann har i alle tider vært et anerkjent sløkkemedium. Fordelen med vann er at det finnes i store mengder, det er effektivt i de fleste branner, det er billig og det er ufarlig for mennesker og miljø.

Måten å bruke vann som sløkkemiddel har endret seg mye over årene. Fra å bruke ”bøtter og kar” har det i de siste hundre år blitt forsket på å utnytte vannet på en bedre måte. Dette har etter hvert resultert i bedre sløkkemetoder med mindre bruk av vann. Sprinklersystemer og vanntåkesystemer er to metoder som vil bli nærmere forklart og brukt i forsøkene.

2.4.1 Sprinklersystem

Sprinkleranlegg er den eldste form for stasjonære sløkkeanlegg. Dagens sprinklerhoder med spredeplate så dagens lys i 1880-årene og har etter dette gjennomgått liten utvikling^[11]. Sprinklerhoder gir store dråper som har til hensikt å kjøle konstruksjoner og/eller trenge inn i brensel.

Det finnes ulike systemer på markedet og et av de mest brukte er våtsprinkleranlegg. Slike system gjenkjennes ved at rørsystemet står under trykk og at sprinklerhodene er stengt ved at en sikringsenhet, i hvert enkelt hode, holder vannet tilbake. For områder som utsettes for frost kan tørrsprinkleranlegg benyttes. Dette er anlegg hvor rørene i det utsatte området er fylt med trykksatt luft. Ved utløsning av et sprinklerhode vil trykket falle og vann tilføres. I områder hvor kjøling av konstruksjoner er viktig kan Deluge-anlegg benyttes. Ved deteksjon av brann vil alle Deluge-dysene i samme område gi vannspray samtidig. Det finnes flere andre anlegg enn dette, både innenfor virkemåte og sløkkemedium i rørene.

2.4.2 Vanntåkesystem

Det som defineres som vanntåke har en bred ramme, og har blitt forsøkt beskrevet på mange måter.

I NFPA 750 (1996)^[12] beskrives vanntåke som en fin spray av vann for effektiv kontroll, eller slokking av branner med begrenset bruk av vann. Tilfredsstillende designede vanntåkessystemer kan være effektive i både flytende brensel (klasse B) og faste stoff (klasse A). Forskning indikerer at dråper mindre enn 400 μm er essensielt for slokking av klasse B branner, mens større dråper er effektive for klasse A branner hvor fuktig av brenselet er en fordel. Vanntåke har derfor blitt delt opp i tre klasser innenfor spekteret 0 μm – 1000 μm . Fra disse klassene kan en definere dysene ut fra den kumulative volumprosenten av dråpestørrelsene i Fig. 2.2.

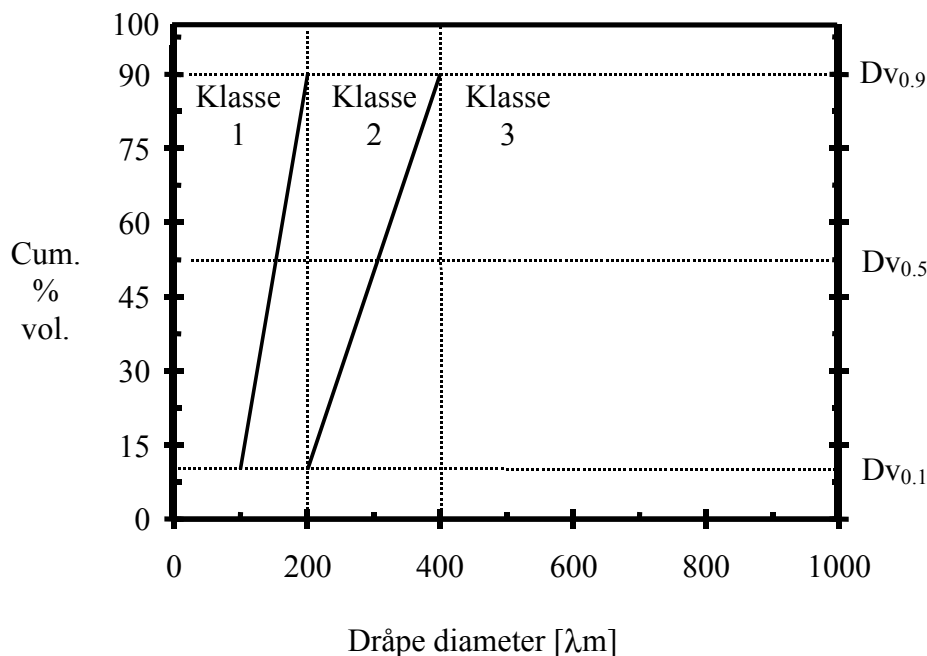


Fig 2.2 Klassifisering av vanntåke etter dråpestørrelsesfordeling. NFPA 750 1996^[12]

Vanntåke klasse 1

Klasse 1 representerer den "fineste" vanntåken med en kumulativ volumprosent til venstre for den linjen som forbinder $Dv_{0.1} = 100 \mu\text{m}$ og $Dv_{0.9} = 200 \mu\text{m}$.

Vanntåke klasse 2

Denne mellomklassen inneholder dråper som fortsatt vil være effektiv mot flytende brensel. Samtidig vil det oppnås en vesentlig fukting av brenselet, noe som er en fordel ved slokking av brann i faste materialer. Grensene for klasse 2 ligger i området $Dv_{0.1} = 200 \mu\text{m}$ og $Dv_{0.9} = 400 \mu\text{m}$.

Vanntåke klasse 3

Klasse 3 representerer den ”groveste” vanntåken med en kumulativ volumprosent som ligger til høyre for skillelinjen til klasse 2 vanntåke, der $Dv_{0,9}$ er større enn 400 μm . $Dv_{0,99}$ skal være mindre enn 1000 μm .

Denne inndelingen i klasser av vanntåke gir en god illustrasjon på hvilke dyser en kan benytte ut fra hvilken type brann en forventer. I siste utgave av NFPA 750 fra 2000 er denne definisjonen av klasseinndelingen forlatt. Bakgrunnen for dette var at leverandørene av lavtrykks vanntåkesystemer uttrykte motstand mot at systemer med større dråper fikk betegnelsen klasse 3^[4]. Dette kunne av markedet oppfattes som at klasse 3 ble rangert som ett mindre ”bra” alternativ enn klasse 1 og 2.

I SINTEF rapporten ” Vanntåke slokketeknologi – status 2000”^[4] poengteres det at det pr i dag ikke finnes en omforent definisjon av vanntåke. En mulig definisjon av begrepet er: En vannspray hvor en stor del av vandråpene har evne til å følge strømmingen i et brannrom og ikke umiddelbart felles ut og falle mot gulvet.

2.4.3 Dråpeteori

Størrelsen på dråpene er vesentlig i den egenskapen vannet får som slokkeeffekt. De relativt store dråpene fra en sprinkler vil oppnå en hastighet som gjør at de i stor grad trenger gjennom røyklaget. Vanntåke har mindre dråper som vil oppholde seg lengre i røyklaget. På grunn av størrelsen på disse vandråpene vil de kunne fordampe og kreve energi fra brannen. De dråpene som ikke fordamper eller følger røyken ut av rommet vil kunne trenge ned mot flammen. De store dråpene fra sprinkler vil kunne treffe brenselet, mens de små dråpene fra vanntåken med stor sannsynlighet vil fordampe i flammene før de treffer brenselet. Dette er illustrert i Fig. 2.3.

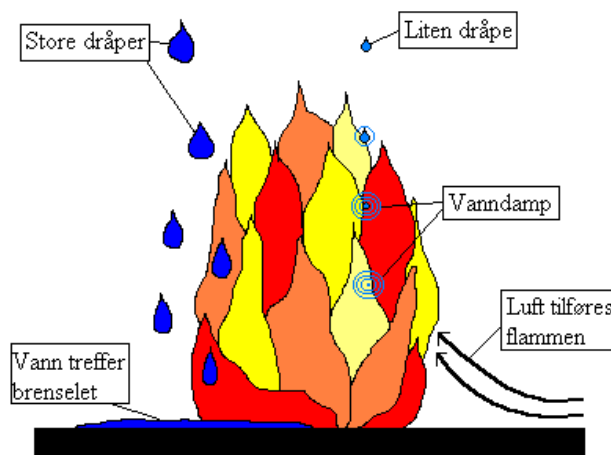


Fig. 2.3 Forskjell på små og store dråper.

Generelt vil dette si at vanntåke vil oppholde seg lenger i røyklaget og dermed kjøle ned gassene. Dråpene som trenger gjennom røyklaget vil kunne komme ned til et område hvor de blir dradd inn i flammen sammen med den tilførte luften. Veldig små dråper vil kunne bli løftet opp i røykgassene igjen. I den forbindelse vil mye av vannet gå over fra væske til damp og dermed fortrenge oksygen. I det tidsrommet dråpene svever i luften vil de også

blokkere/oppta termisk stråling. Dråpene fra sprinklerdysen vil også kjøle røykgassene, men i mindre grad enn vanntåken. De store dråpene vil i stor grad kjøle ned brenselet og omgivelsene de treffer. Dersom dette vannet fordampes vil det bidra til oksygenfortrengning.

De tre mekanismene for vanddråper som brukes til brannslukking i et brannrom er derfor^[10]:

- 1 – Kjøling
- 2 – Oksygenfortrengning
- 3 – Blokkering av termisk stråling

1 – Kjøling

Når vann tilføres en brann vil varmen absorberes på tre forskjellige områder: fra de varme gassene og flammen, fra brenselet, og fra objektene og overflatene i nærheten av brannen. Kjøling av brenselet og omkringliggende objekter fører til en redusert brannspredning grunnet redusert pyrolyse fra brenselet og lavere tilbakestråling fra omgivelsene.

På grunn av vannmolekylens sterke hydrogenbindinger kreves det store mengder energi for å fordampe vann i forhold til andre væsker med tilsvarende molekylvekt. Dette gir utslag i høy fordampningsvarme og varmekapasitet.

- $\Delta H_{\text{vap}} = 2.26 \text{ MJkg}^{-1}$ (fordampningsvarme)
- $C_{p(L)} = 4.18 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ (varmekapasitet i væskefase)
- $C_{p(G)} = 2.20 \text{ kJkg}^{-1}\text{K}^{-1}$ (varmekapasitet i gassfase)

Det er derfor helt avgjørende at vannet når en temperatur på 100°C siden det er fordampningsprosessen og ikke oppvarmingen til kokepunktet som krever mest energi. For å varme opp 1 kg vann fra 5°C til 100°C trengs det ca. 409 kJ, mens det trengs ca. 2257 kJ i fordampningsfasen, altså omtrent 5.5 ganger mer.

Kjøling av de varme gassene og flammen skjer ved en konvektiv energistrøm til hver dråpe uttrykt ved:

$$\dot{q}_h = A_d \cdot h_{kon} \cdot (T_g - T_d) \quad (2.10)$$

der

\dot{q}_h	=	varmestrøm mellom varm gass og dråper	[kW]
A_d	=	dråpenes overflateareal	[m ²]
h_{kon}	=	konvektiv varmeoverføringstall	[kWm ⁻² K ⁻¹]
T_g	=	røykgassens temperatur	[K]
T_d	=	dråpenes temperatur	[K]

Arealet på hver vanddråpe har derfor stor betydning for opptaket av energi pr. tidsenhet. 1 liter vann omgjort til typisk vanntåkedråper på 100 µm vil ha et samlet overflateareal på 60 m², mens større dråper fra sprinkler på 1500 µm vil ha et overflateareal på 4 m².

2 – Oksygenfortrengning

Vann utvider seg omtrent 1700 ganger i overgangen fra kokepunktet til damp ved 1 atmosfære trykk. Når dette skjer raskt vil vanddampen fortrenge luften (oksygen). Dette bidrar til en redusert forbrenning og det kreves høyere temperaturer for å antenne røyklaget. Hydrokarbonbranner vil kunne brenne ned til en oksygenkonsentrasjon på 13 vol. %. Dette forutsetter tette rom eller fordampning nær brenselet.

3 – Blokkering av termisk stråling

Virkingen av vanndråper i området mellom strålekilden og mottaker er kanskje den letteste å få ”føling” med. I nærheten av en varmekilde vil varmestrålingen være lett å føle mot bar hud. Dersom det settes opp en ”vanngardin” mellom strålekilde og mottaker vil varmestrålingen reduseres og dermed føles betraktelig mindre.

Ved bruk av bensin som brensel vil det bli høy temperatur i rommet og det vil oppstå et tykt mørkt røyklag. Den høye temperaturen og det mørke røyklaget med høy emmisivitet er viktige faktorer i varmetapet fra røykgassene og omgivelsene. Dette varmetapet uttrykkes ved:

$$\dot{q}_r = A_s \cdot \varepsilon \cdot \sigma \cdot T^4 \quad (2.11)$$

der

A_s	=	arealet av det varme røyklaget	[m ²]
ε	=	emissivitet	[0 < ε < 1]
σ	=	Stefan Boltzmann konstant	[5,67·10 ⁻⁸ Wm ⁻² K ⁻⁴]
T_a	=	absolutt temperatur til det strålende røyklaget	[K]

Bruk av vanndråper i røyklaget vil redusere temperaturen grunnet stort energiopptak, samtidig vil dråpene reflektere/absorbere mye av IR strålingen. Ved bruk av 100 gm⁻³ vanntåke, tåke på grenselinjen mellom klasse 1 og 2 ($D_{v0.1} = 100 \mu\text{m}$ og $D_{v0.9} = 200 \mu\text{m}$), med en fallengde på 1m kan det oppnås 60% blokkering av termisk stråling fra et svart objekt på 800°C^[13]. Teoretisk er den mest effektive absorpsjonen av termisk stråling observert for veldig små dråper i området 1 – 10 μm .^{[14], [15]}

2.5 Beregning av temperatur i brannrommet.

Det finnes ulike metoder å estimere temperaturen i et rom ved brannutvikling. En forenklet metode er standard tid-temperaturkurve fra ISO-834^[16]. Dette er en prøvekurve i ovn som ikke krever noen informasjon om brannbelastning og ventilasjonsforhold:

$$T_R = T_0 + 345 \log_{10}(8t + 1) \quad (2.12)$$

der

T_R	=	romtemperaturen	[°C]
T_0	=	starttemperatur	[°C]
t	=	tid	[min]

Avkjølingsfasen skjer med 10°C min⁻¹ ^[20].

For bergning av romtemperatur i branner der hydrokarboner er brensel finnes det også en forenklet metode. Her tas det heller ikke hensyn til brannbelastning og ventilasjonsforhold^[8]:

$$T_R = 660 \cdot (1 - 0,687e^{-32t} - 0,675e^{-3,8t}) + 20 \quad (2.13)$$

der

$$\begin{array}{lll} T_R & = & \text{romtemperatur} & [^{\circ}\text{C}] \\ t & = & \text{tid} & [\text{min}] \end{array}$$

Avkjølingen er lik som i Likn. 2.12.

Dersom det skal tas hensyn til brannbelastning og ventilasjonsforhold kan den parametriske kurven fra Eurocode benyttes^[8].

$$T_R = 1325 \cdot (1 - 0,324e^{-0,2t^*} - 0,204e^{-1,7t^*} - 0,472e^{-19t^*}) \quad (2.14)$$

der

$$\begin{array}{lll} T_R & = & \text{romtemperatur} & [^{\circ}\text{C}] \\ t^* & = & \text{modifisert tid} & [\text{timer}] \end{array}$$

Beregning av t^* er avhengig av ulike faktorer. Dette er bl.a. åpningsfaktor og egenskapene (konduktivitet, tetthet og varmekapasitet) til materialene som inngår i branncellen. Modellen tar hensyn til hva som befinner seg i rommet og hvordan vegger, tak og gulv er oppført. Det er også gitt formelverk for beregning av nedkjøling.

Beregningen av t^* og avkjølingsfasen består av flere formler og er beskrevet i standarden.

3. UTSTYR OG METODER

Det meste av utstyret som ble benyttet under dette hovedprosjektet ble lånt fra HSH sine kontorer ved Res \dot{Q} , Bleivik.

3.1 Brannrom

Forsøkene ble utført i et rom, Fig 3.1 og 3.2, med størrelse og volum gitt i standarden "ISO ROOM Corner test". Dette rommet er beskrevet i ISO 9705:1993(E) ^[17], standarden blir også brukt til materialtesting. Rommet ble valgt fordi det har blitt brukt til lignende forsøk tidligere^[5].

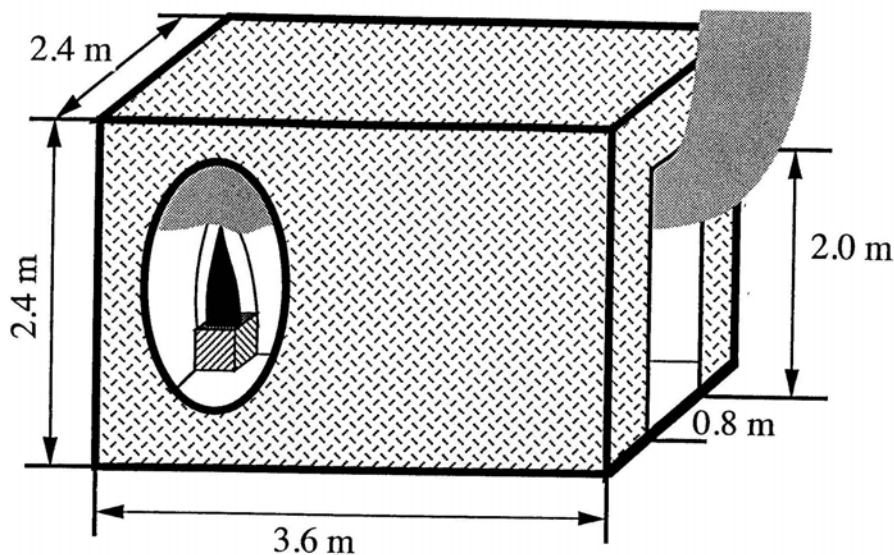


Fig. 3.1 Brannrommets mål og brannens plassering i rommet.

Rommet er utført i henhold til nøyaktige mål spesifisert i standarden. I denne standarden benyttes et rom på 20.74m^3 , med målene:

Lengde	$3.6\text{m} \pm 0.05\text{m}$
Bredde	$2.4\text{m} \pm 0.05\text{m}$
Høyde	$2.4\text{m} \pm 0.05\text{m}$

Størrelse på ventilasjonsåpningene i form av åpen dør:

Høyde	$2.0\text{m} \pm 0.01\text{m}$
Bredde	$0.8\text{m} \pm 0.01\text{m}$
Høyde fra dørkarm til tak	0.4m

Rommet er satt opp utendørs, som eget bygg, på et betongunderlag med drenering. For å beskytte utstyr (vekt) er bygget hevet 0.25m slik at denne kan settes under gulvet. Rommet er bygd av høytrykksberdet lettbetong fremstilt av kvartsitt, sement, vann og esemiddel. Materialene er klassifisert som A120 ^[18].

Fra produsent er det oppgitt følgende fysiske egenskaper for materialet:

- Tetthet (ρ) gulv, vegger og tak lemmer 600 [kgm⁻³]
- Varmeledningsevne (k) ved: 20°C 0.16 [Wm⁻¹K⁻¹]
500°C 2.1* [Wm⁻¹K⁻¹]
- Varmekapasitet (C_p) ved: 20°C 1100 [Jkg⁻¹K⁻¹]

*Sannsynligvis kan det være en trykkfeil, fra produsent, når varmeledningsevne ved 500°C er oppgitt til 2.1 Wm⁻¹K⁻¹. Ut fra Tab. 3.1 kan det antas at varmeledningsevnen skulle ha vært 0.21 Wm⁻¹K⁻¹ ved 500°C.

Siden varmeledningsevnen (k) er en funksjon av temperaturen er det viktig å vite hvordan denne forandrer seg etter hvert som temperaturen øker. I forbindelse med oppføring av rommet^[5] ble materialene testet ved Chalmers universitet i Sverige. Følgende resultater på varmeledningsevne, målt ved Transient Plane Source (TPS) metode^[19], ble funnet ved testforsøkene:

Tab. 3.1 Varmeledningsevne (k) fra forsøks serie med stigende temperatur.

Temperatur [°C]	Varmeledningsevne [Wm ⁻¹ K ⁻¹]
20	0.143
100	0.156
200	0.166
300	0.176
450	0.197
600	0.215
750	0.218



Fig. 3.2 Bilde av ISO-rommet sett forfra.

3.2 Innsamling av data

Ved hvert forsøk ble det kontinuerlig målt vekttap av brensel, temperaturen på 10 forskjellige punkter i rommet og stråling fra det varme røyklaget. Vekttapet ble logget direkte til datamaskinen, mens temperaturene og strålingen fra røyklaget først ble registrert i en datalogger, se Fig 3.3. Alle dataene ble så registrert og lagret ved hjelp av dataprogrammet Labview.

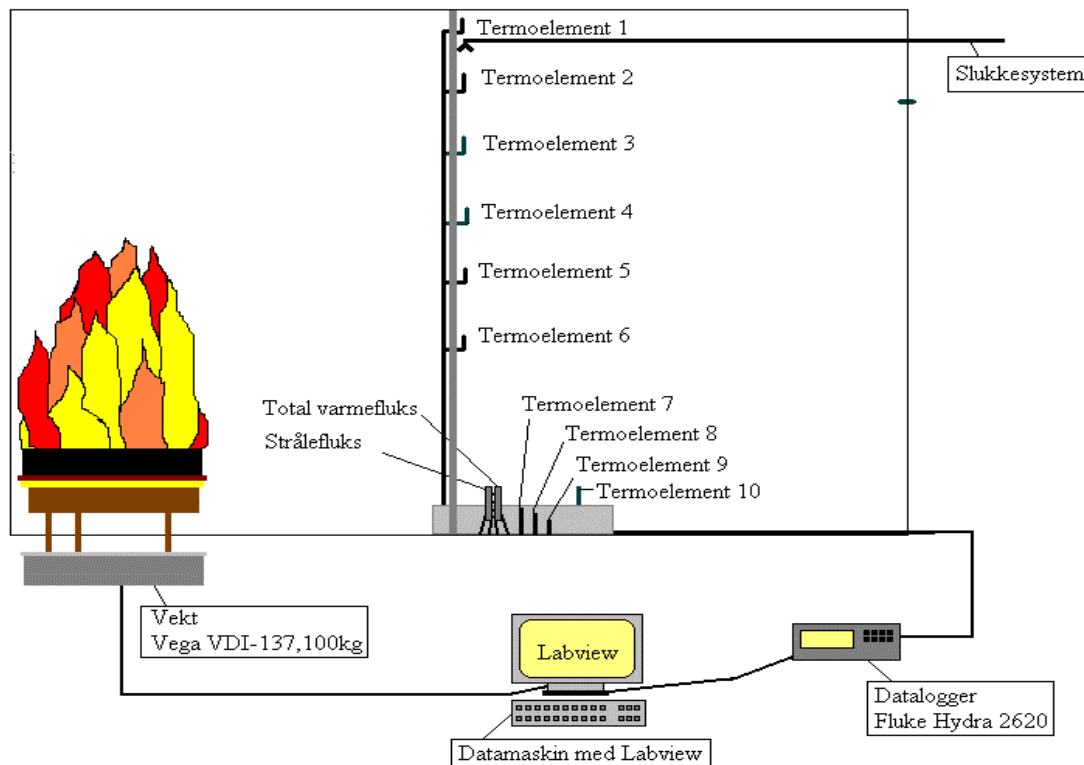


Fig. 3.3 Skisse over hvordan utstyret er koblet opp.

3.2.1 Varmefluksmålerne

Det ble benyttet to varmekraftmålere, se Fig. 3.4 og 3.5, av typen Schmidt-Boelter. Den ene, Total varmekraft, registrerer termisk stråling og konveksjon innenfor sitt synsfelt, minimum 160° , mens den andre, Strålefluks, bare registrerer termisk stråling innenfor sitt synsfelt, minimum 160° , se Vedlegg 3. For å unngå at varmekraftmålerne ødelegges av varmekjølingene er de utstyrt med vannkjøling. Strålefluksmåleren er i tillegg koblet til en nitrogenbeholder ved hjelp av en tynn slange. Nitrogenet har som formål å holde målekammeret reint for sot partikler.



Fig. 3.4 Bilde av varmekraftmålerne,
Total varmekraft t.v og Strålefluks t.h.

For varmekraftmålerne er emissiviteten, ϵ_m , oppgitt fra produsent til å være tilnærmet 0.94.

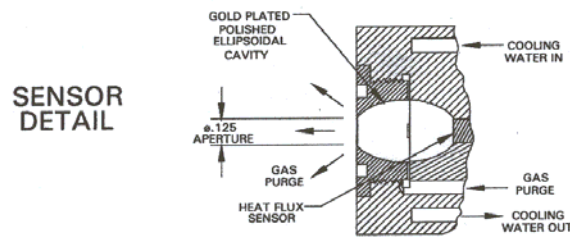


Fig. 3.5 Skisse av detaljer i strålefluksmåleren.

3.2.2 Vekt

Vekten, en Vega VDI-137 100 kg, ble plassert under gulvet ved innerste høyre hjørne i ISO-rommet, Fig. 3.3. For å beskytte vekten mot eventuelle flammer, ble det lagt på en gipsplate. Oppå vekten ble det plassert et stativ som ble senket gjennom tre forhåndslagde hull i ISO-rommets gulv. Stativet ble så isolert med steinull og en gipsplate. Karet ble plassert oppå stativet og fylt med vann til en plan flate. Vekten ble kalibrert og karet fylt med 11 kg bensin.

3.2.3 Termoelement

Ved hvert forsøk ble det benyttet 10 termoelementer av type K, 1.6 mm inconel mantel i ISO-rommet. Seks av termoelementene ble plassert i en samlet avstand på 1.2 m fra taket. Disse ble festet ved hjelp av et patentbånd som ble skrudd fast til taket og gulvet. Se Fig. 3.6.

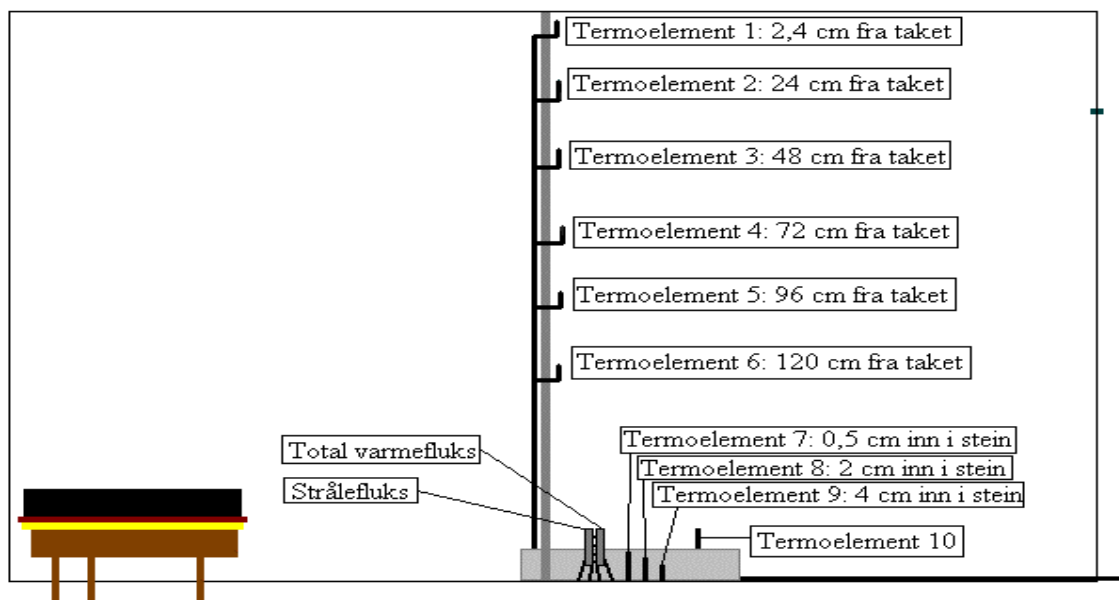


Fig. 3.6 Oversikt over termoelementenes plassering.

Tre termoelementer ble plassert i en stein på gulvet som var av samme materiale som ISO-rommet, se Fig. 3.7. Dette ble gjort for å kunne registrere temperaturøkningen i gulvet. Disse ble plassert med en avstand på 0.005 m, 0.02 m og 0.04 m inn i steinen, målt fra oversiden. For å kunne registrere lufttemperaturen ved varmekraftmålerne ble det siste termoelementet plassert i samme høyde som målerne. Alle termoelementene ble så koblet opp til dataloggeren.



Fig. 3.7 Bilder av hvordan termoelementene var plassert i steinen.

3.2.4 Datalogger

Dataloggeren, en FLUKE Hydra 2620, kobles til datamaskinen med en kabel knyttet til PCMCIA-kortet. Dataloggeren registrerer data fra de 10 termoelementene og fra varmekraftmålerne, se Fig. 3.8.



Fig. 3.8 Bilde av dataloggeren som ble benyttet i forsøkene.

3.2.5 Programvare

Dataprogrammet som ble benyttet til å motta de registrerte verdiene fra dataloggeren og vekten var Labview. Versjonen som ble brukt, FLUKE Hydra, ble først programmert i Labview av prof. Torgrim Log ved HSH. De registrerte verdiene ble så viderebehandlet i Microsoft Excel.

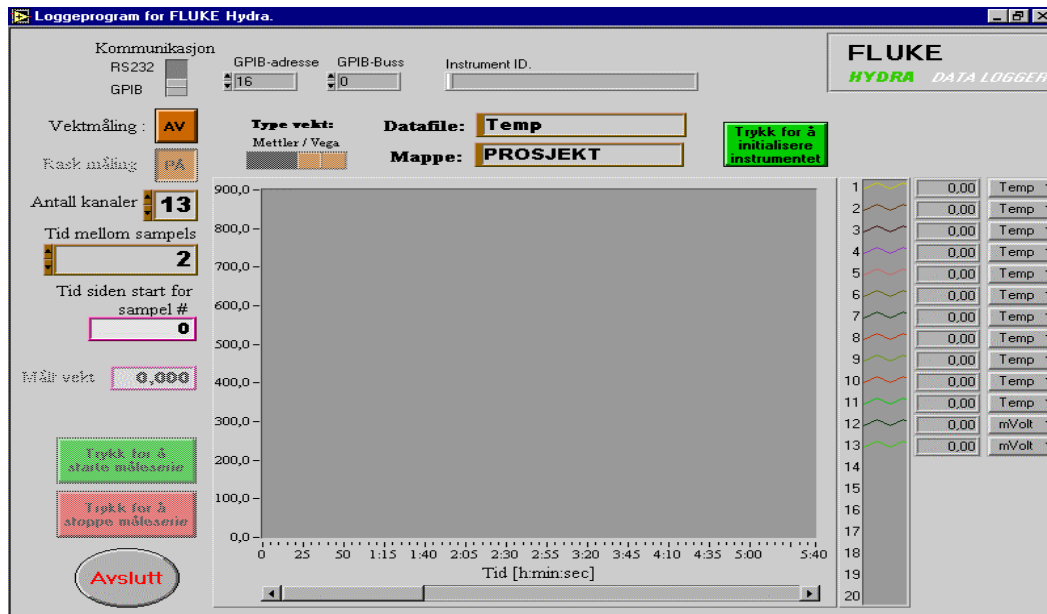


Fig. 3.9 Bilde av skjermbildet til dataprogrammet Labview.

3.3 Sprinkler-/ vanntåkesystem

Rørene som slokkesystemet var koblet til var $\frac{1}{2}$ " stålrør som ble festet til taket, innvendig, ved hjelp av patentbånd. Sprinklerdysen som ble benyttet var en tradisjonell våtsprinklerdyse hvor sikringsenheten var fjernet, se Fig. 3.10. Forsøket med sprinklerdysen ble kjørt ved 11 bar trykk. Sprinklerdysen leverte ca. 85 l min^{-1} .



Fig. 3.10 Bilde av sprinklerdysen som ble benyttet i forsøket.

Vanntåkedysene som ble brukt er en patentsøkt dyse (FOGTUBE[®]). Data for dråpestørrelse foreligger ikke pr i dag. Trykket ble redusert fra 11 til 5 bar, ved hjelp av en trykkreduksjonsventil, under forsøkene med den patentsøkte dysen.

Det ble også benyttet en vannmåler som registrerte hvor mye vann de to dysetypene forbrukte pr. minutt.

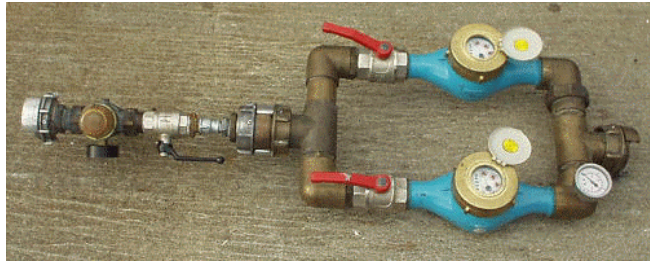


Fig. 3.11 Bilde av vanntrykkmåler t.v. og trykkreduksjonsventil t.h.

4. GJENNOMFØRING AV FORSØK

I vedlegg 6 er det et utbrettsark som anbefales å benytte ved lesing av kap. 4 og 5.

Det ble gjennomført i alt 15 forsøk i følgende rekkefølge:

- fem innledende forsøk
- tre referanseforsøk uten slökkemiddel
- et forsøk med sprinklerdyse (11 bar)
- et testforsøk med vanntåkedyse (5 bar)
- tre forsøk med vanntåkedyse (5 bar)
- et forsøk med ”kledd” og møblert rom, med vanntåkedyse (5 bar)
- et forsøk med ”kledd” og møblert rom, referansebrann uten slökkemiddel

4.1 Innledende forsøk og testforsøk med vanntåke

Det ble gjennomført innledende forsøk for å bestemme diameter på brenseloverflaten, A_f , og mengde brensel som skulle brukes. De ble også brukt for å vurdere utstyrets oppsett og tåleevne. For å sjekke hvordan vanntåkedysen fungerte ble det utført et testforsøk før tellende forsøks serie ble iverksatt. Følgende ble observert og registrert.

Tabell 4.1 Registreringer ved innledende forsøk og testforsøk vanntåke.

Innledende forsøk nr:	Brensel mengde [kg] (Bensin)	Kar størrelse i diameter [m]	Maksimal temperatur [°C]	Maks. strålefluks [kWm^{-2}]	Maks. total varmeffluks [kWm^{-2}]
1	10.8	0.75	878	-	-
2	18.9	0.75	790	20.3	28.7
3	17.3	0.75	1153	95.3	114
4	15	0.55	464	6.1	7.9
5	11	0.75	877	21	41
Testforsøk vanntåkedyse:	Brensel mengde [kg] (Bensin)	Kar størrelse i diameter [m]	Maksimal temperatur [°C]	Maks. strålefluks [kWm^{-2}]	Maks. total varmeffluks [kWm^{-2}]
1	11.0	0.75	690	10.6	15.7

Etter innledende forsøk 2 ble det observert at det hadde vært stor varmepåkjening på varmeffluksmålerens isolasjon. Det ble derfor bygget en gipskasse rundt målerne slik at disse skulle være bedre beskyttet.

Innledende forsøk 3 ble gjennomført som forsøk 2, men med 1.6 kg mindre bensin. Her ble det registrert en maksimal temperatur på 1153 °C. Dette var meget overraskende, da forutsetningen var nokså lik forsøk 2. Det ble derfor besluttet å prøve med en mindre karstørrelse (0.55 m). Dette gav en maksimal temperatur på 464 °C i forsøk 4, noe som var lavere enn ønskelig.

I innledende forsøk 5 ble karstørrelsen derfor økt tilbake til 0.75 m, men det ble brukt mindre bensin (11 kg).

Ut fra de registrerte data ble det valgt å bruke et kar på 0.75 m i diameter og 11 kg bensin til alle forsøk der bensin skulle brukes som brensel. Måling av vekttap viste at denne karstørrelsen og brenselmengde gav en branntid på omlag 500 s.

Under testforsøk med vanntåkedyser ble det brukt et vanntrykk på 5 bar. Det ble forsøkt å måle vannforbruk, men etter kort tid ble det observert at vannforbruket stadig sank. For å finne årsaken til dette ble dysene undersøkt. Det viste seg at mye gjengeteip hadde smeltet og tettet igjen dysene. Dysene ble derfor skrudd fra hverandre og gjengeteip i alle overganger ble skiftet ut med hamp. Ved videre forsøk viste dette seg å fungere meget bra.

Alle registreringer fra innledende forsøk og testforsøk med vanntåke er vist i Vedlegg 2.

4.2 Referanseforsøk, bensinbrann

Det ble gjennomført i alt tre referansebranner uten inngrep av slökkemiddel. Disse forsøkene ble utført for å ha sammenligningsgrunnlag til brannene med sprinklerdyse og vanntåkedyse. For å få en best mulig representativ kurve for temperaturen i røyklaget, ble det beregnet en gjennomsnittstemperatur for røyklaget. Det ble observert at røyklagets tykkelse lå i området 1.1 m i alle tre forsøkene. Termoelement 1-5 lå i dette området og ble derfor brukt for å beregne gjennomsnittstemperaturen i røyklaget, se Fig 4.2. Følgende ble observert ved hvert enkelt forsøk, Tabell 4.2:

Tabell 4.2 Registreringer ved referanseforsøk bensinbrann, uten inngrep.

Forsøk nr:	Brensel	Inngrep	Maksimal temperatur [°C]	Maks. strålefluks [kWm ⁻²]	Maks. total varmekraft [kWm ⁻²]
1	Bensin	Nei	829	20.5	30.4
2	Bensin	Nei	916	26.6	43.8
3	Bensin	Nei	934	20.5	50

Siden ISO-rommet er plassert ute var forholdene under hvert forsøk ulike.

I forsøk 1 var det en temperatur ute på 4°C og vind inn mot døråpningen til ISO-rommet. I forsøk 2 var det 2°C og vind mot døråpning, mens det i forsøk 3 var 4°C og vindstille.

Alle registreringer fra referanseforsøkene er vist i Vedlegg 1.

Fig. 4.1 viser hvordan temperaturen typisk var fordelt i røyklaget for referanseforsøkene og hvordan gjennomsnittet ligger i forhold til disse. I dette tilfellet er det brukt registreringer fra referanseforsøk 1.

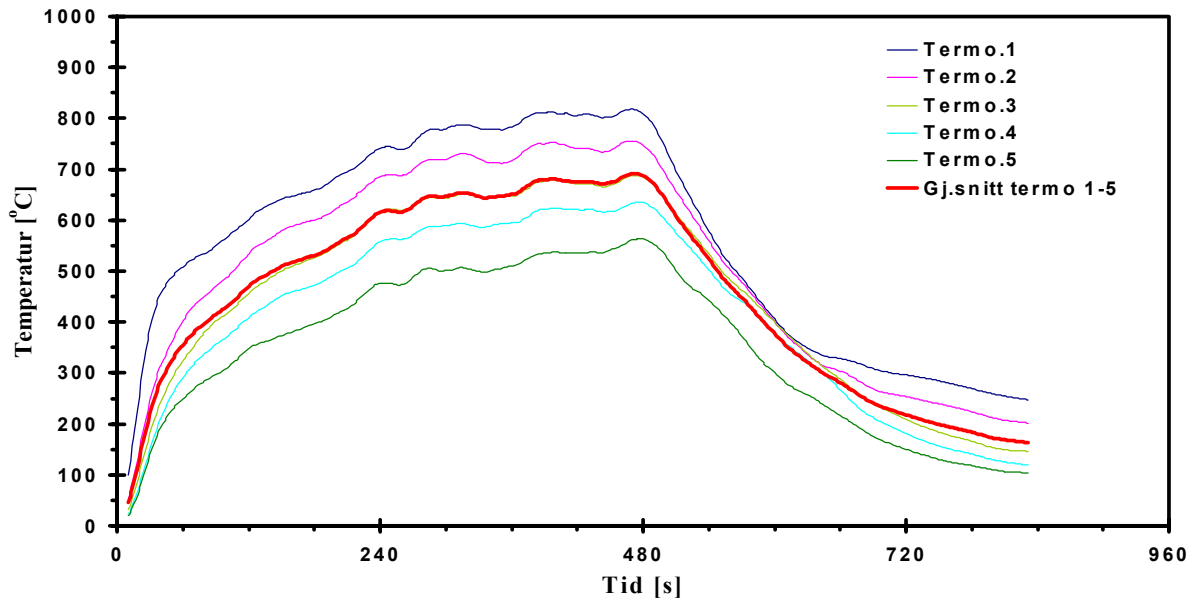


Fig. 4.1 Fordeling av temperatur i røyklaget og gjennomsnitt for ref.forsøk 1.

Fig. 4.1 viser at gjennomsnittstemperaturen følger termoelement 3 veldig bra. Dette termoelementet ligger 0.48 m fra taket.

Fig. 4.2 viser hvordan gjennomsnittstemperaturen til røyklaget, i referanseforsøkene, ligger i forhold til gjennomsnittstemperaturen i hvert enkelt forsøk.

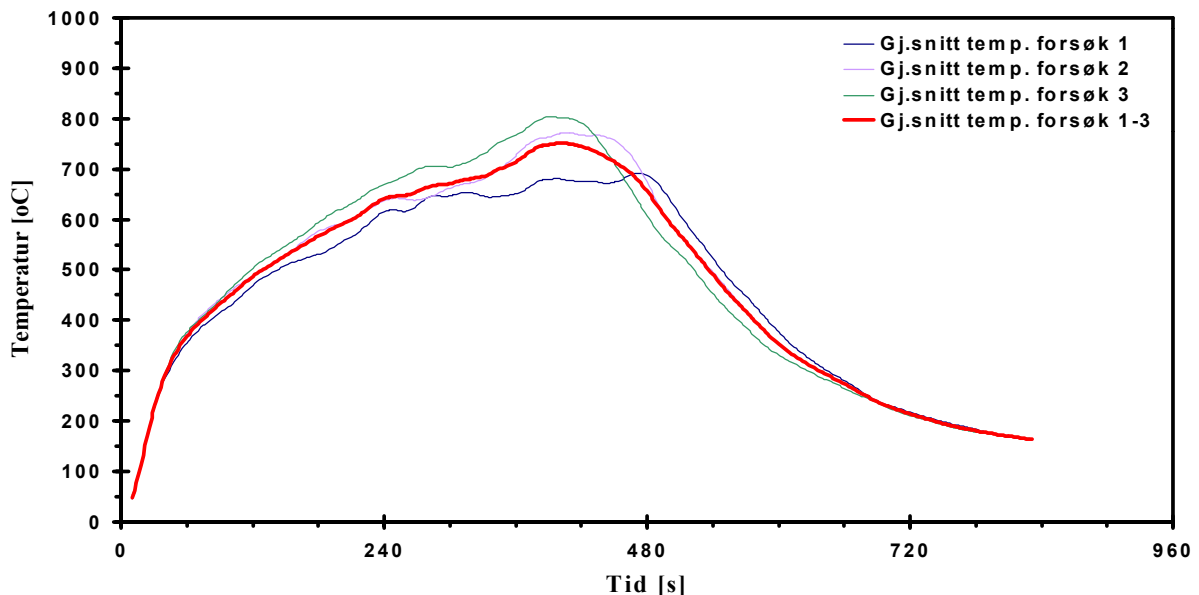


Fig. 4.2 Gjennomsnittlig temperatur for termoelement 1-5 i referansebrannene.

For referanseforsøkene ble det også beregnet et gjennomsnitt for strålefluks og total varmekuflux, se Fig. 4.3.

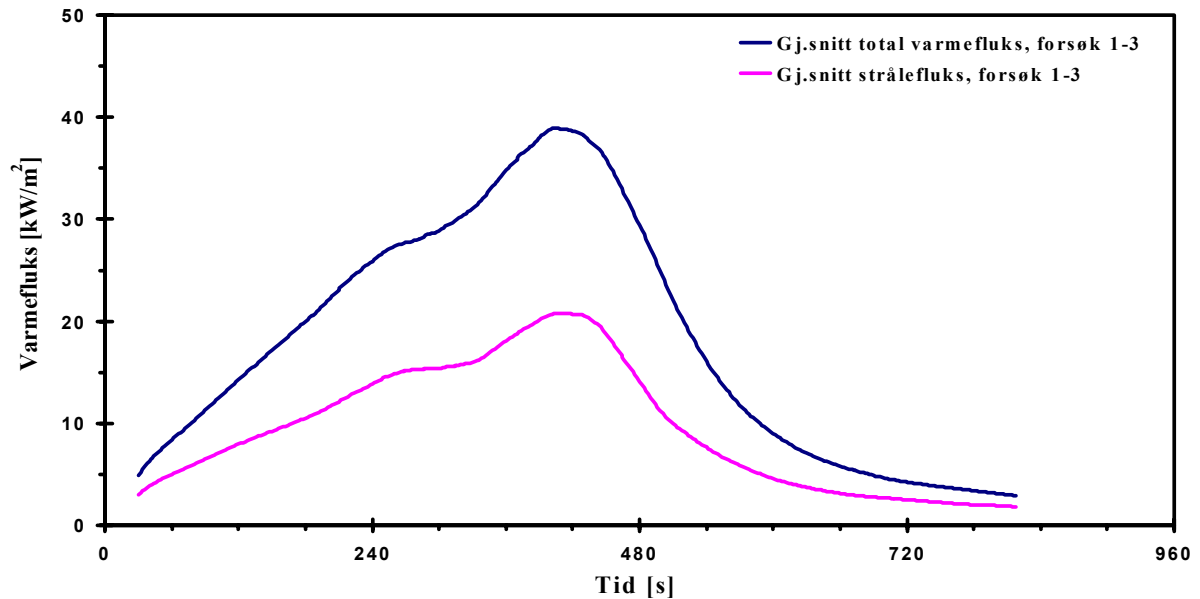


Fig. 4.3 Gjennomsnittlig varmekuflux fra de tre referansebrannene.

Ut fra måling av vekttap ble det beregnet massefluks (fordampningsrate). Det er beregnet et gjennomsnitt av massefluksen for de tre referanseforsøkene som vist i Fig. 4.4.

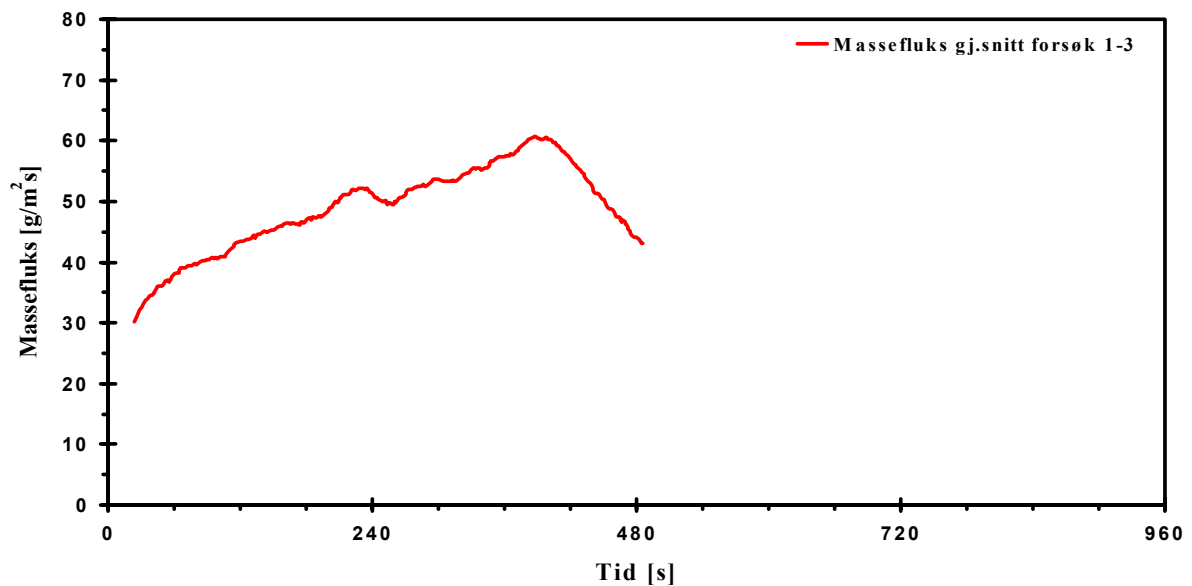


Fig. 4.4 Gjennomsnittlig massefluks fra de tre referansebrannene.

Ut fra den registrerte massefluksen ble det beregnet en gjennomsnittlig energiproduksjon, se Fig 4.5, for referansebrannene etter Likn. 2.1. Der forbrenningseffektiviteten (χ) er antatt til 0.8 og energien som frigjøres ved forbrenning (ΔH_C) er satt til 45 kJkg^{-1} som er typisk verdi for denne type raffinerte hydrokarboner.

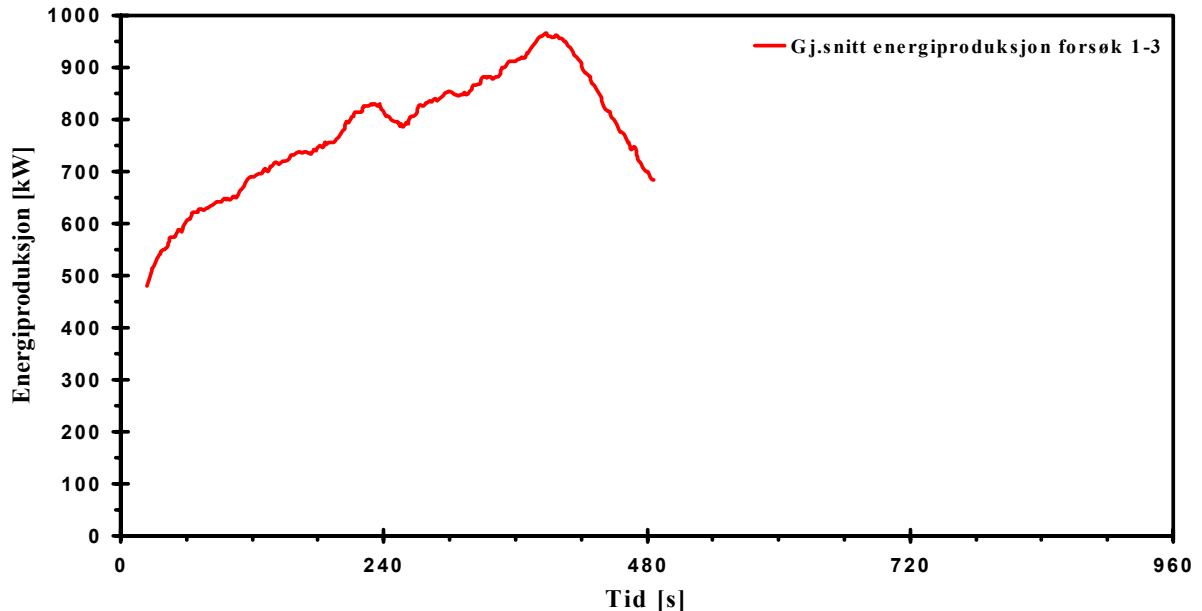


Fig. 4.5 Gjennomsnittlig energiproduksjon fra de tre referansebrannene.

Alle registreringer fra referanseforsøkene er vist i Vedlegg 1.

4.3 Forsøk med sprinklerdyse, bensinbrann

Det ble gjennomført et forsøk der en sprinklerdyse ble manuelt aktivert etter 30 s. Det ble brukt et vanntrykk på 11 bar, og vannforbruket ble målt til 85 l min^{-1} . Dysen var plassert midt i rommet 0.1 m fra taket og vannsprayen var vertikal. Kort tid etter aktivering av sprinklerdysen kunne det observeres at store mengder vann kom ned på gulvet og mye av dette rant ut av rommet. Fra vektmålingen kunne det observeres at mye vann kom opp i brenselkaret. Ved start gav vekten et utslag på 11 kg, mens den etter forsøket viste 9.5 kg. Det var derfor ikke mulig å måle massefluksen. Energiproduksjonen kunne dermed ikke beregnes etter aktivering av sprinklerdysen. Etter forsøket ble det observert at all fire veggene var blitt truffet av vannsprayen.

Det var i utgangspunktet planlagt å gjennomføre tre forsøk med sprinklerdysen. Siden denne type dyse leverte så mye vann ble det bestemt at videre forsøk ikke var hensiktsmessig. Følgende ble registrert under forsøket, se Tab. 4.3:

Tab. 4.3 Registreringer ved bruk av sprinklerdyse i bensinbrann.

Forsøk nr:	Brensel	Inngrep	Maksimal temperatur [°C] *	Maks. strålefluks [kWm ⁻²]*	Maks. total varmeffluks [kWm ⁻²]*
4	Bensin	Sprinklerdyse	411	1.5	7.8

* Alle maksimalverdier er tatt i tidsrommet rett etter aktivering av sprinklerdysen.

Alle registreringer fra sprinklerforsøket er vist i vedlegg 1.

Under forsøket var temperaturen ute 5°C, og det var litt vind inn mot døråpningen på ISO-rommet.

Det ble ikke observert noe klart skille mellom røyklag og "fri sikt" sone ved gulvnivå. Hvordan røyklaget la seg varierte veldig under hele forsøket. Gjennomsnittlig temperatur for røyklaget ble derfor beregnet ved bruk av termoelement 1-6, se Fig 4.6.

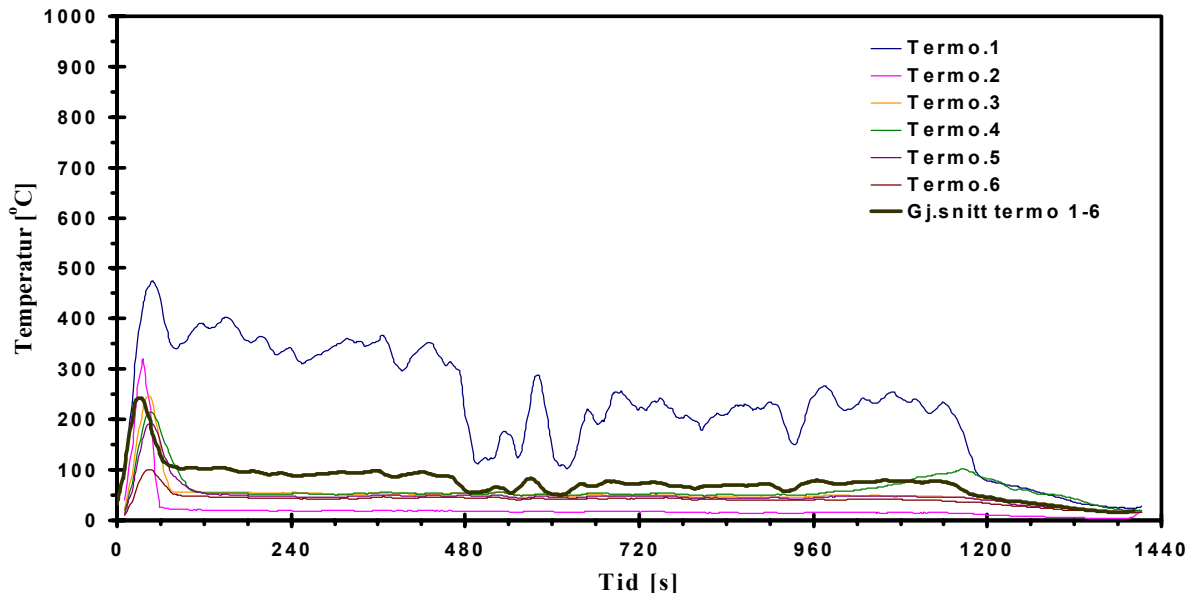


Fig 4.6 Gjennomsnittlig temperatur for termoelement 1-6.

Termoelement 1 ligger over sprinklerdysen og blir derfor ikke direkte truffet av vanddråper. Termoelement 2 lå like ved dysen og ble etter aktivering truffet direkte av mye vann, temperaturen la seg stabilt i området 18°C – 20°C. Termoelementene 3-6 ligger noe lavere og viste en temperatur i området 50°C – 60°C.

Fig. 4.7 viser en sammenligning av de registrerte varmeksluksene i sprinklerforsøket mot de gjennomsnittlige varmeksluksene i referanseforsøkene.

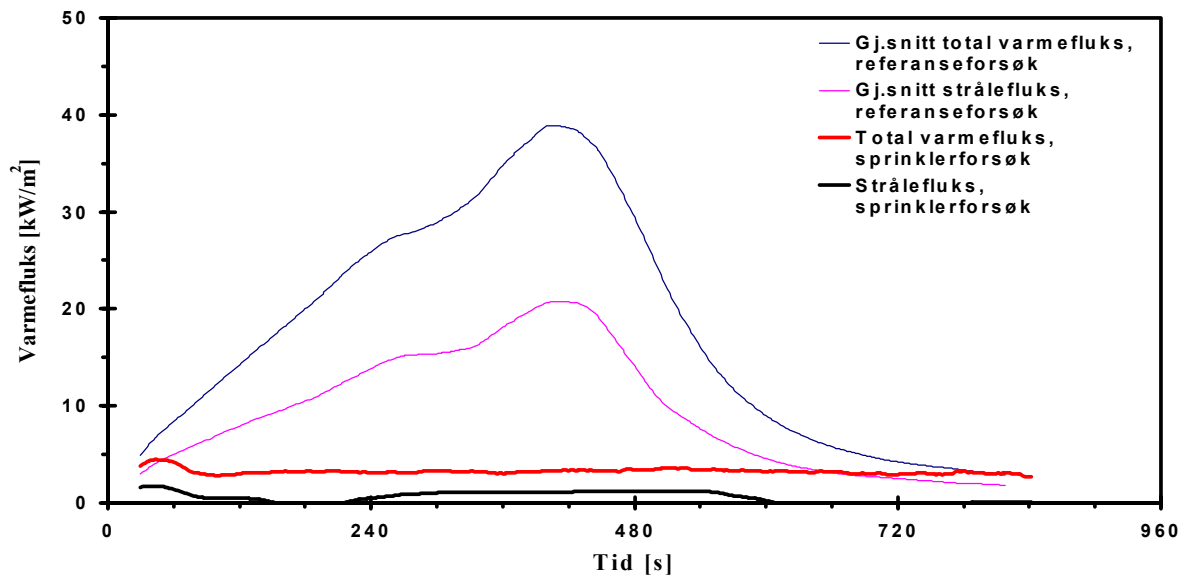


Fig. 4.7 Sammenligning av varmeksluksene fra sprinklerforsøk mot referanseforsøk.

Ut fra Fig. 4.7 ser en at varmeksluksene i sprinklerforsøket er betraktelig lavere enn for referanseforsøkene hvor det ikke ble inngrepet med sløkkemiddel.

4.4 Forsøk med vanntåkedyse, bensinbrann

Det ble gjennomført i alt tre forsøk med bruk av vanntåkedysere. Dysene var av typen FOGTUBE[®] og er patentsøkt av Faros A/S. Ettersom dette er en helt ny type dyser fantes det ikke tilgjengelige data på dråpestørrelse. Fra idéhaverne ble det anbefalt at dysene ble brukt ved et vanntrykk på 5 bar, noe som ble etterfulgt i alle forsøk. Dysene ble plassert vertikalt midt i rommet med dysåpningen 0.3 m fra taket. Leverandøren kunne levere en dysse med to FOGTUBE[®] som sprutet i hver sin retning. For å få minst mulig vann på termoelementene ble det valgt å bruke to separate FOGTUBE[®], slik at termoelementene kunne plasseres mellom dem. Ved testing av dysene kunne det se ut som om vandråpene ville fylle store deler av røyklaget, se Fig 4.8.

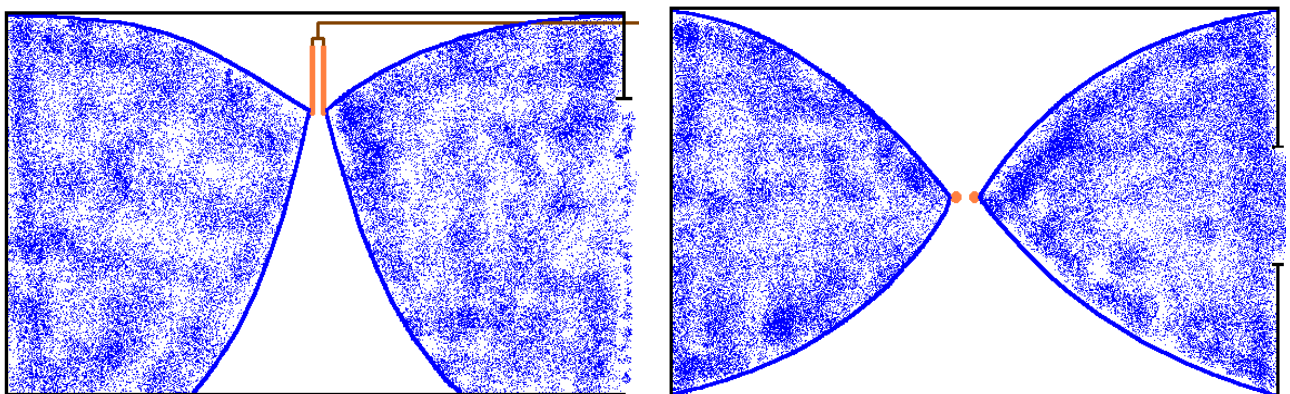


Fig. 4.8 Dysenes plassering og spredningsmønster, sett fra siden og ovenfra.

Under forsøket ble det målt vannforbruk for de to dysene ved 5 bar. Hver dyse slapp ut gjennomsnittlig 4.35 l min.^{-1} . Dysene ble manuelt aktivert etter 30 s.

I det vanntåkedysene ble aktivert kunne det observeres at røyken ble lysere og at enkelte dråper kom gjennom røyklaget og falt ned på gulvet. Det kunne se ut som om det meste av vannet som kom ned på gulvet fordampet. Det ble også observert at tykkelsen på røyklaget lå relativt stabilt i området 1.15 – 1.20 m. For beregning av gjennomsnittstemperatur i røyklaget ble det derfor valgt å bruke termoelement 1 – 6. Under forsøket var det tydelig at det la seg mye sot på gulvet. For å se hvor raskt dette skjedde, ble det under et av forsøkene lagt en hvit plate inn på gulvet i 30 s, se Fig. 4.9. Da brannen hadde slokket kunne det observeres at sotlaget enkelte steder var opptil 3-4 mm tykt.



Fig. 4.9 Plate før og etter 30 s på gulvet i brannrommet.

Tab. 4.4 Registreringer ved bruk av vanntåke i bensinbrann.

Forsøk nr:	Brensel	Inngrep	Maksimal temperatur [°C] *	Maks. strålefluks [kWm ⁻²] *	Maks. total varmeffluks [kWm ⁻²] *
5	Bensin	Vanntåke	545	3.8	6.7
6	Bensin	Vanntåke	555	1.9	5.6
7	Bensin	Vanntåke	547	1.5	5.6

* Alle maksimalverdier er tatt i tidsrommet etter aktivering av vanntåkedysene.

Alle registreringer fra vanntåkeforsøkene er vist i Vedlegg 1.

Fig. 4.10 viser hvordan temperaturen typisk var fordelt i røyklaget for vanntåkeforsøkene og hvordan gjennomsnittet ligger i forhold til disse. I dette tilfellet er det brukt registreringer fra vanntåkeforsøk 3.

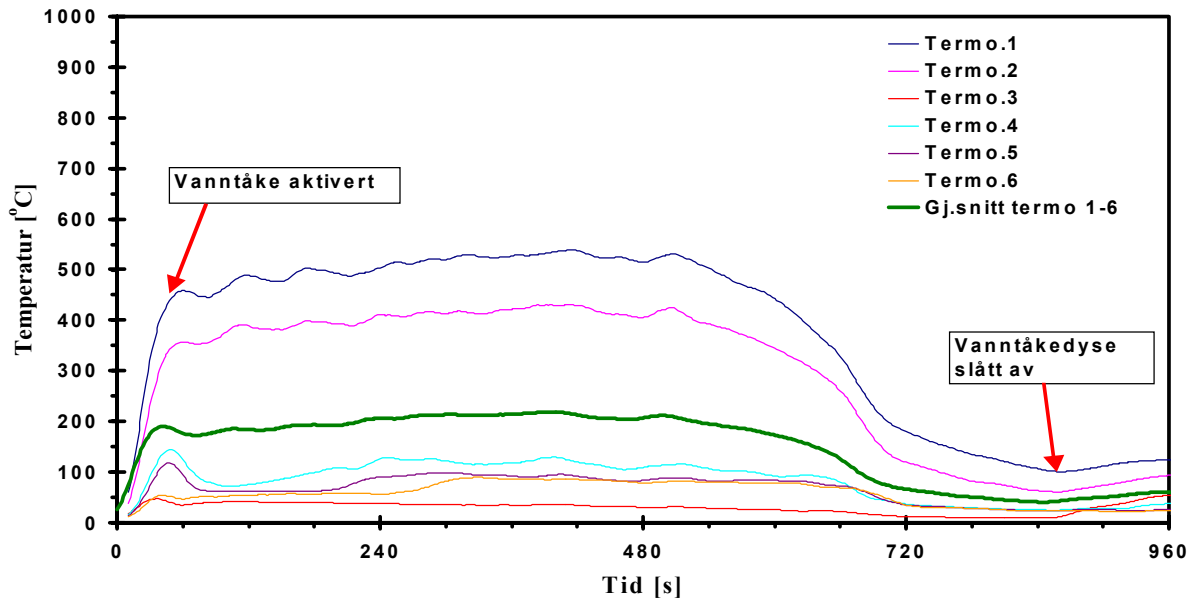


Fig. 4.10 Fordeling av temperatur i røyklaget og gjennomsnitt for vanntåkeforsøk 3.

Fig. 4.11 viser hvordan gjennomsnittstemperaturen til røyklaget, i vanntåkeforsøkene, ligger i forhold til gjennomsnittstemperaturen i hvert enkelt forsøk. For å vise hvordan vanntåken reduserer temperaturen i brannrommet er gjennomsnittstemperaturen for referanseforsøket også lagt inn. Figuren viser at straks etter aktivering av vanntåken faller gjennomsnittstemperaturen noe, for så å stige sakte.

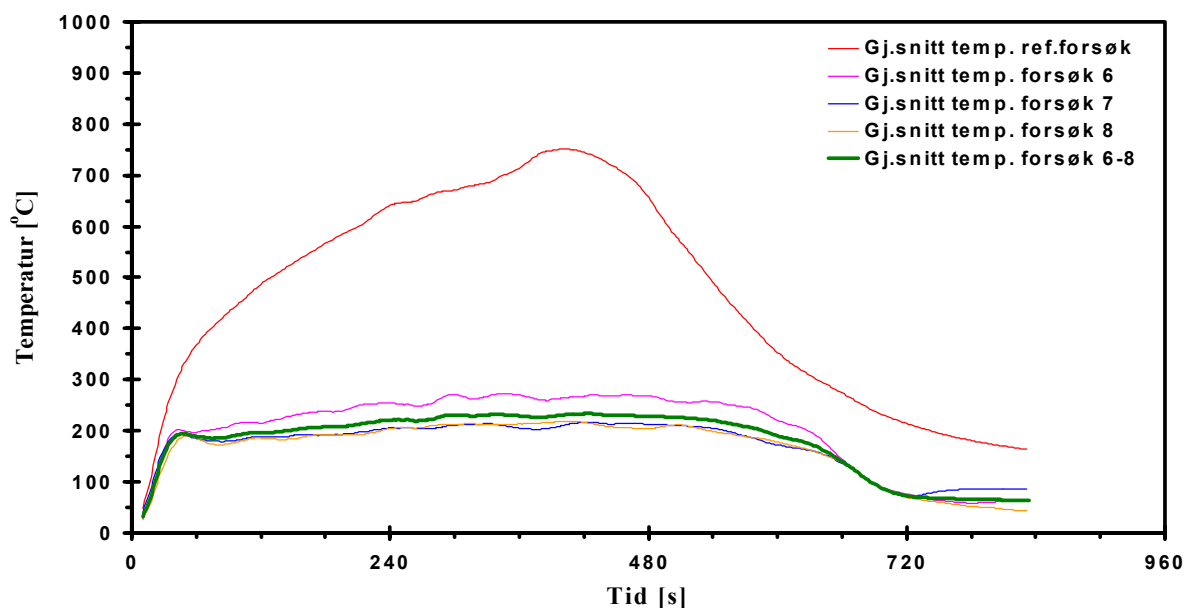


Fig 4.11 Gjennomsnittlig temperatur for termoelement 1-6 i vanntåkeforsøkene sammenlignet mot gjennomsnittlig temperatur i referanseforsøkene.

Denne endringen i temperatur gjør store utslag i mottatt stråling til varmekraftmålerne. Denne differansen vises i Fig. 4.12.

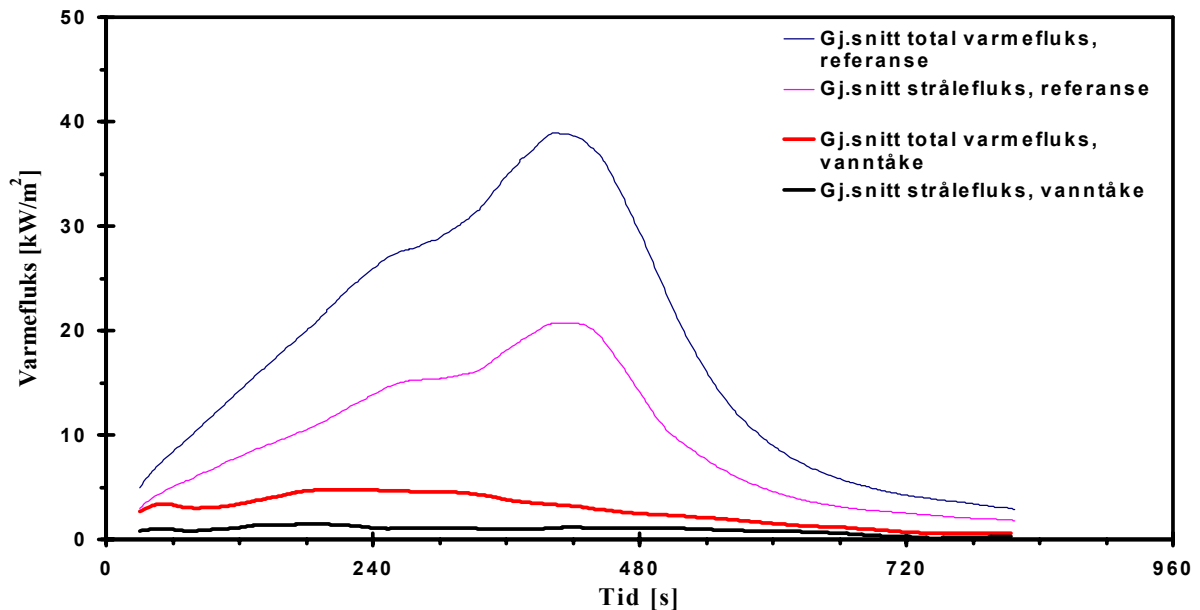


Fig. 4.12 Sammenligning av varmekraftene fra vanntåkeforsøk mot referanseforsøk.

Når tilbakestrålingen til brenselet avtar vil også massefluksen avta. Ut fra registrerte data fra vekten vises differansen i Fig. 4.13.

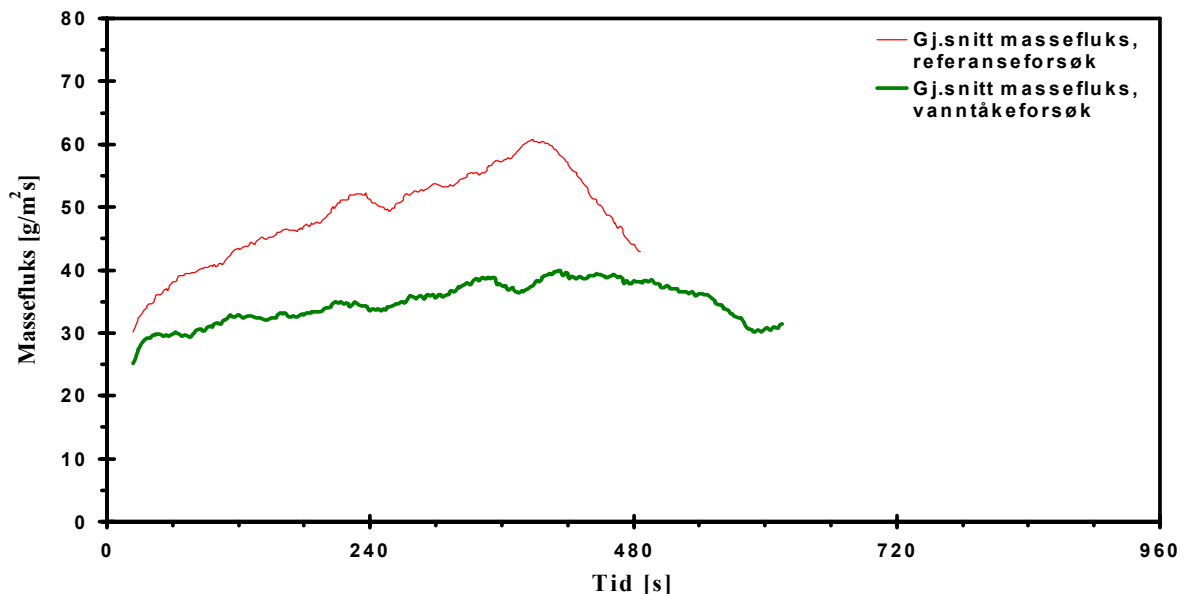


Fig. 4.13 Sammenligning av massefluks i referanseforsøk og vanntåkeforsøk.

Fig. 4.13 viser at massefluksen blir lavere og at det tar lengre tid før brenselet er brennt opp. Dette gir også utslag i energiproduksjonen for vanntåkeforsøkene. For å beregne energiproduksjonen blir Likn 2.1 brukt med de samme antagelser som ved Fig. 4.5.

Forskjellen mellom gjennomsnittlig energiproduksjon i vanntåkeforsøkene og referanseforsøkene er vist i Fig. 4.14.

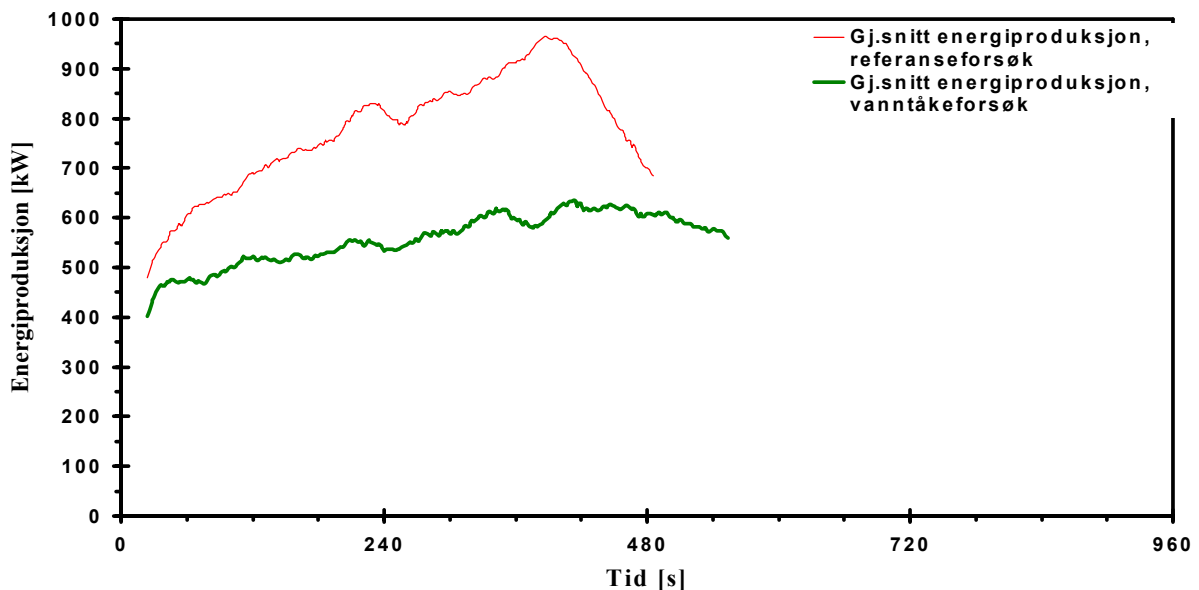


Fig. 4.14 Sammenligning av gjennomsnittlig energiproduksjon for vanntåkeforsøk mot referanseforsøk.

Forbruket av vann, ved bruk av vanntåke, lå på 8.7 l min^{-1} mens det for sprinkler nesten var ti ganger mer (85 l min^{-1}). For å sammenligne hvordan strålefluksen var i de to tilfellene er begge plottet inn i samme graf, se Fig. 4.15. For å gjøre det lettere å sammenligne varmekuelsen til de to tilfellene er y-aksen satt til maksimalt 10 kWm^{-2} .

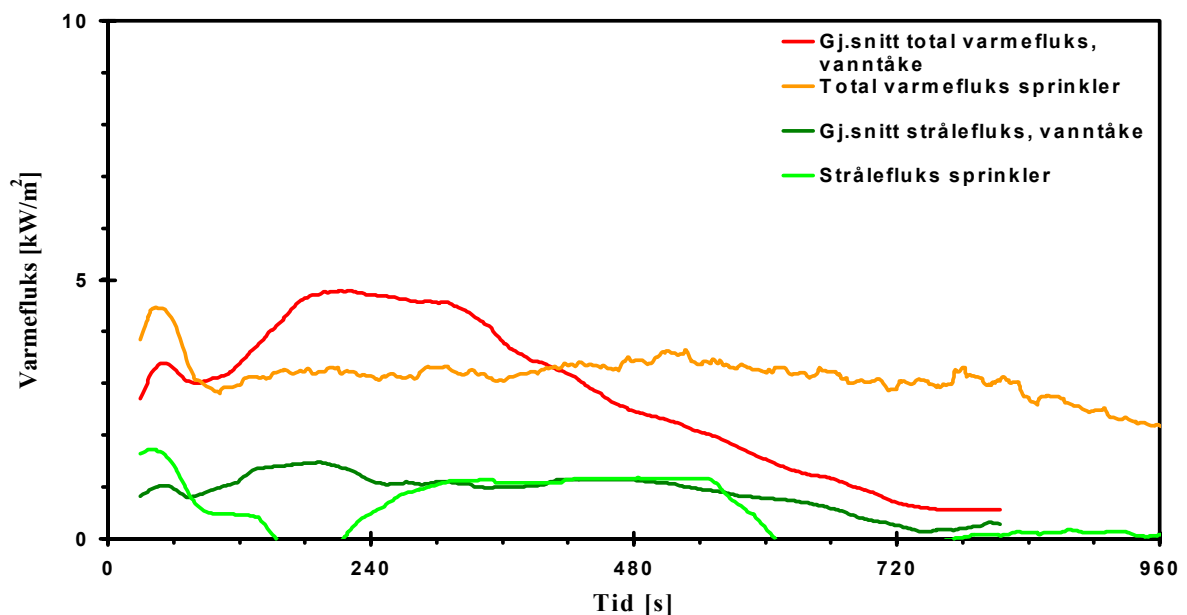


Fig. 4.15 Sammenligning av varmekuelsen for forsøk med sprinkler og vanntåke.

Grafen viser at varmekuelsen ligger omtrent i samme område for de to tilfellene, selv om det for sprinklerforsøket er brukt nesten 10 ganger mer vann.

4.5 Forsøk med innkledd rom

Det ble gjennomført to forsøk med innredd rom. I første forsøk ble vanntåkedysene manuelt aktivert etter ca. 7 min, mens i det andre forsøket fikk brannen utvikle seg fritt. I begge forsøkene ble rommet innredd på samme måte. Det ble satt opp sponplater på innerste kortvegg og halve venstre langvegg, i tillegg ble rommet møblert med sofa, bord, stol, seng og hylle, se Fig. 4.16.



Fig. 4.16 Bilde av innredningen til rommet.

For at startbrannen skulle være mest mulig lik i begge tilfellene ble det plassert en lite kar med 0.1 l bensin innerst i hjørnet på sofaen. Vanntåkedysen som ble brukt i første forsøk var av samme type som ved bensinbrannene. Også her ble det brukt et vanntrykk på 5 bar, noe som gav 4.35 l min^{-1} fra hver dyse.

Følgende ble observert ved de to brannene:

Tab. 4.5 Registreringer i forsøk med møblert rom, med og uten inngrep.

Forsøk nr:	Brensel	Inngrep	Maksimal temperatur [°C]	Maks. strålefluks [kWm^{-2}]	Maks. total varmekraft [kWm^{-2}]
8	Møbler o.l	Vanntåke	410 ⁽¹⁾ / 92 ⁽²⁾	0.8 ⁽¹⁾ / 0 ⁽²⁾	2.8 ⁽¹⁾ / 0.6 ⁽²⁾
9	Møbler o.l.	Nei	1111	41	171

⁽¹⁾ Registreringer like før vanntåkeanlegget slår inn. Tid fra start er nesten 7 min.

⁽²⁾ Registreringer etter 10 min fra brannstart (3 min etter aktivering av vanntåke).

Alle registreringer fra forsøkene med møblert rom er vist i Vedlegg 1.

4.5.1 Møblert rom, med aktivering av vanntåkedyser

Ved første forsøk ble det observert at brannveksten skjedde relativt sakte i begynnelsen av forsøket, men etter seks minutter virket det som om den økte raskere. Vanntåkedysene ble manuelt aktivert da termoelement 1 viste 410°C , det var da gått nesten syv minutter fra brannstart. Brannen hadde ved aktivering av vanntåken spredd seg videre til veggen. Det var tydelig at vanntåken effektivt hindret videre brannspredning. Etter 13 minutter fra brannstart ble vanntåkeanlegget slått av og forsøket stoppet, høyeste temperatur i rommet var da 80°C . Det viste seg at en tredjedel av sofaen hadde brent opp og at sponplatene i hjørnet av rommet var brannskadet. Resten av møblelementet hadde blitt så bløtt at videre brannspredning ville ha tatt veldig lang tid.

Fig. 4.17 viser temperaturfordelingen for termoelement 1-6 og gjennomsnittstemperaturen, i forsøket ved inngrep fra vanntåke.

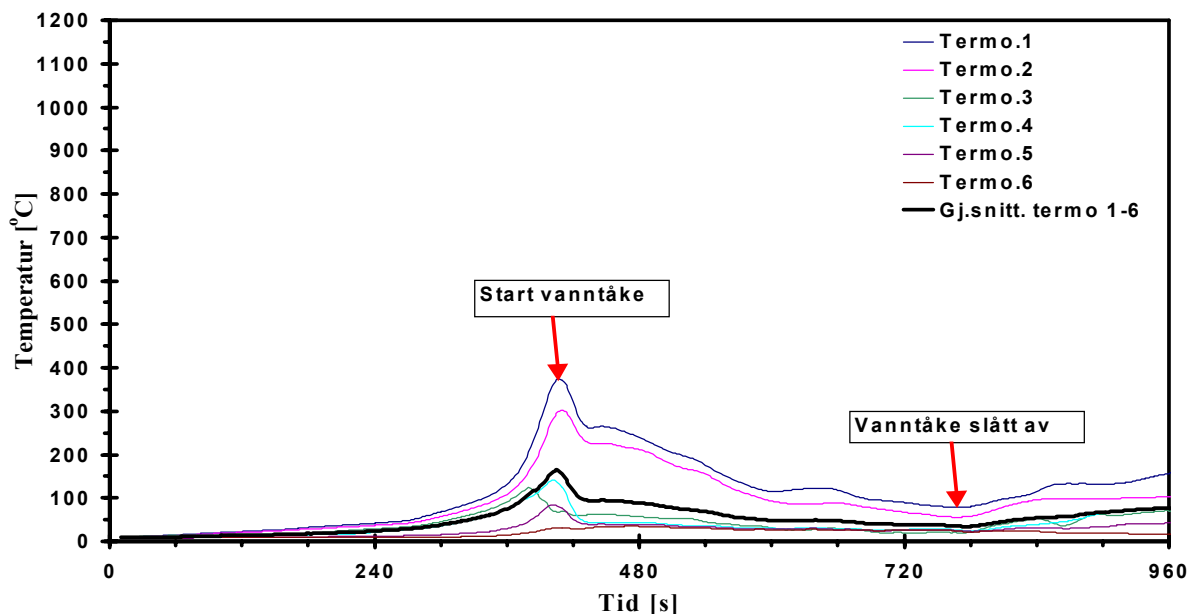


Fig. 4.17 Temperaturfordeling for termoelement 1-6 og gjennomsnittstemperatur, i forsøk med vanntåke.

Etter forsøket ble det observert at termoelement 1 og 2 var sotbelagt, mens termoelementene 3-6 var fri for sot. Dette kunne tyde på at de øverste termoelementene ikke hadde blitt truffet direkte av vanntåken, mens de fire nederste hadde fått vann på seg slik at de holdt seg "rene". Det ble også registrert et stort temperatursprang mellom termoelementene 2 og 3.

Fig. 4.18 viser at de relativt lave temperatuene gir utslag i lav varmestråling. For at det skal være mulig å se utslagene godt, er maksimal varmefluks på y-aksen satt til 10 kW/m^2 .

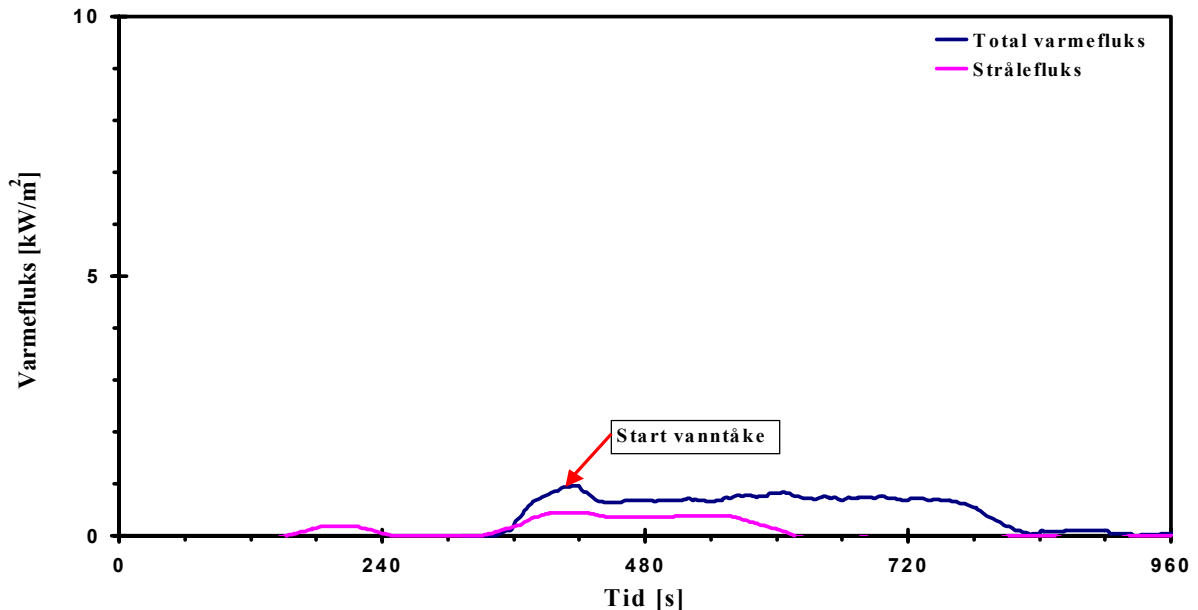


Fig. 4.18 Registrert varmefluks i forsøk med vanntåke.

4.5.2 Møblert rom, uten inngrep av vanntåke.

Som i første forsøk ble det også her observert at brannveksten skjedde sakte i begynnelsen. Ved aktivering av vanntåke i forsøk 1 viste termoelement 1 410°C , samme termoelement viste 410°C bare 20 s etter i forsøk 2. Etter syv minutter, hvor vanntåken ble aktivert i første forsøk, var det tydelig at det skjedde en overtenning i rommet. I løpet av 90 s økte temperaturen fra 171°C til 920°C og alt brennbart i rommet hadde tatt fyr. Kort tid etter begynte flammer å stikke ut av døråpningen, det ble derfor besluttet å kjøle ned utvendige konstruksjoner. Det ble observert at noe av vannet sprutet inn i rommet. Etter 16 minutter begynte brannen å stagnere og etter 30 minutter ble forsøket avsluttet. Det viste seg at kablene til varmefluksmålerne hadde brent av, noe som skjedde etter ca. 14 min 30 s.



Fig. 4.19 Overtening i rommet.

Fig. 4.20 viser at når brannen får utvikle seg uten vanntåke vil temperaturen bli mye høyere. Termoelement 1-6 er plottet inn sammen med gjennomsnittstemperaturen for de samme elementene. Figuren viser også at alle de seks termoelementene viser høye temperaturer og ligger veldig likt.

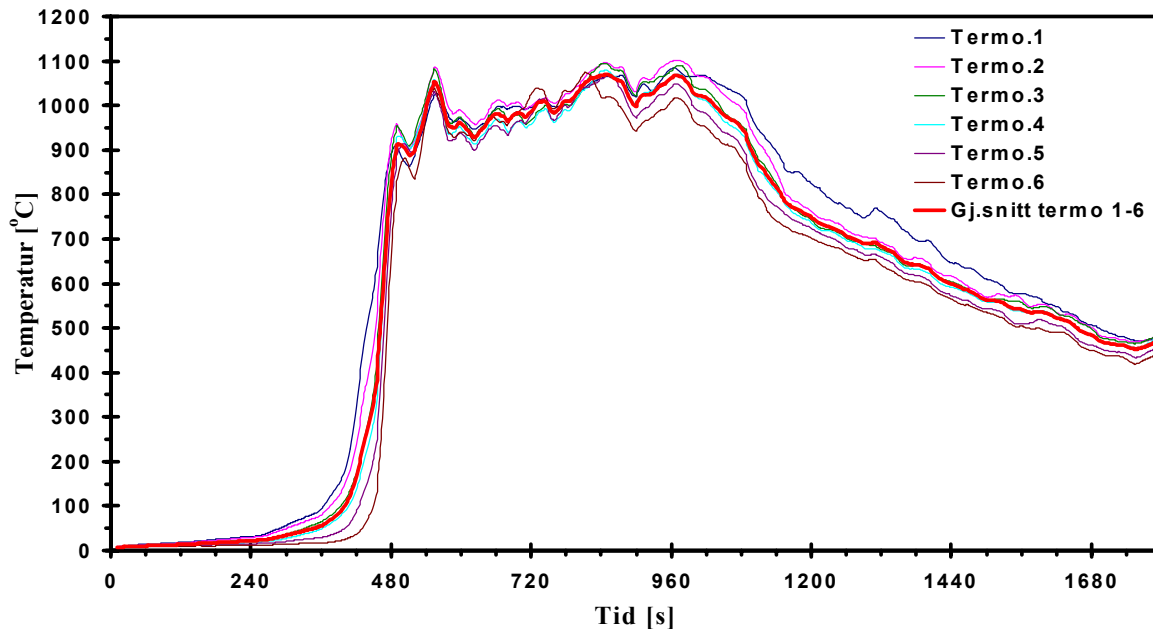


Fig 4.20 Temperaturfordeling for termoelement 1-6 og gjennomsnittstemperatur, i forsøk uten vanntåke.

De høye temperaturene gir stor varmestråling. Fra leverandøren av varmefluksmålerne er det gitt et sertifikat på kalibrering. Begge målerne er kalibrert for maksimalt 50 kWm^{-2} . Den totale varmefluksen overskrider dette nivået, se Fig. 4.21. Resultatene fra denne måleren vil derfor ikke bli brukt ved sammenligning av forsøkene.

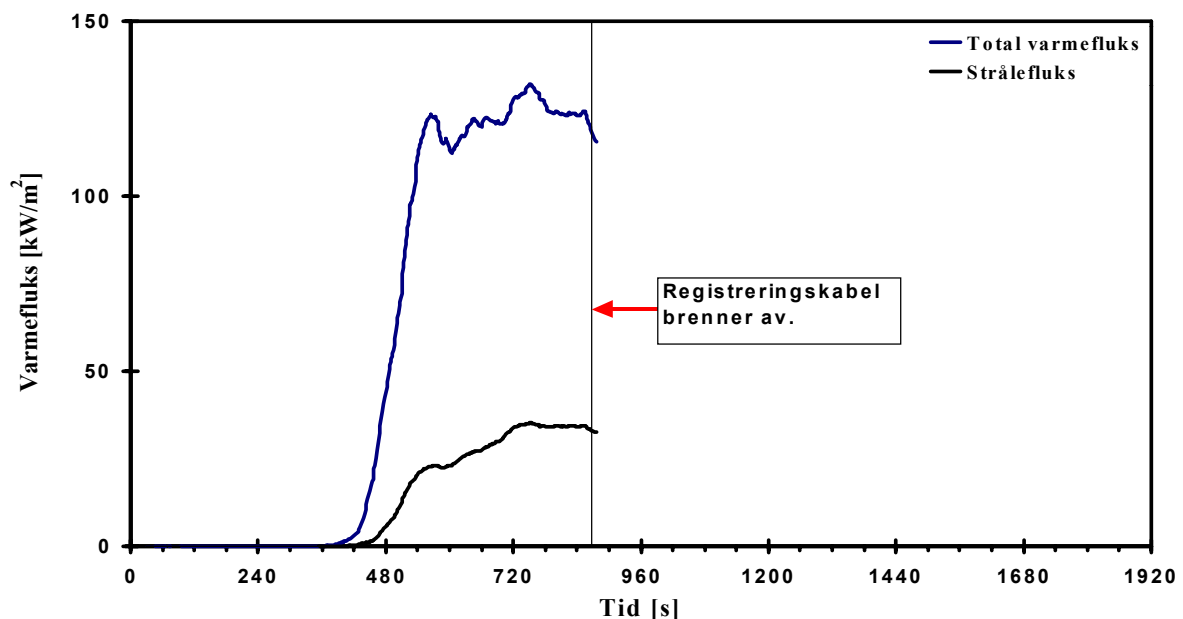


Fig 4.21 Registrert varmefluks i forsøk uten vanntåke.

4.5.3 Sammenligning av forsøkene

For å illustrere forskjellen mellom de to forsøkene i innredd rom, er gjennomsnittet av temperaturene med og uten vanntåke, plottet inn i samme graf, se Fig 4.22.

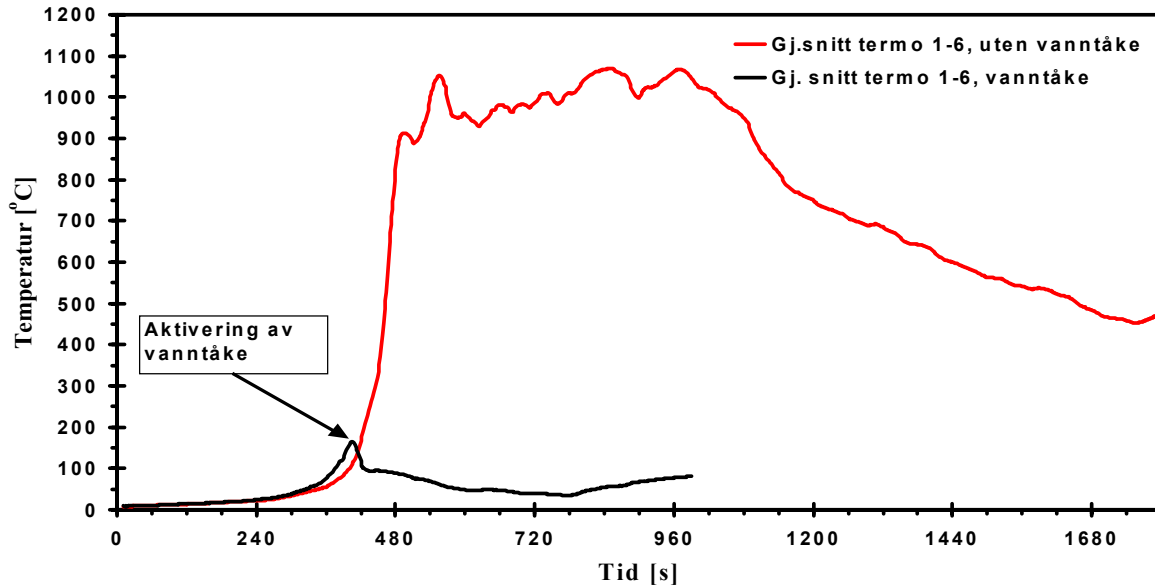


Fig. 4.22 Sammenligning av gjennomsnittstemperatur, for forsøk med og uten vanntåke.

Det er også stor forskjell i strålefluksen fra de to forsøkene, noe som illustreres i Fig. 4.23.

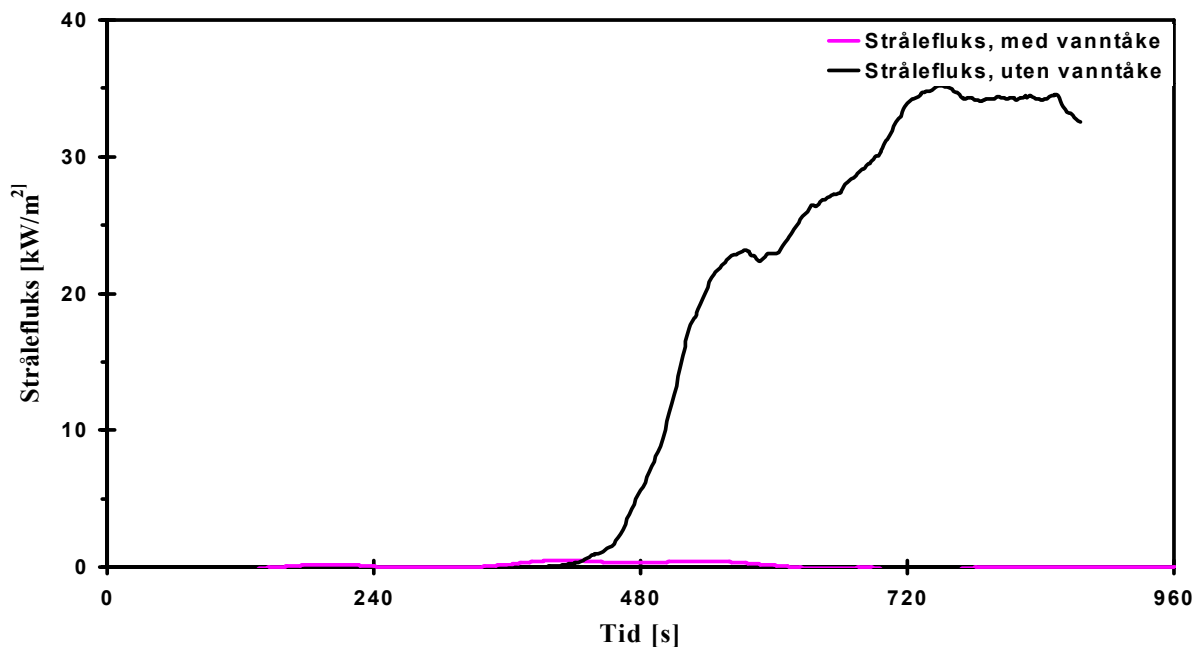


Fig. 4.23 Sammenligning av strålefluksene, med og uten vanntåke.

5. BEREGNINGER

I dette kapitlet er det gjennomført beregninger som sammenlignes mot målte verdier fra de ulike forsøkene. I beregningene som blir utført er likningene som er presentert i kapittel 2 benyttet.

5.1 Temperaturer i brannrommet.

Det finnes ulike metoder for anslag av temperaturer i et brannrom, uten inngrep av slökkemidler. En av metodene er testkurven i standarden ISO-834^[16], Likn.2.12, for standardbranner. I Eurocode^[8] er det beskrevet en metode for hydrokarbonbranner, Likn. 2.13. Sammenligning av standardkurve, hydrokarbonkurve og gjennomsnittlig temperatur for referanseforsøk 1-3 er vist i Fig. 5.1

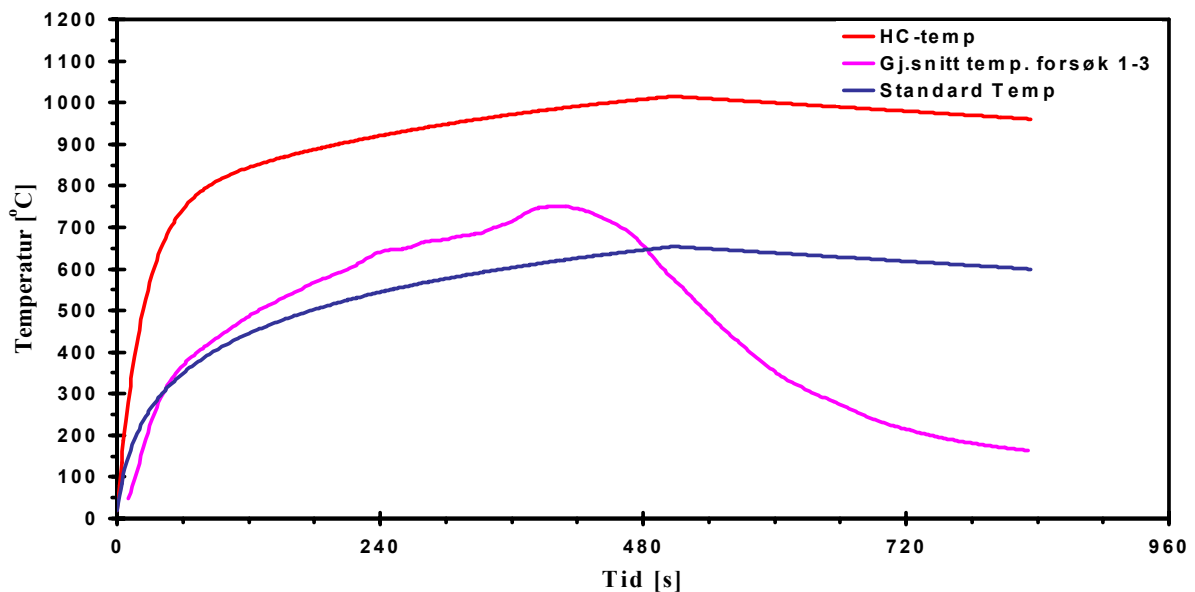


Fig. 5.1 Sammenligning av ISO-834 standard og HC mot referanseforsøk.

For referansebrannene er det kjørt et gjennomsnitt for temperaturene over 22 s. Dette er gjort for å få en ”glattere” kurve. Referansekurven starter derfor 11 s etter de to andre.

5.2 Gjennomføring av beregninger for total varmekraft og strålekraft ved bensinbrann

Beregninger er gjennomført i Microsoft Excel ved bruk av likninger oppgitt i kap. 2. I tillegg til registrerte temperaturer er følgende verdier benyttet i beregningene:

Tab. 5.1 Verdier brukt i beregningene.

Røyklagstykkelse, referanse (L)	1.1 m	Målt
Røyklagstykkelse, med vandrdåper (L)	1.2 m	Målt
Røykens spesifikke absorpsjonskoeffisient (K)	2.0 m^{-1}	Litteratur ^[7]
Varmefluksmålerens emissivitet (ϵ_m)	0.94	Vedlegg 3
Konvektivt varmeoverføringstall (h)	$20 \text{ Wm}^{-2}\text{K}^{-1}$	Antatt ut fra litteratur ^[7]

5.2.1 Beregnede og målte varmekraft for referanseforsøk

Beregnet og målt verdi for total varmekraft og strålekraft er gitt i Fig. 5.2.

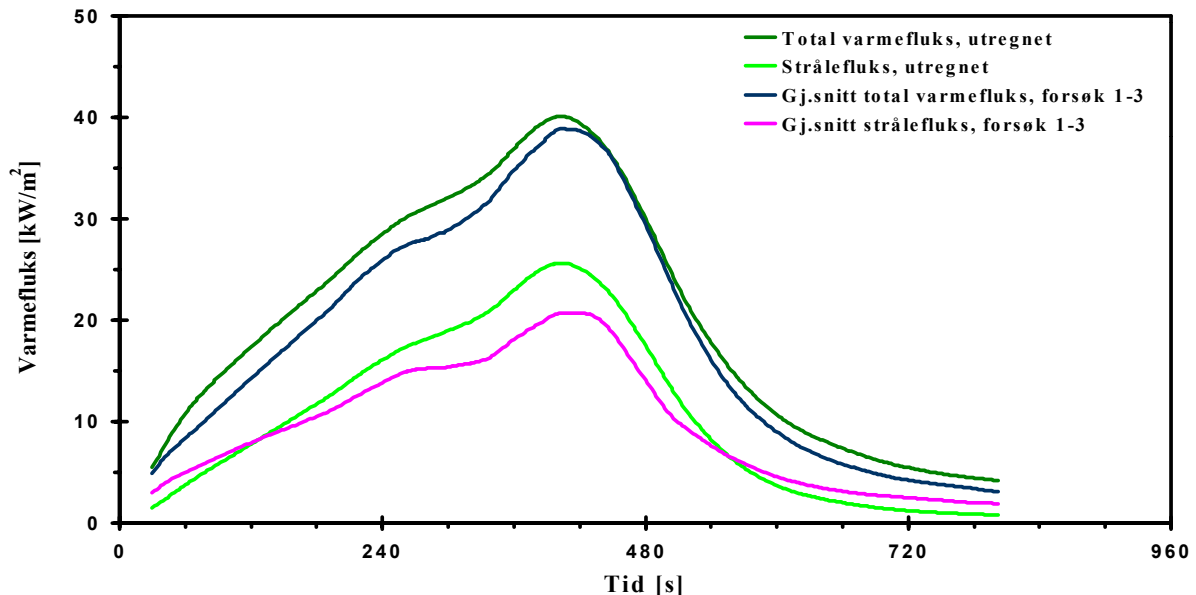


Fig. 5.2 Beregnet og målt verdier for total varmekraft og strålekraft ved referanseforsøk.

Fig. 5.2 viser at verdiene for beregnet og målt total varmekraft følger hverandre veldig godt med den målte verdien liggende litt under den beregnede. Verdiene for beregnet og målt strålekraft har også samme forløp, men verdiene for den målte verdien ligger noe under den beregnede i tidsintervallet 3-9 minutter.

5.2.2 Beregnede og målte varmeflukser for sprinklerforsøk

Beregnet og målt verdi for total varmefluks og strålefluks er gitt i Fig. 5.3. Varmefluksen på y-akse er satt til maksimalt 10 kWm^{-2} slik at sammenlikning er mulig.

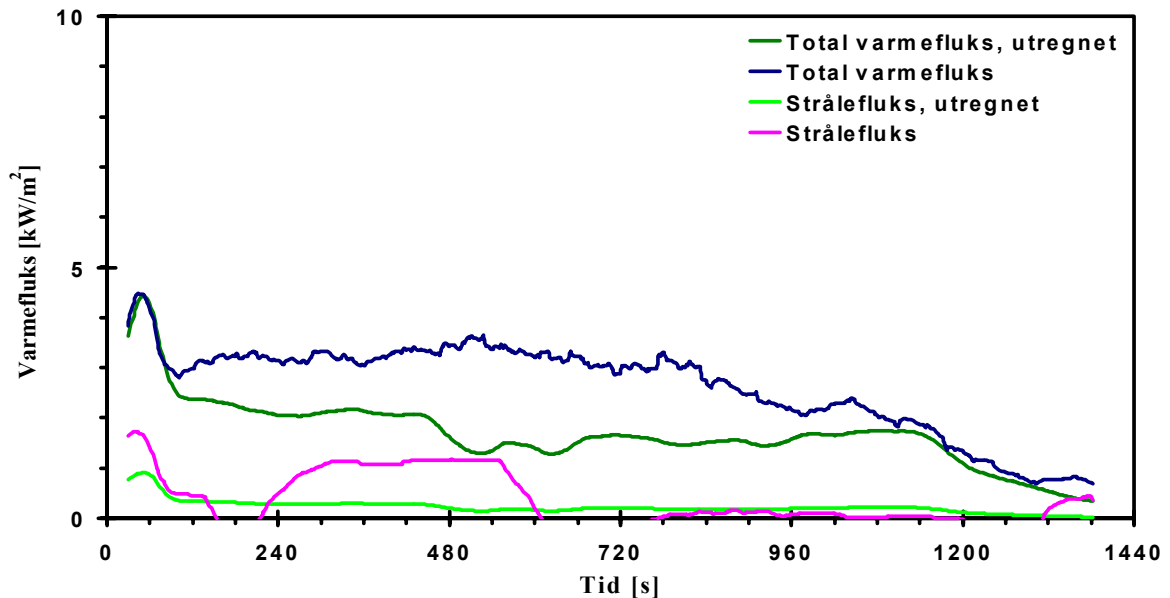


Fig. 5.3 Beregnede og målte verdier for total varmefluks og strålefluks ved sprinklerforsøk.

Fig. 5.3 viser at grafene til beregnet og målt total varmefluks har stort sett samme forløp, men med den beregnede verdien liggende noe under den målte i tidsintervallet 2-16 minutter. Grafene for beregnet og målt strålefluks har også samme forløp, men med den beregnede verdien liggende noe under i tidsintervallet 4-10 minutter.

5.2.3 Beregnede og målte varmeflukser for vanntåkeforsøk

Beregnet og målt verdi for total varmefluks og strålefluks er gitt i Fig. 5.4. Også her er maksimal varmefluks på y-aksen satt til 10 kW/m^2 .

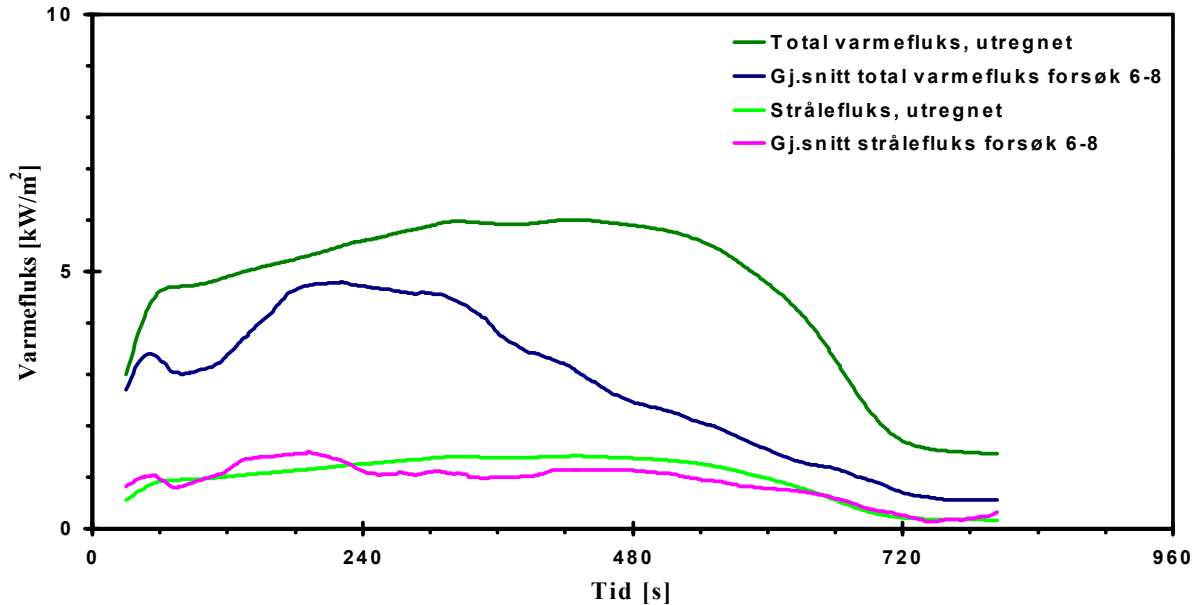


Fig. 5.4 Beregnede og målte verdier for total varmefluks og strålefluks ved vanntåkeforsøk.

Fig. 5.4 viser at målt total varmefluks ligger under beregnet i hele tidsforløpet. Frem til 240 s ligger målt strålefluks høyere enn beregnet, men etter 240 s ligger beregnet strålefluks høyere enn målt.

5.3 Beregninger og målinger fra forsøk med møblert rom

I dette forsøket er det utført beregninger av temperatur i brannrommet, i tillegg til varmefluksene. Dette ble gjort for å teste den parametriske brannkurven i forhold til de målte verdiene.

5.3.1 Sammenligning av beregnet og målt temperatur

For beregning av temperaturen i brannrommet ble Likn. 2.14 benyttet, det ble dermed tatt hensyn til rommets oppbygging, ventilasjon og innhold. Alle beregninger er utført i Microsoft Excel og plottet i samme graf som den målte gjennomsnittstemperaturen fra forsøket uten vanntåke, se Fig 5.5. Siden det var flammer i hele rommet ble termoelement 1-6 og 10 benyttet for beregning av gjennomsnittstemperatur. Termoelement 10 ligger ved strålefluksmåleren og ble derfor vektlagt høyere enn termoelementene som lå i taket.

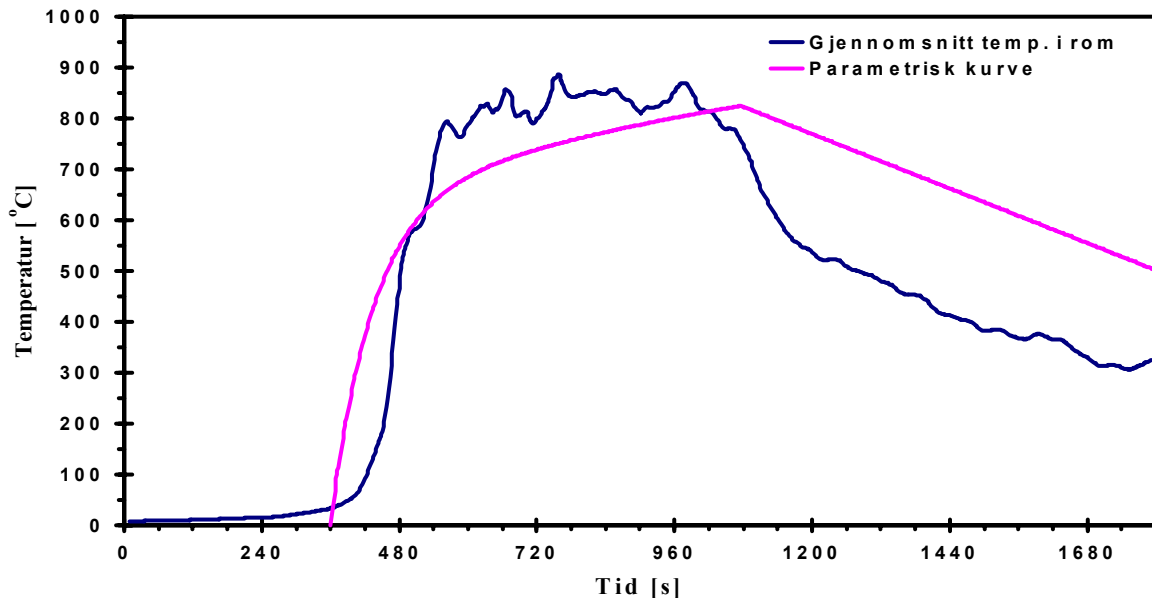


Fig. 5.5 Sammenligning av gjennomsnittstemperatur fra forsøk og parametriske kurve.

I den reelle brannen er tennkilden et lite kar med 0.1 l bensin. Brannen fra det lille karet vil være dominerende inntil det tar fyr i rommets inventar og brannveksten øker. For å få et noe mer realistisk sammenligningsgrunnlag er starttidspunktet til den parametriske kurven satt til 360 s.

Sammenligningen viser at brannveksten i begge tilfellene er nokså lik, men at den parametriske kurven når maksimal temperatur noe senere.

5.3.2 Sammenligning av beregnet og målt strålefluks

Emissiviteten til røyklaget ble funnet ved hjelp av Likn. 2.9. Røyklagets tykkelse ble antatt å være 1.2 m og røykens spesifikke absorpsjonskoeffisient ble av tabell funnet til å være $2.0 \text{ m}^{-1[7]}$. Konfigurasjonsfaktoren ble beregnet til 0.498, se Vedlegg 4. Den resulterende emissiviteten for røyklaget og det som mottar stråling funnet ved hjelp av Likn. 2.8. Strålefluks ble beregnet ved hjelp av Likn. 2.7 for mottatt strålingsenergi. Alle beregninger ble utført i Microsoft Excel.

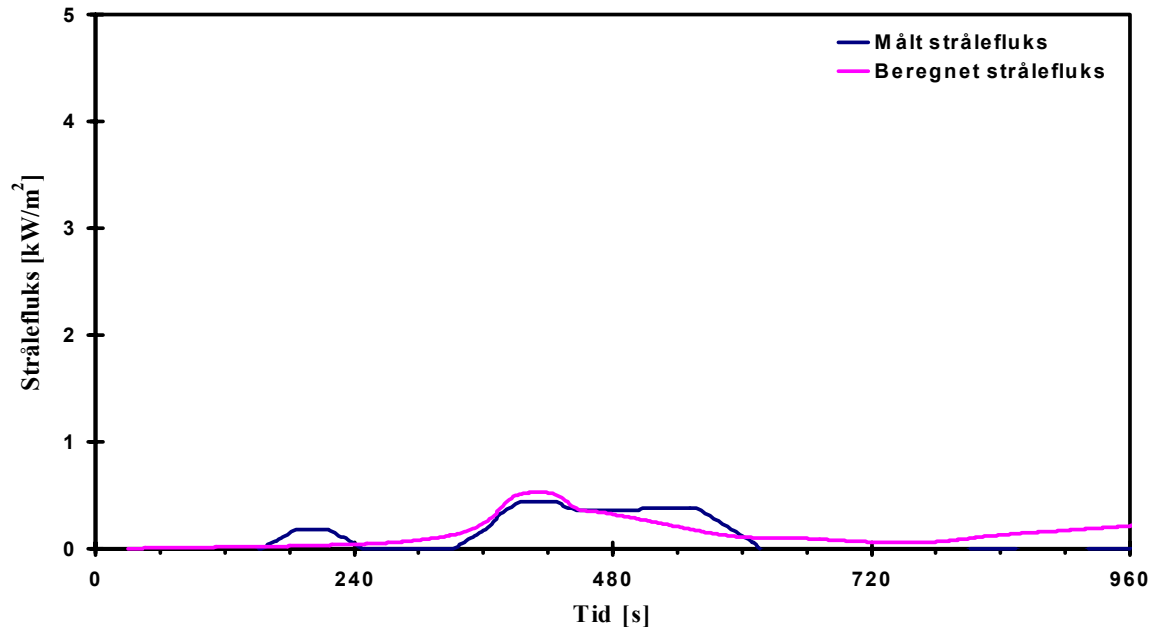


Fig. 5.6 Sammenligning av beregnet og målt strålefluks i forsøk med vanntåke.

Grafen viser at det er en meget liten strålefluks i rommet. Differansen mellom beregnet og målt verdi er minimal.

I forsøket med møblert rom uten vanntåke utviklet brannen seg til overtenning. To-sonemodellen for beregning av strålefluks er dermed ikke gyldig^[7]. For å se om modellen likevel kunne gi en estimering av strålingsnivået mot gulvet, ble det forsøkt beregnet en strålefluks. For å kunne gjøre dette ble det gjort en del antakelser og tilnærminger, det må presiseres at disse ikke er gyldige for denne modellen:

- Selv om det ikke var noe røyklag, ble dette satt til en dybde på 1.2 m.
- Gjennomsnittstemperaturen til det strålende objekt ble beregnet fra termoelement 1-6.
- Det ble ikke tatt hensyn til strålende objekter under termoelement 6.
- Emissivitet ble satt til den samme som i forsøk med vanntåke.

Alle beregninger ble utført i Excel og resultatene vises i Fig. 5.7.

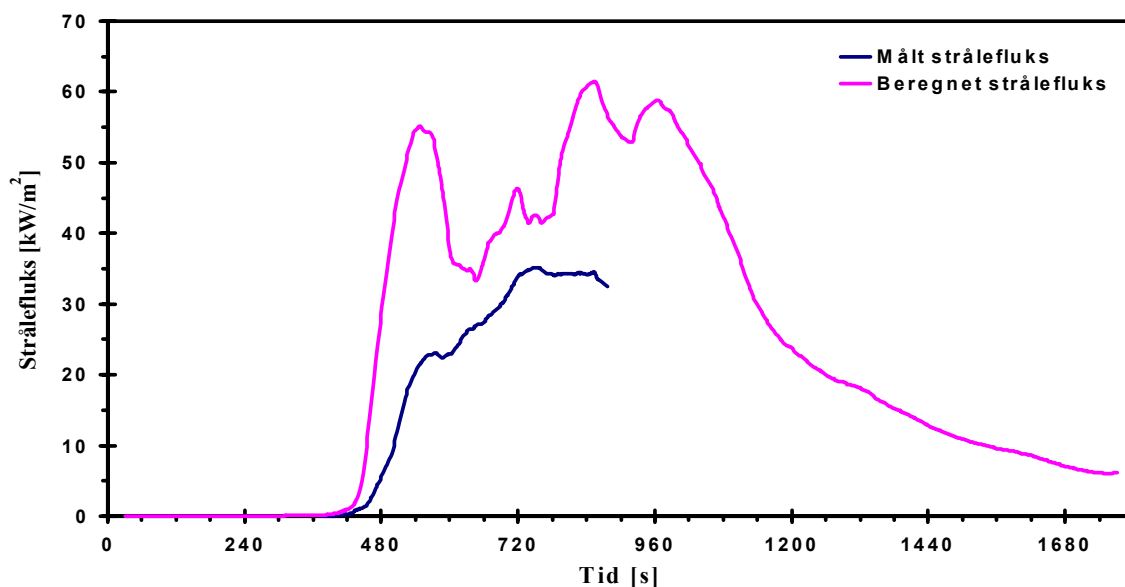


Fig. 5.7 Sammenligning av beregnet og målt strålefluks i forsøk uten vanntåke.

Figuren viser at den målte strålefluksen ligger langt under den beregnede. I enkelte perioder har grafen til den beregnede strålefluksen store fall. Registreringer viser at gjennomsnittstemperaturen til "røyklaget" ligger stabilt, men ved gulvet øker temperaturen raskt i samme periode.

6. DISKUSJON

I dette kapittelet vil det bli sett på hvilke forhold som kan ha innvirket på eller vært årsak til at det er blitt forskjeller i beregnede og målte resultater. Det vil også bli sett på hva som kan ha innvirket på uregelmessigheter i registreringene til de målte verdiene.

6.1 Vær og vind

Alle forsøkene ble foretatt utendørs. Dette gjør at vær og vind kan ha hatt innvirkning på forsøkene.

De første forsøkene startet i begynnelsen av februar, mens de siste ble gjennomført i slutten av mars. I denne perioden skiftet værforholdene ute fra snø og kulde til sol og litt mer varme. Starttemperaturen ble dermed litt forskjellig fra forsøk til forsøk. Denne forskjellen var imidlertid så liten at den ikke hadde noen direkte innvirkning på forskjellene i brannforløpene.

Snø og regn var også tilstedeværende under noen av forsøkene, men heller ikke dette hadde vesentlig innvirkning på måleresultatene. Grunnen til dette er at ISO-rommet er bygd inn, og snø og regn får dermed ikke mulighet til å legge seg direkte på betongveggene og eventuelt fukte dem.

Den værfaktoren som hadde størst betydning for utslag på måleresultatene var vinden. I flere av forsøkene ble det observert at røyken som kom ut av ventilasjonsåpningen ble slått ned og dradd inn i rommet igjen. Dette kom som en følge av at vindretningen var direkte inn mot ventilasjonsåpningen eller av tilfeldige vindkast.

For å forhindre at vær og vind skal kunne ha innvirkning på forsøkene anbefales det at de foregår innendørs, isteden for ute i friluft.

6.2 Brensel

I til sammen 13 av forsøkene, 7 gjeldende, ble det benyttet bensin som brensel. Bensinen som benyttes ved Res \dot{Q} er kun ment til bruk ved slukkeøvelser og ikke til forsøk. Renheten til denne bensinen kan derfor diskuteres.

I det tredje av de innledende forsøkene ble det observert en maksimal temperatur på 1153 °C, mens det i det andre av de innledende forsøkene ble observert en maksimal temperatur på 790 °C. Dette er en forskjell på hele 363 °C til tross for bort i mot helt like forutsetninger. I mangel av noen annen god forklaring på dette spriket i temperaturen, er det sannsynlig at dårligere kvalitet på bensinen, enn den som brukes til vanlig, er en medvirkende årsak.

6.3 Utstyr

I innledende forsøk ble det prøvd med to karstørrelser (0.55 m og 0.75 m), før valget falt på 0.75 m. Fra tidligere prosjekter^[5] ble det brukt en karstørrelse på 0.63 m, noe som hadde vært bedre også for dette prosjektet. Det ville ha gitt lengre branntid med samme mengde brensel. På grunn av et lavt økonomisk budsjett ble det ikke investert i et kar av denne størrelsen.

Dysen som ble valgt i forbindelse med sprinklerforsøket gav mer vann enn ønsket. For å få bedre sammenligningsgrunnlag kunne det ha vært prøvd med flere dysetyper, dette ble ikke gjort grunnet mangel av tid til gjennomføring av forsøk. Det var heller ikke tid til å gjennomføre vanntåkeforsøk med mindre vannforbruk.

6.4 Konstanter

I beregningene er det benyttet flere antatte verdier. Disse antagelsene kan ha ført til unøyaktigheter i de utregnede verdiene.

Forbrenningseffektivitet, χ , brukt i Likn. 2.1

I tidligere forsøk utført ved samme anlegg er det benyttet en forbrenningseffektiviteten på 0.8^[5] for bensin. Denne verdien ble derfor brukt i utregninger ved bruk av Likn. 2.1.

Konvektivt varmeoverføringstall, h , brukt i Likn. 2.5

Fra litteratur^[7] er denne konstanten oppgitt til 5-25 Wm⁻²K⁻¹ for fri konveksjon og 10-500 Wm⁻²K⁻¹ for tvungen konveksjon. Dette er ikke en materialkonstant, men en verdi som er avhengig av de faste objektenes geometri og egenskapene til fluidet inklusiv strømningsparametere. Den er også en funksjon av temperaturdifferansen, ΔT .

Under forsøkene var det til tider vind inn mot rommets åpning. Dette medførte en økt konveksjon og det konvektive varmeoverføringstallet ble derfor satt til 20 Wm⁻²K⁻¹.

Konfigurasjonsfaktor, ϕ , brukt i Likn. 2.7

En usikker faktor i beregning av konfigurasjonsfaktor er avstanden mellom det strålende- og det mottakene objekt. I varm røyk stråler alle de små partiklene, med ulik temperatur, mot hverandre i alle retninger. Det å finne en mer "rett" avstand for beregning av konfigurasjonsfaktoren vil derfor være vanskelig uten å gjøre numerisk beregning/CFD. Det ble derfor valgt å la denne avstanden være fra midten av røyklaget.

Emissivitet i røyklaget, ε_g , brukt i Likn. 2.8

Røyklagets tykkelse, L , ble benyttet til å finne røykgassenes emissivitet, ε_g . På grunn av skiftende værforhold ved de fleste forsøkene, var ikke røyklagstykkelsen stabil hele tiden og variasjonene var av og til opp i mot +/- 0.05 m i hvert enkelt forsøk.

Ved utregningene ble det ikke tatt hensyn til ustabilitet i røyklagets tykkelse. Isteden ble den gjennomsnittlige tykkelsen benyttet. Denne tykkelsen ble i utregningene for forsøk uten noen form for inngrep målt til 1,1 m og i forsøkene med vann som slokkemiddel til 1,2 m.

Så lenge variasjonen i røyklagstykkelsen ikke var mer enn +/- 0.05 m vil utslagene bli små. Denne variasjonen av emissiviteten i røyklaget utgjør en feilmargin på ca. +/- 1%.

Resulterende emissivitet, ε_R , brukt i Likn. 2.7

For å finne den resulterende emissiviteten, ε_R , må verdien av røykgassenes emissivitet, ε_g , benyttes. Dersom vår antagelse om at variasjonene i røyklagets tykkelse ikke vil ha noen stor innvirkning på utregningene er feil, så vil vi her kunne få en mulig følgefeil som feilkilde.

6.5 Referanseforsøk

Det ble observert at røyklaget la seg relativt stabilt, men at det varierte i tykkelse innover i rommet. Ved brannkilden stakk flammen opp i taket og et stykke bortover mot åpningen. Temperaturdifferansen kan derfor ha vært stor i rommets dybde. Ved å sette opp flere termoelementer ulike steder i rommet kunne gjennomsnittstemperaturen blitt bedre beregnet.

Etter forsøkene ble det observert at det la seg mye sot på termoelementene, noe som kan ha gitt feil på målingene. På vegger og tak var det lite sot, noe som kan tyde på at det har vært god dynamikk i røyklaget eller at forbrenningseffektiviteten har vært høy. Siden forbrenningseffektiviteten ble antatt til 0.8 kan dette gi et feilutslag i beregningen av energiproduksjon.

6.6 Forsøk med sprinklerdyse

Sprinklerdysen gav veldig mye vann (85 l min^{-1}). Dette medførte at mye av slokkevannet samlet seg opp i bensinkaret og fordampningsraten ikke kunne beregnes.

Fra registreringene, Fig. 4.6, viste det seg at termoelement 1 hadde en temperatur $200 - 300^\circ\text{C}$ høyere enn resten av termoelementene. Dette kan tyde på at øverste termoelement ikke ble truffet direkte av vanndråpene, mens de fem andre ble kjølt kontinuerlig.

Fig. 5.3 viser at den målte totale varmekraften ligger høyere enn den beregnede. Dette kan tyde på at gjennomsnittstemperaturen i røyklaget var høyere enn det som ble registrert av termoelementene. For strålefluks, i samme figur, er det stor variasjon mellom målt og beregnet strålefluks. I starten er den målte strålefluks høyere enn den beregnede og etter hvert blir registreringen motsatt. Dette kan skyldes at det kalde vannet fra sprinkleren etter hvert kjøler måleren, noe som kan gi registreringsfeil. Et stykke ut i forsøket ble også nitrogenforsyningen til måleren økt. Dette ble gjort for å være sikre på at det ikke la seg vann i kammeret, dette kan også ha gitt variasjon i målerresultatene.

For videre forsøk med sprinklerdysen og varmekraftmåling bør det vurderes hvordan termoelementene og varmekraftmålerne plasseres og hvordan disse kan beskyttes.

6.7 Forsøk med vanntåkedyse

Fra registreringene av temperatur viste det seg at termoelement 1 og 2 hadde markant høyere temperatur enn termoelement 3-6. Sannsynligvis skyldes dette at de øverste termoelementene hadde vært mindre påvirket av vanndråpene enn de nederste. Fra observasjoner gjort etter forsøkene kunne det se ut som om denne antakelsen stemte. De to øverste termoelementene var sotbelagt, mens de andre virket å være "vasket" ren. I utgangspunktet var dysene plassert slik at de skulle sprute bort fra termoelementene, men på grunn av røykens bevegelse er det sannsynlig at en del av dråpene er blitt dradd tilbake forbi termoelementene.

I døråpningen kunne det observeres at røyken dro med seg vanndråper ut av rommet. Det var også tydelig at en del av disse dråpene ble falt ut fra røyken og ned slik at noen ble dradd inn i rommet igjen med den innstrømmende luften. Sannsynligvis vil en andel av disse dråpene nå inn til flammen og fordampe. Dette vil bidra til lavere temperatur i røykgassene.

Ca. 30 s etter aktivering av vanntåken ble det observert at vanndråper trengte gjennom røyklaget og la seg på gulvet. Kort tid etter begynte dette vannet å fordampe, noe som bidro til reduksjon av temperaturen i rommet.

Den maksimale gjennomsnittlige temperaturen fra forsøkene med vanntåke ble redusert med over 500°C i forhold til referanseforsøkene. På grunn av reduksjonen i gjennomsnittlig temperatur ble også varmekraftene redusert. Den gjennomsnittlige maksimale totale varmekraften ble redusert fra 38.8 til 4.8 kWm^{-2} og strålekraften fra 20.7 til 1.5 kWm^{-2} .

Fig. 5.4 viser at den beregnede totale varmekraften lå over den målte i hele tidsforløpet, mens den beregnede strålekraften lå høyere enn den målte fra 240 s. Dette kan skyldes at det meste av vanntåken fordampet umiddelbart i starten. Etter hvert som temperaturen i røyklaget ble redusert trengte en del av vanndråpene gjennom røyklaget. Disse dråpene og de som kom inn igjen med den innstrømmende luften vil i et tidsrom befinne seg mellom røyklag og varmekraftmålerne. Dette kan ha ført til at en del av strålingen fra røyklaget har blitt blokkert av vanndråpene.

Forskjellen mellom strålekraft og total varmekraft er at den totale varmekraften også registrerer konveksjon. Den store forskjellen mellom målt og beregnet total varmekraft fra tidsrommet 300 s og utover kan skyldes at det konvektive varmeoverføringstallet endres over tid. Det ble også observert at det hadde lagt seg et tykt (3-4 mm) sotlag på den totale varmekraftmåleren. Dette isolerer for varmetransport slik at for lave verdier registreres for varmekraften inn til måleren.

6.8 Møblert rom med og uten vanntåke

I rommet ble det plassert inn sofa, stol, bord, seng, lav bokhylle og en del tidsskrifter. I tillegg ble 10 m^2 av veggene kledd med sponplater. Mengden av møblement var kanskje litt i meste laget i forhold til rommets størrelse, men siden bare 38% av veggens totale areal var dekket med sponplater ble den totale brannbelastningen vurdert som tilnærmet likt et normalt rom av denne størrelsen. For at brannutviklingen skulle bli mest mulig lik i begge forsøkene ble det benyttet et lite kar med 0.1 l bensin som tennkilde. Karet ble plassert i sofaen, innerst i venstre hjørne. Det ble vurdert ulike tennkilder som kunne være realistisk, men den valgte ble antatt å være mest pålitelig.

Møblert rom med vanntåke

Umiddelbart etter aktivering av vanntåken ble det observert at røyken ble hvit og at noen vanndråper trengte gjennom røyklaget. Dette medførte at møblementet ble fuktig og fem minutter etter aktivering begynte vann å renne ut fra rommet. Seks minutter etter inngrep fra vanntåken ble det observert at det kun brant litt i taket. Forsøket ble derfor avsluttet.

Som ved de tidligere forsøk med vanntåke viste det seg at bare termoelement 1 og 2 var sotbelagt. Diskusjonen rundt dette er tatt i kap. 6.7.

Et forslag til endringer ved gjennomføring av denne type forsøk er å teste hvordan brannutviklingen endres ved å justere tidspunktet for inngrep av vanntåken. I tillegg kunne det ha vært prøvd med ulike mengder vanntåke.

Møblert rom uten vanntåke

Ca. syv minutter etter brannstart var det tydelig at det var full overtenning i rommet. Kort tid etter ble det observert flammer ut av døråpningen og at det tok fyr i konstruksjonene rundt ISO-rommet. Det ble derfor besluttet å kjøle ned de utvendige konstruksjonene. Dette kan ha medført at noe av slokkevannet sprutet inn i rommet og kan ha hatt en kjølede effekt.

Ca. fjorten minutter etter brannstart ble det observert at isolasjonen rundt registreringskabelen til varmeefluskmålerne begynte å smelte. Det ble da gjort et forsøk på å dra målerne ut av rommet, for å forhindre store skader på utstyret. I den sammenheng gled isolasjonen fra hverandre og registreringskabelen brant av.

Under overtenningen og den fullt utviklede brannen ble det observert flammer i hele rommet. Gjennomsnittstemperaturen i rommet ble beregnet ut fra termoelement 1-6 og 10. Termoelement 10 ble vektlagt høyere siden det lå ved gulvet og de seks andre var fordelt i øverste del av rommet. For å få et bedre måleresultat for gjennomsnittstemperaturen i rommet burde termoelementene ha vært gjevnt fordelt i hele rommets høyde.

Ved beregning av temperatur i rommet ble den parametriske kurven fra Eurocode benyttet^[8]. Denne metoden er mer spesifikk enn Norsk Standard, men også denne har svakheter ved bruk mot ISO-rom. I forklaringen til formlene er det gitt at betong har en tetthet som ligger mellom 1900 og 2100 kgm⁻³, noe som ikke er tilfelle for lettbetongen til ISO-rommet som hadde en tetthet på 600 kgm⁻³. Dette medfører lavere varmeledningsevne i betongen og kvadratroten av den termiske tregheten havner utenfor gyldighetsområdet til den parametriske kurven.

På grunn av usikkerhet rundt hvilke tretyper de ulike møblene besto av, ble det i beregningene gjort forenklinger i valg av type treverk som bidro til brannbelastningen. Det ble satt at alt treverket var av samme type, noe som kan ha bidratt til feil i temperaturkurven.

Et forslag til endringer ved gjennomføring av denne type forsøk er å plassere varmeefluskmålere på utsiden av døråpningen, rettet inn mot rommet. Disse kan bli brukt til å vurdere målinger av varmestråling ut fra et rom i overtenning opp mot beregninger.

To-sonemodellen for beregning av strålefluks er ikke gyldig^[7] ved overtenning. I kap 5.3.2 ble det likevel prøvd å beregne en strålefluks for å se om modellen kunne gi en estimering av strålingsnivået mot gulvet. For å kunne gjøre dette ble det gjort en del antakelser og tilnærminger, som i utgangspunktet ikke er gyldig for denne modellen:

- Selv om det ikke var noe røyklag, ble dette satt til en dybde på 1.2m.
- Gjennomsnittstemperaturen til det strålende objekt ble beregnet fra termoelement 1-6.
- Det ble ikke tatt hensyn til strålende objekter under termoelement 6.
- Emissivitet ble satt til den samme som i forsøk med vanntåke.

Fig.5.7 viser at disse tilnærmingene og antakelsene gir et dårlig resultat og begrensningene til to-sonemodellen ble bekreftet.

KONKLUSJONER

Ut fra resultater registrert under forsøk og de beregninger som er utført kan følgende konklusjoner trekkes:

Alle forsøkene med vanndråper, sprøytet inn i det varme røyklaget, viste at temperaturen sank betydelig og varmestrålingen ble kraftig redusert. For bensinbrannene ble den maksimale strålefluksen redusert fra 26 kWm^{-2} til 1.5 kWm^{-2} og 3.8 kWm^{-2} for hhv. sprinklerdyse og vanntåkedysene. For brannene med møblert rom ble strålefluksen redusert fra 41 kWm^{-2} til 0.8 kWm^{-2} ved bruk av vanntåke. Denne reduksjonen reduserer brannspredningen og faren for overtenning. Brannene ble holdt under kontroll og innsats i rommet ville vært mulig.

Beregning av varmestråling fra de målte temperaturene viste seg å stemme bra overens med de registrerte varmefluksmålingene før overtenning. Dersom varmefluksmålere ikke er tilgjengelig kan temperaturer i brannrommet gi et godt estimat.

Ved bruk av vanntåke i bensinbrannene ble den beregnede varmestrålingen litt høyere ($0.2\text{-}0.4 \text{ kWm}^{-2}$) enn den målte, i store deler av forsøkene. Den beregnede verdien for varmestråling tar hensyn til temperaturene i røyklaget, men ikke vanndråper i luften mellom det varme røyklaget og gulvnivå. Differansen kan skyldes at de vanndråpene som trenger gjennom røyklaget blokkerer noe av varmestrålingen.

Det viste seg at vanndråpene fra sprinklerdysen og vanntåkedysene var meget effektive til kontroll av brannene. Varmestrålingen ble i begge tilfellene kraftig redusert, henholdsvis med ca. 24 kWm^{-2} og 22 kWm^{-2} . Det ble registrert at vanntåken reduserte varmestrålingen omtrent like mye som ved bruk av sprinkler, men vanntåkeanlegget brukte bare en tiendedel av vannforbruket.

REFERANSER

- [1] International Water Mist Association: "<http://www.iwma.net>", Am Langen Berg 3 D-39345 Vahldorf, opprettet 4 April, 1998.
- [2] Braidech, N.M., Neale, J.A., Matson, A.F. og Dufore, R.E.: *The Mechanism of Extinguishments of Fire by Finally Divided Water*, Underwriters laboratories Inc. For the National Board of Fire Protection, N.Y., 73, 1955.
- [3] Rasbash, D.L., Rogowski, Z.W og Stark, G.W.V.: *Mechanism of Extinction of Liquid Fuel Fires with Water Sprays*, Combustion and Flame, 4, 223-234, 1960.
- [4] Wighus, Ragnar: *Vanntåke slokketeknologi – status 2000*. Sintef Bygg og miljøteknikk, Norges branntekniske laboratorium
- [5] Nilsen, Alf Reidar: "*Vanntåkens innvirkning på energibalansen i et brannrom*", Hovedoppgave offshoreteknologi – Sikkerhetsteknikk, Høgskolen i Stavanger, 01-04-1997.
- [6] Wighus, Ragnar. *An Empirical Modell for Extinguishment of Enclosed Fires with Water Mist*. Halon Options Technical Working Conference, 12-14 May 1998, Albuquerque, New Mexico, USA.
- [7] Drysdale, Dougal: "*An introduction to fire dynamics*", second edition, John Wiley & Sons Ltd, Baffins Lane, Chichester, West Sussex PO19 1 UD, England, 1998.
- [8] ENV 1991-2-2, *Actions on structure exposed to fire, European Prestandard*, 1995.
- [9] NS 3900: "*BRANNPRØVING – TERMINOLOGI. Termer og definisjoner*", NSF/NBR 1994.
- [10] T. Log og Peter Cannon-Brookes. "*Water Mist*" for *Fire Protection of Historic Buildings and Museums*. Museum Management an Curatorship, Vol. 14, No. 3, pp. 283-298, 1995.
- [11] Gjessen, Georg. *Lærebok i brannvern og brannteknikk*, Tapir 1992.
- [12] NFPA 750 *Standard for the instalation of water mist fire protection systems*, 1996 edition. 1 Batterymarch Park, Po Box 9109, Quincy, MA 02269 – 9101
- [13] Torgrim Log, *Radiant Heat Attenuation In Fine Water Water Sprays*, 7th. Fire Science and Engineering conference, Interflam, St. John`s College, Cambidge, England, 1996.
- [14] Babruskas, V. Og Peacock, R. D. : *Heat Release Rate: The Single Most Important Variabel in Fire Hazard*, Fire and Safety J.,18, 225-272, 1992.
- [15] Coppale, A., Nedalka, D. og Bauer, B. : *Fire protection : Water curtains*. Fire Safety Journal, 20, 241-55, 1993.

- [16] ISO 834, *Fire-resistance tests – Elements of building construction*. First edition – 1975-11-01.
- [17] ISO 9705: “*Fire test – Full scale room test for surface products*”, first edition, 1993-06-15.
- [18] Norsk Byggkatalog: “*Hefte 1*”, 12 – 13, Desember 1995.
- [19] T. Log og S.E. Gustafsson. *Transient Plane Source (TPS) Technique for Measuring Thermal Transport Properties of Building Materials*. Fire and Materials vol. 19, 43-49, 1995.
- [20] NS 3478, *Brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner*. NBR, 1. utg. okt. 1979

VEDLEGGSLISTE**V-1 Registreringer gjeldende forsøk**

- V-1.1 Forsøk 1
- V-1.2 Forsøk 2
- V-1.3 Forsøk 3
- V-1.4 Forsøk 4
- V-1.5 Forsøk 5
- V-1.6 Forsøk 6
- V-1.7 Forsøk 7
- V-1.8 Forsøk 8
- V-1.9 Forsøk 9

V-2 Registreringer innledende forsøk

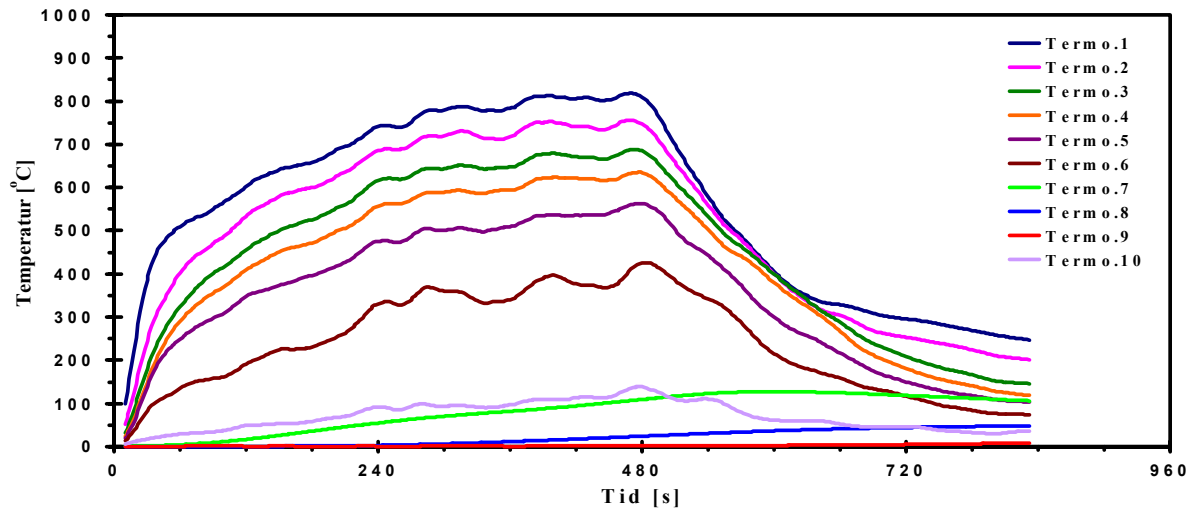
- V-2.1 Innledende forsøk 1
- V-2.2 Innledende forsøk 2
- V-2.3 Innledende forsøk 3
- V-2.4 Innledende forsøk 4
- V-2.5 Innledende forsøk 5
- V-2.6 Testforsøk vanntåke

V-3 Data for varmekfluksene

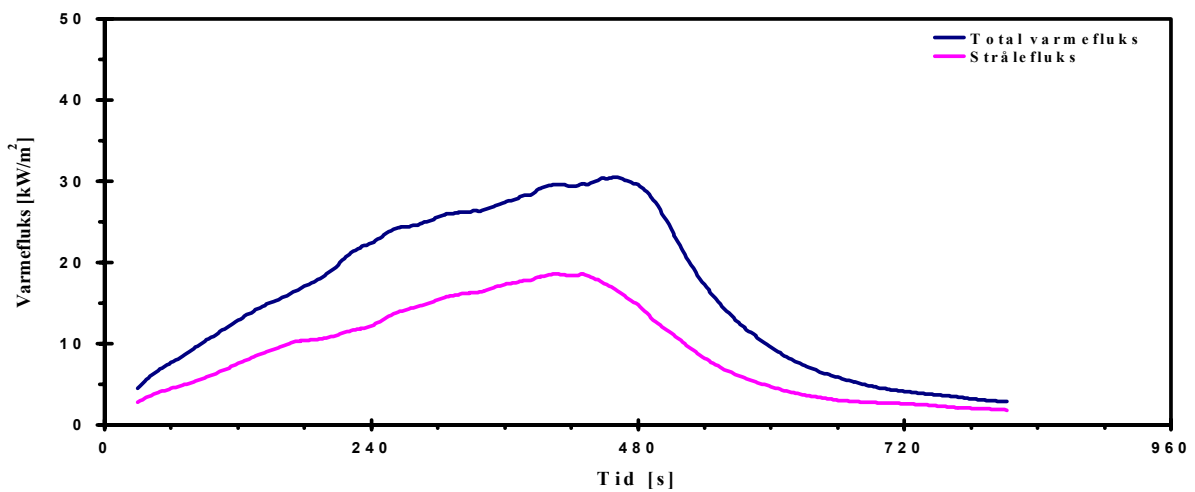
- V-3.1 Kalibreringssertifikat total varmekfluks
- V-3.2 Kalibreringssertifikat strålefluks
- V-3.3 Generelle data varmekfluksmålere

V-4 Beregning av konfigurasjonsfaktor, ϕ **V-5 Utstyr og materialliste****V-6 Utbrettsark for oppsett av termoelementer og utstyr.**

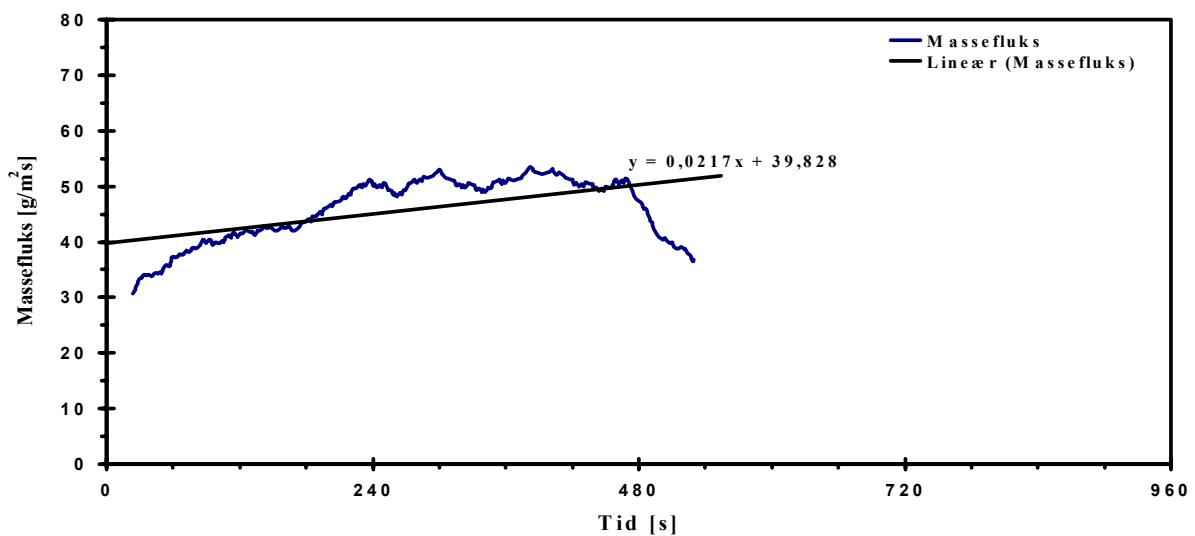
V-1.1 FORSØK 1



Figur V-1.1.1 Målte temperaturer i brannrommet ved referanseforsøk.

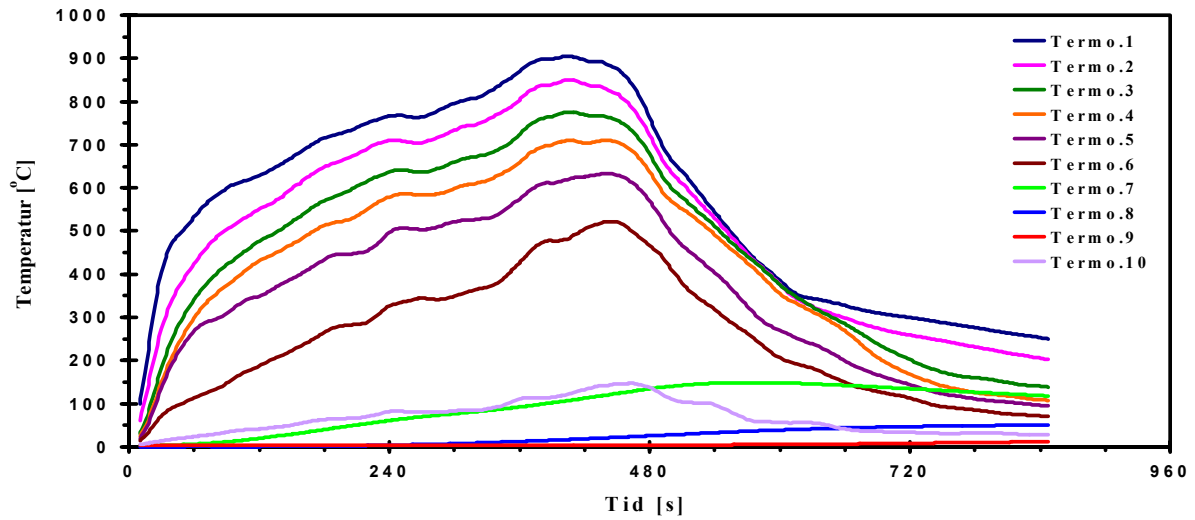


Figur V-1.1.2 Målt stråling ved gulv nivå ved referanseforsøk.

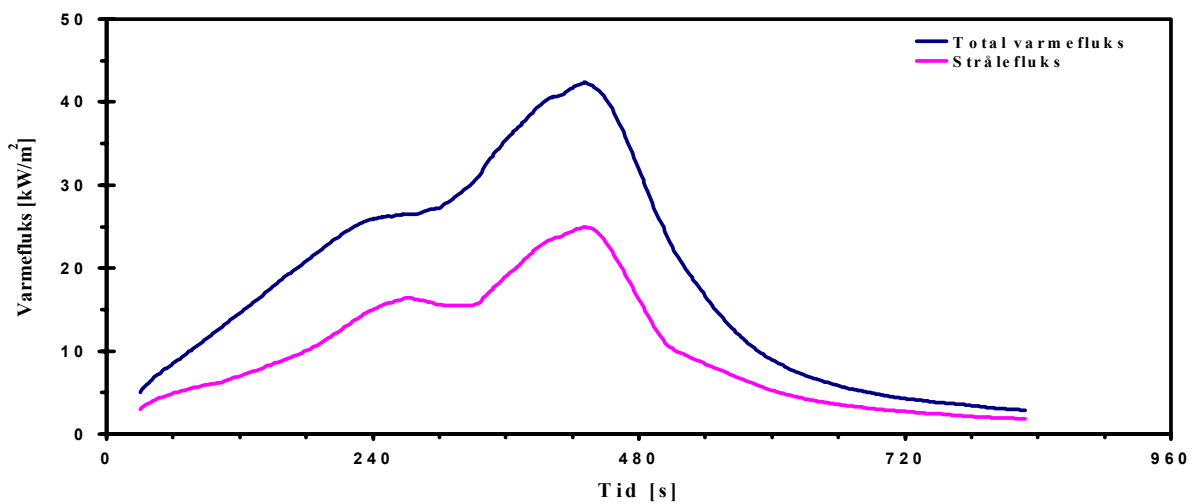


Figur V-1.1.3 Masseflukten til brenselet ved referanseforsøk.

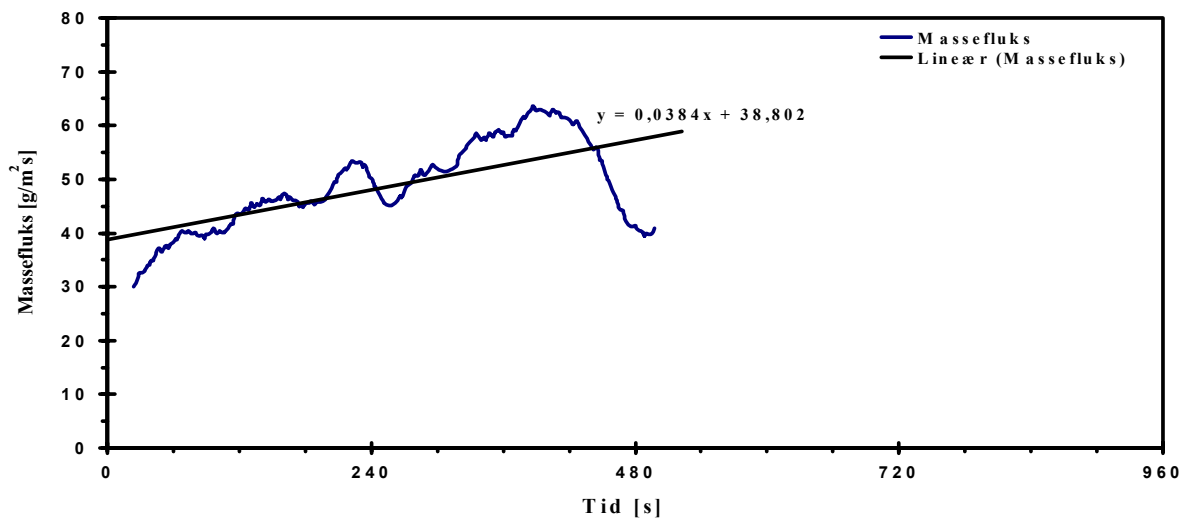
V-1.2 FORSØK 2



Figur V-1.2.1 Målte temperaturer i brannrommet ved referanseforsøk.

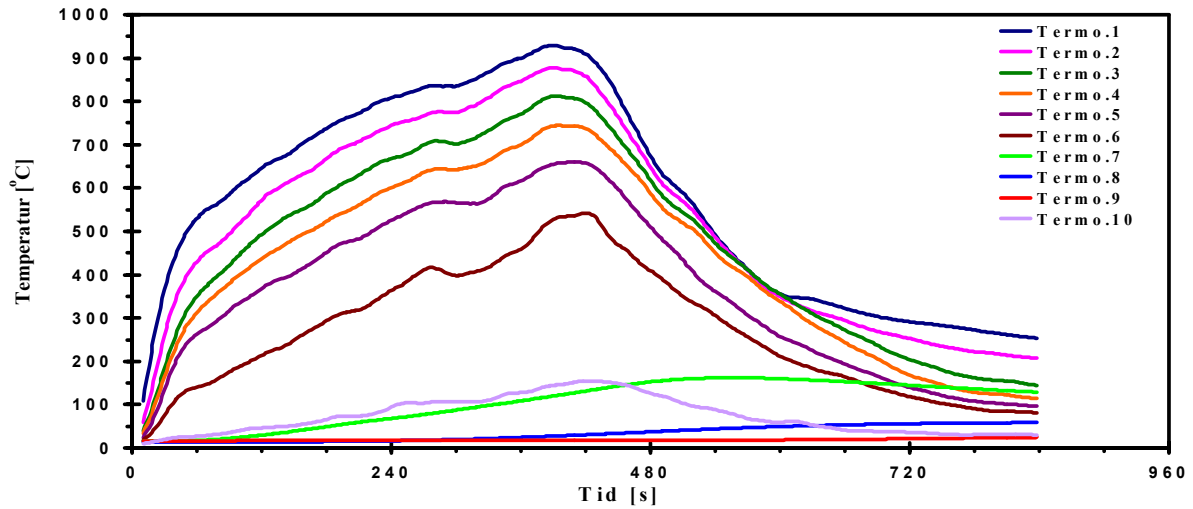


Figur V-1.2.2 Målt stråling ved gulvnivå ved referanseforsøk.

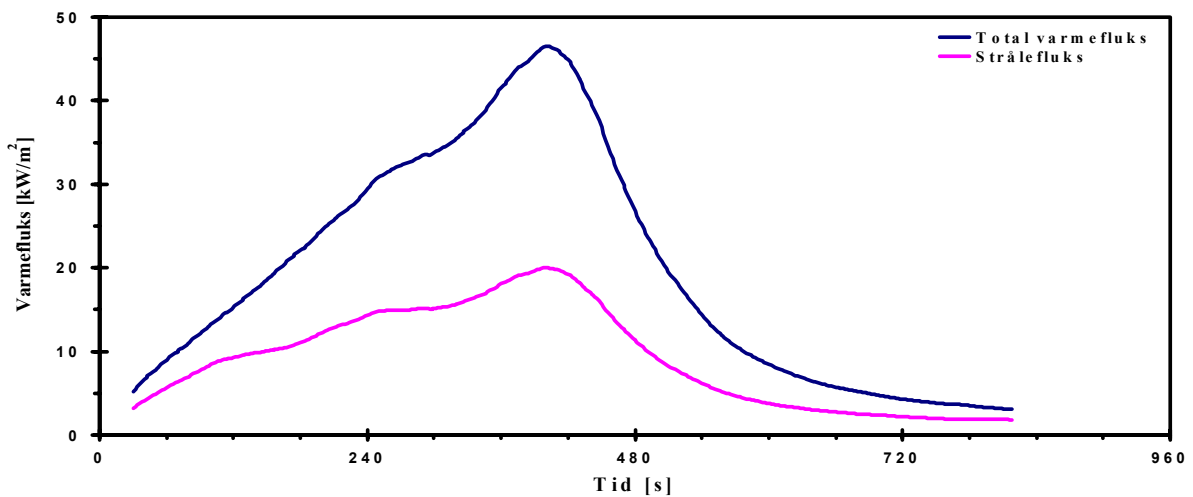


Figur V-1.2.3 Massefluksen til brenselet ved referanseforsøk.

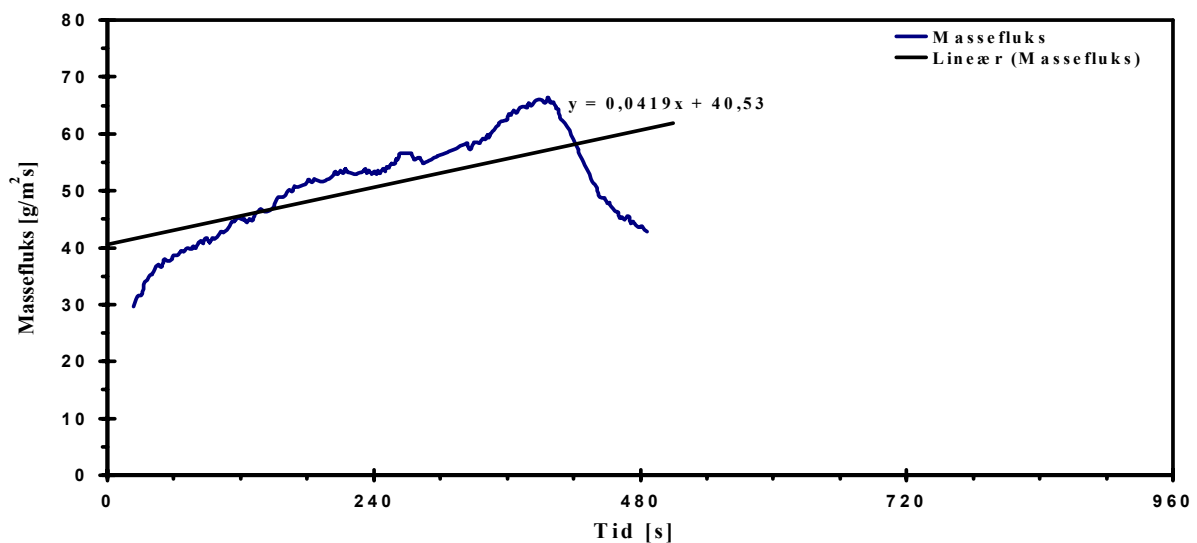
V-1.3 FORSØK 3



Figur V-1.3.1 Målte temperaturer i brannrommet ved referanseforsøk.

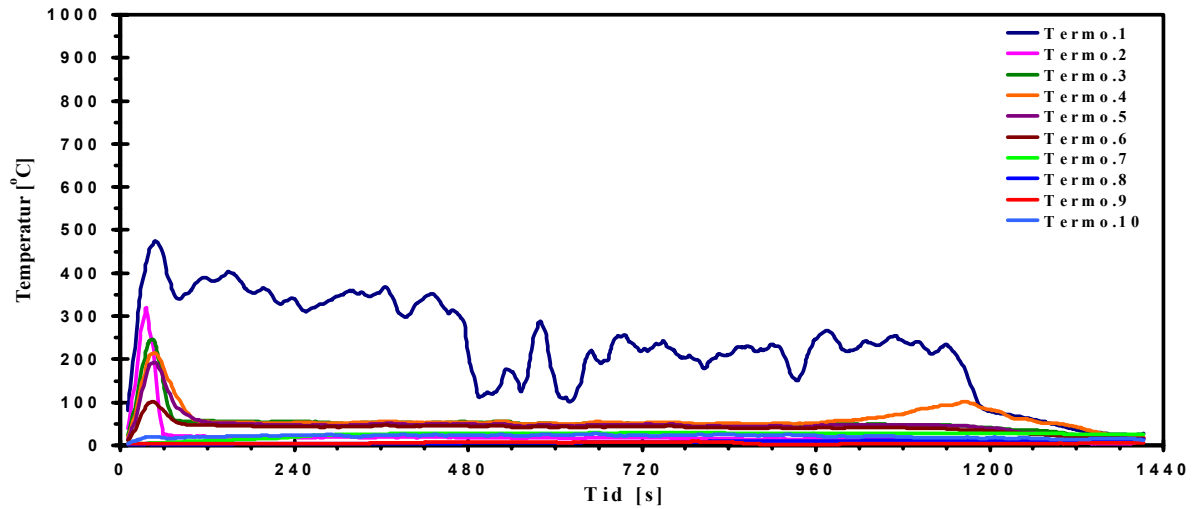


Figur V-1.3.2 Målt stråling ved gulvnivå ved referanseforsøk.

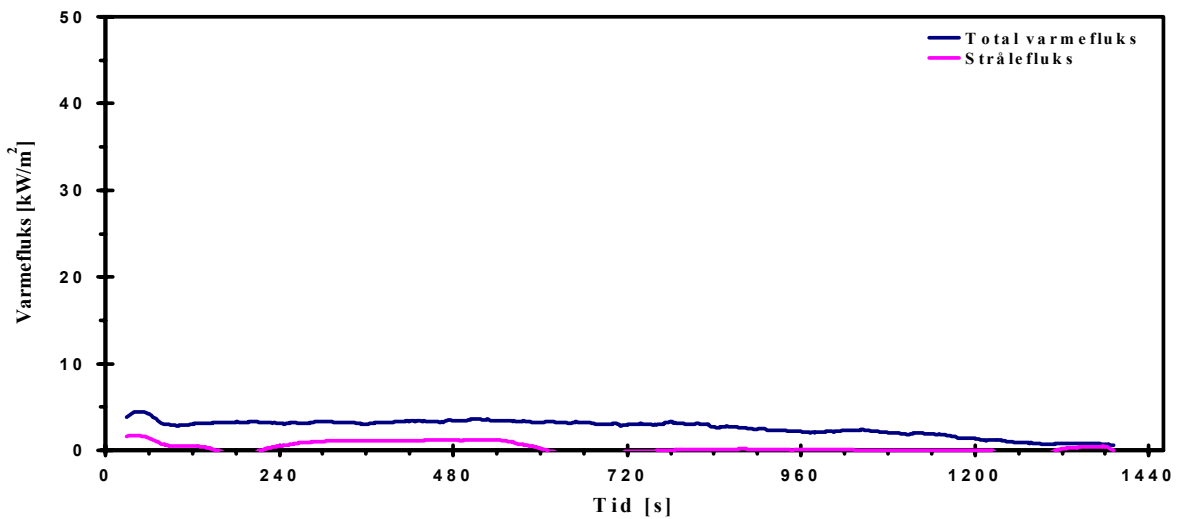


Figur V-1.3.3 Massefluksen til brenselet ved referanseforsøk.

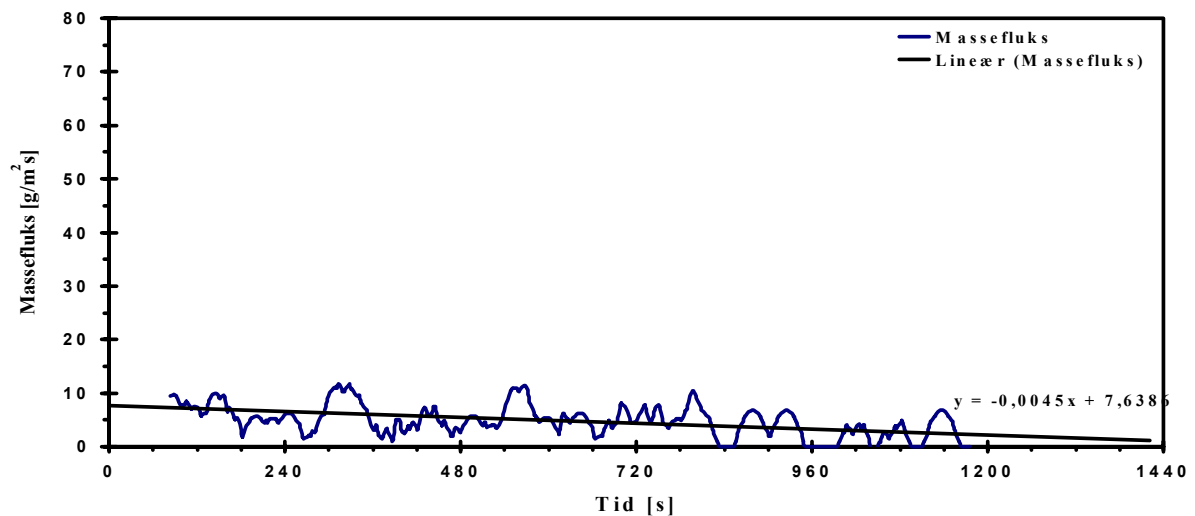
V-1.4 FORSØK 4



Figur V-1.4.1 Målte temperaturer i brannrommet, ved bruk av sprinklerdyse.

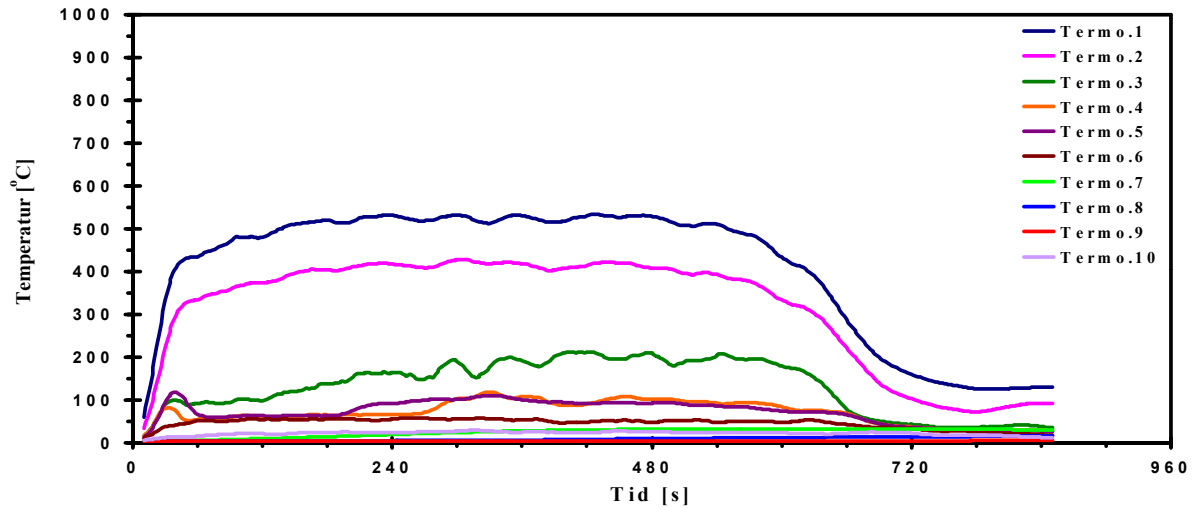


Figur V-1.4.2 Målt stråling ved gulvnivå, ved bruk av sprinklerdyse.

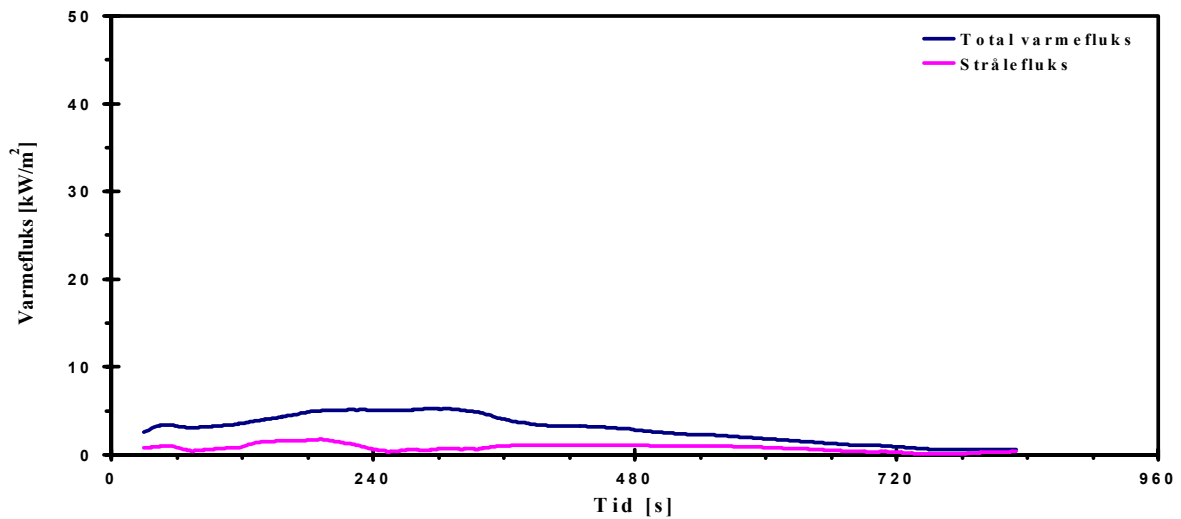


Figur V-1.4.3 Massefluksen til brenselet, ved bruk av sprinklerdyse.

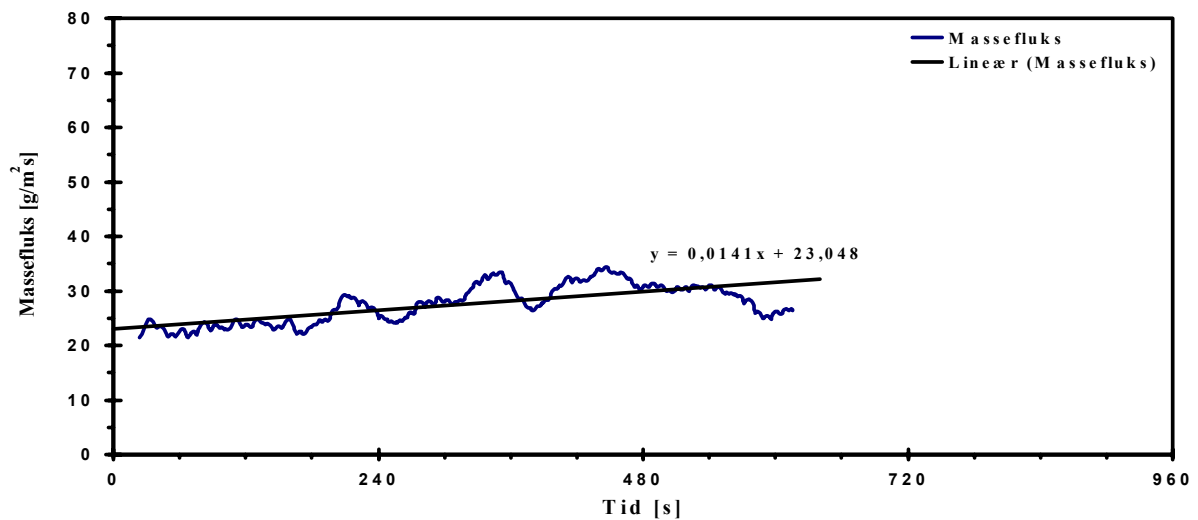
V-1.5 FORSØK 5



Figur V-1.5.1 Målte temperaturer i brannrommet, ved bruk av vanntåkedyse.

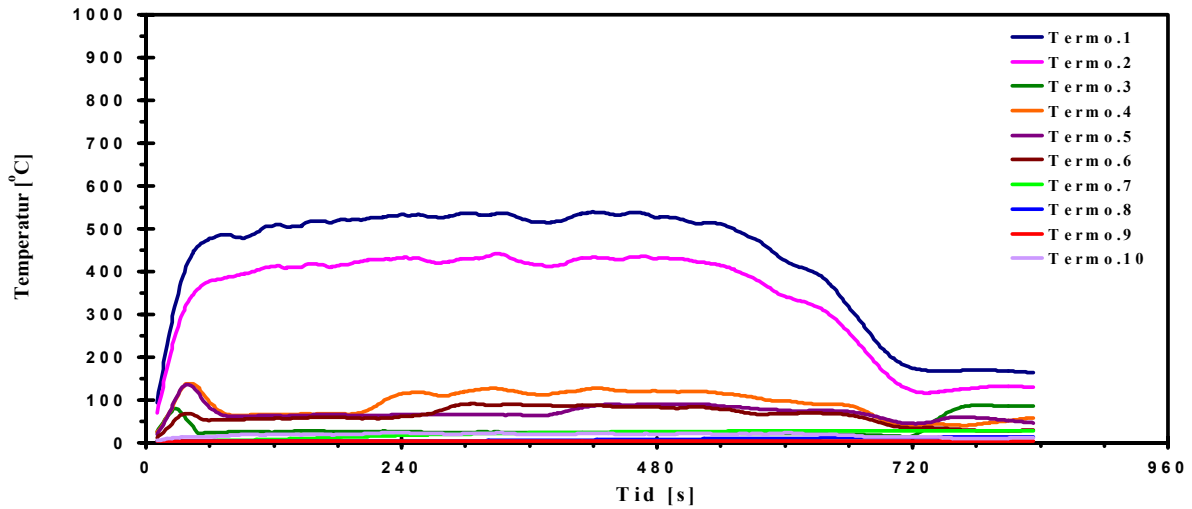


Figur V-1.5.2 Målt stråling ved gulvnivå, ved bruk av vanntåkedyse.

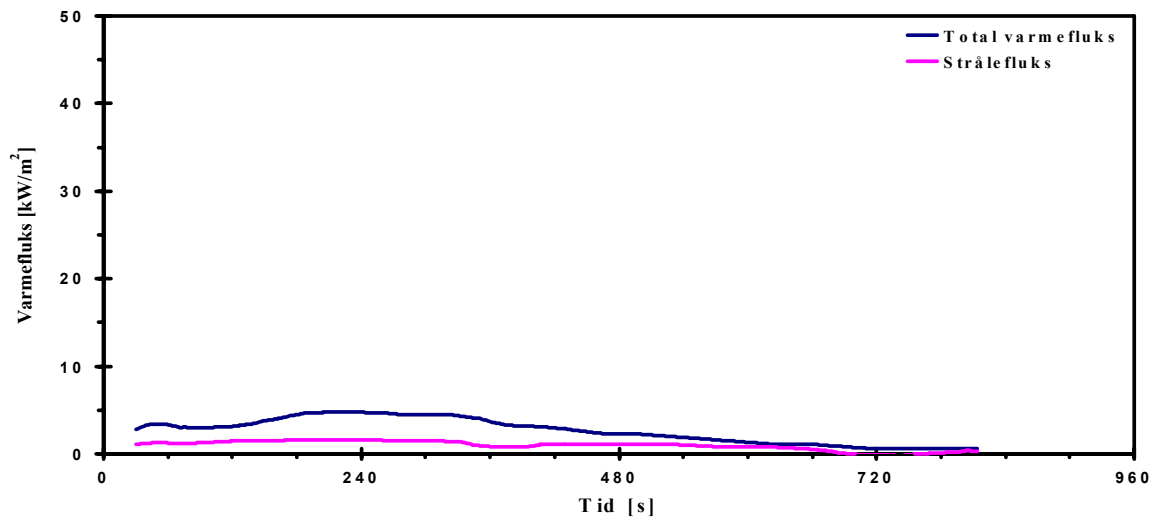


Figur V-1.5.3 Massefluksen til brenselet, ved bruk av vanntåkedyse.

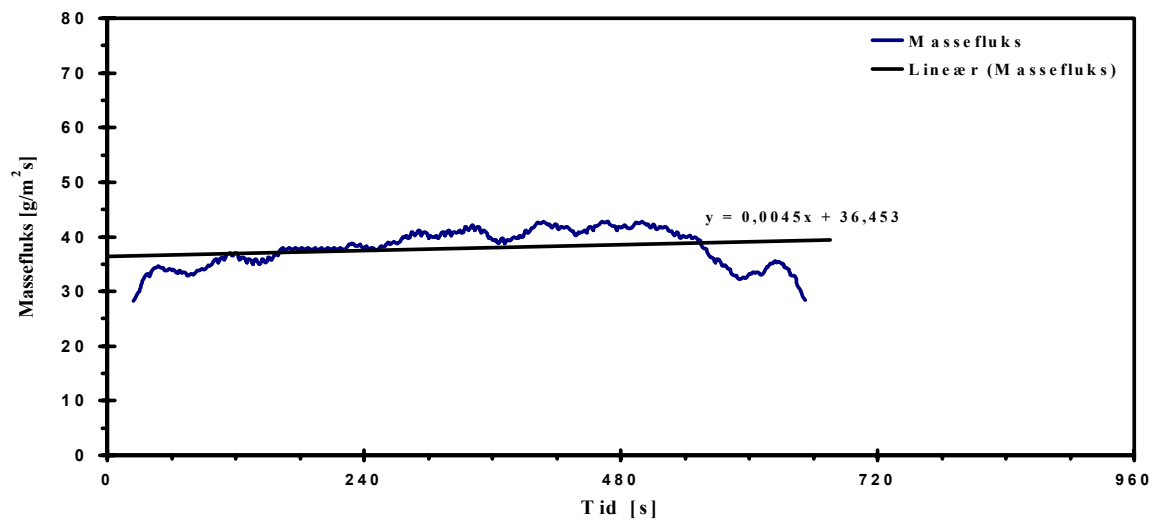
V-1.6 FORSØK 6



Figur V-1.6.1 Målte temperaturer i brannrommet, ved bruk av vanntåkedyse.

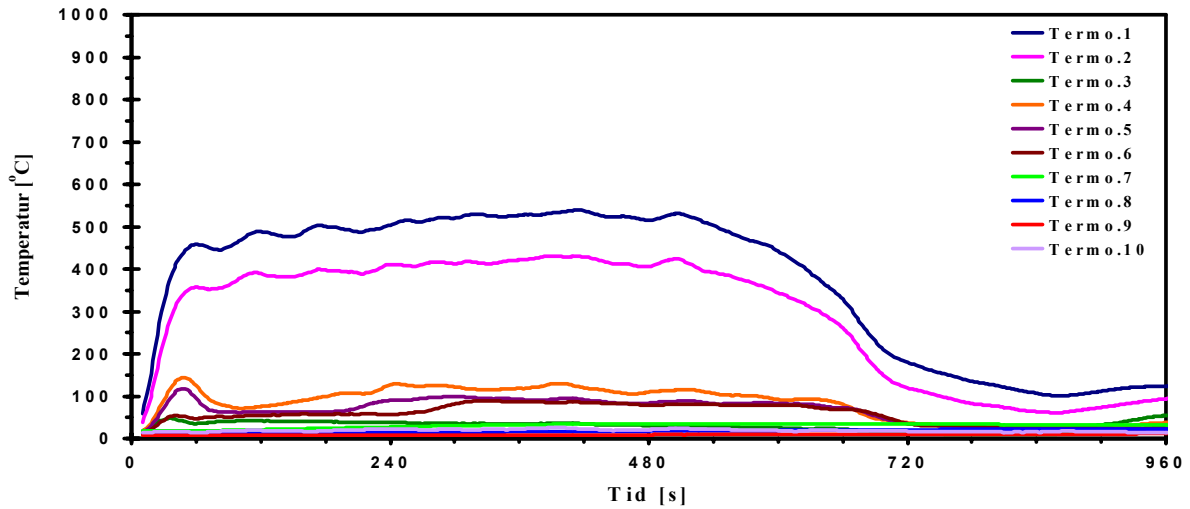


Figur V-1.6.2 Målt stråling ved gulvnivå, ved bruk av vanntåkedyse.

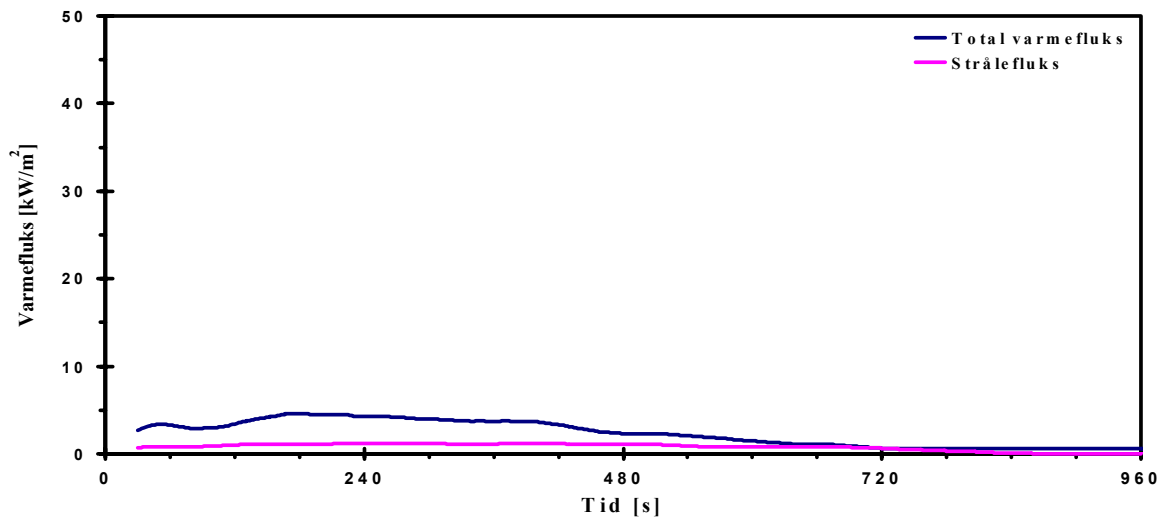


Figur V-1.6.3 Massefluksen til brenselet, ved bruk av vanntåkedyse.

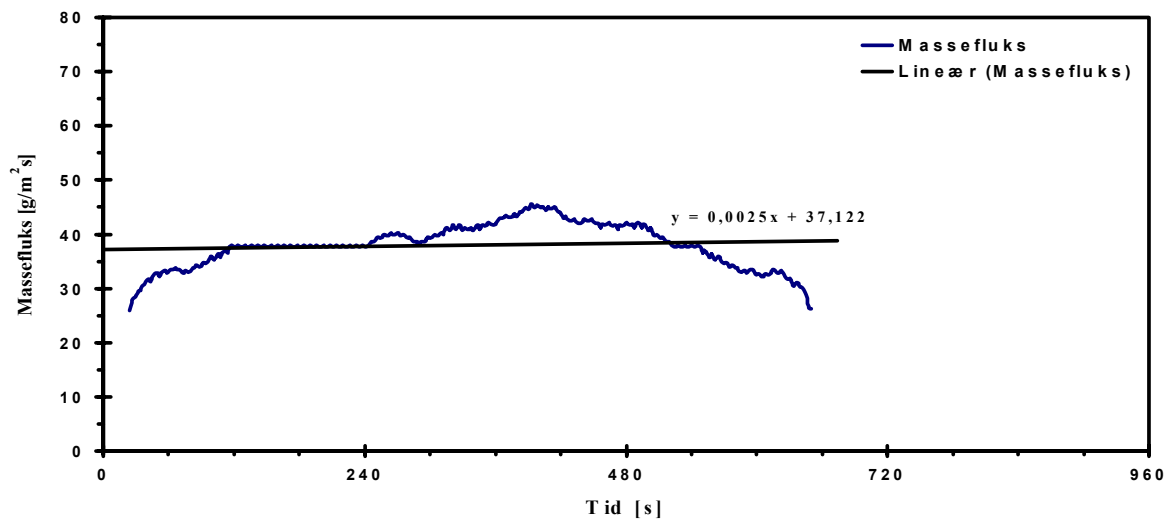
V-1.7 FORSØK 7



Figur V-1.7.1 Målte temperaturer i brannrommet, ved bruk av vanntåkedyse.

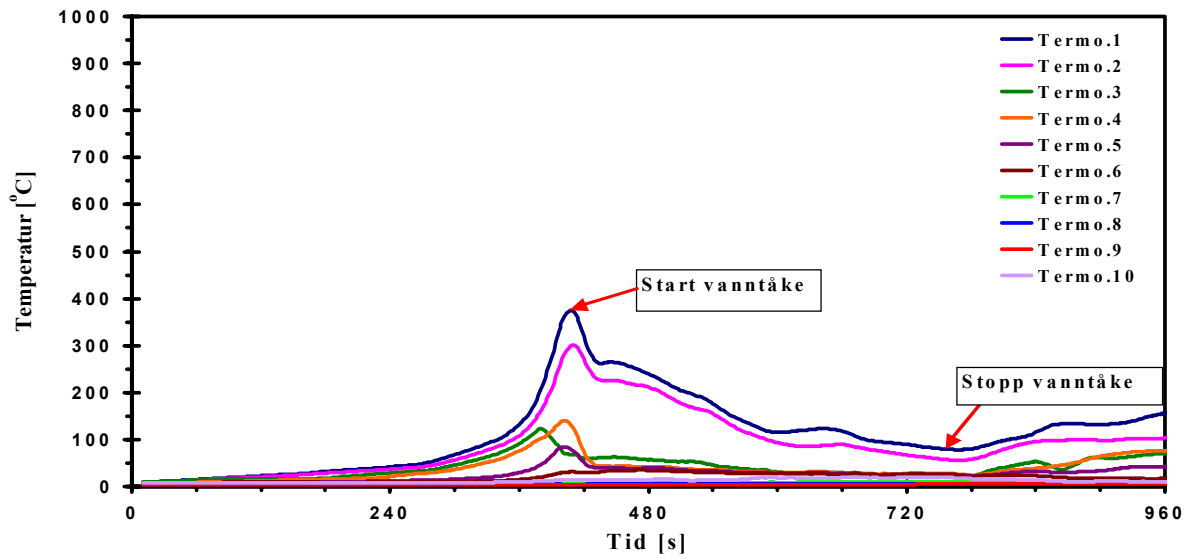


Figur V-1.7.2 Målt stråling ved gulvnivå, ved bruk av vanntåkedyse.



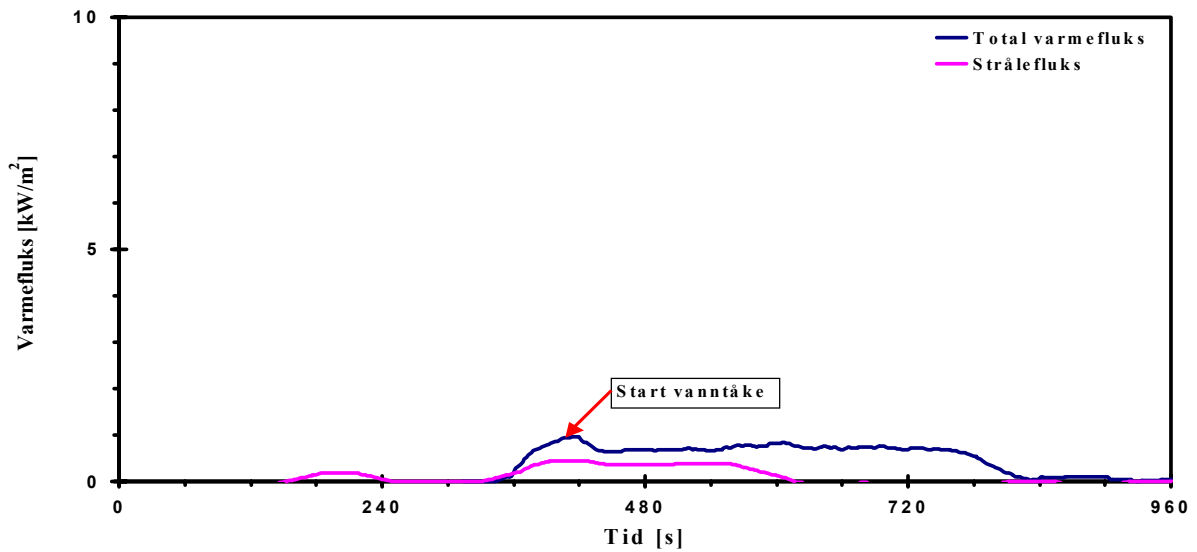
Figur V-1.7.3 Massefluksen til brenselet, ved bruk av vanntåkedyse.

V-1.8 FORSØK 8



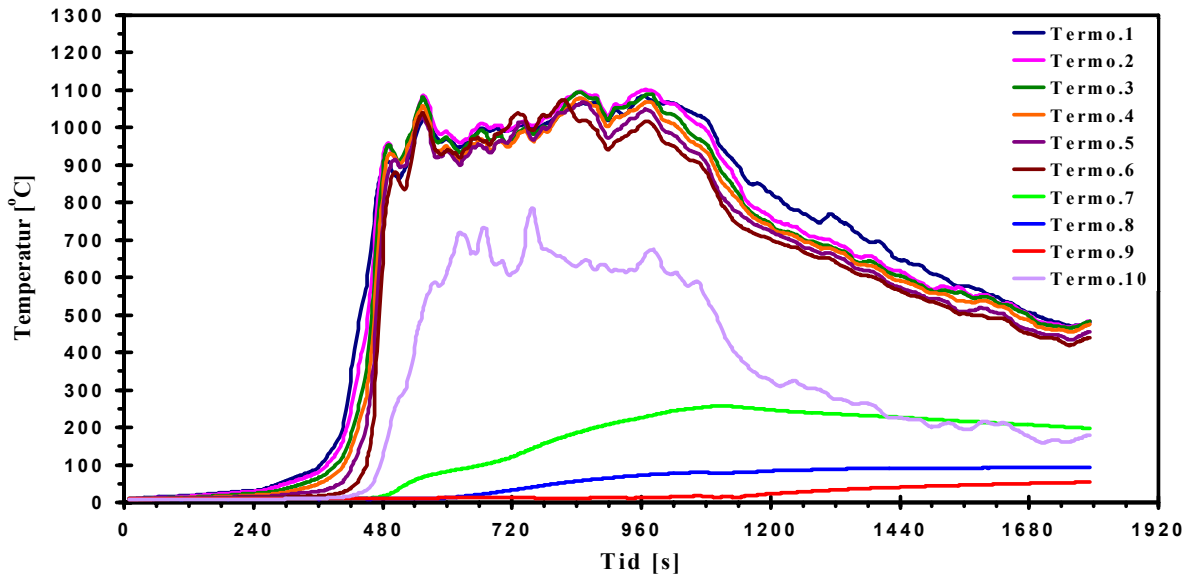
Figur V-1.8.1 Målte temperaturer i innredd rom, ved bruk av vanntåkedyse.

For å kunne se utslagene til varmekvantsene er y-aksen satt til maksimalt 10 kW/m^2 .

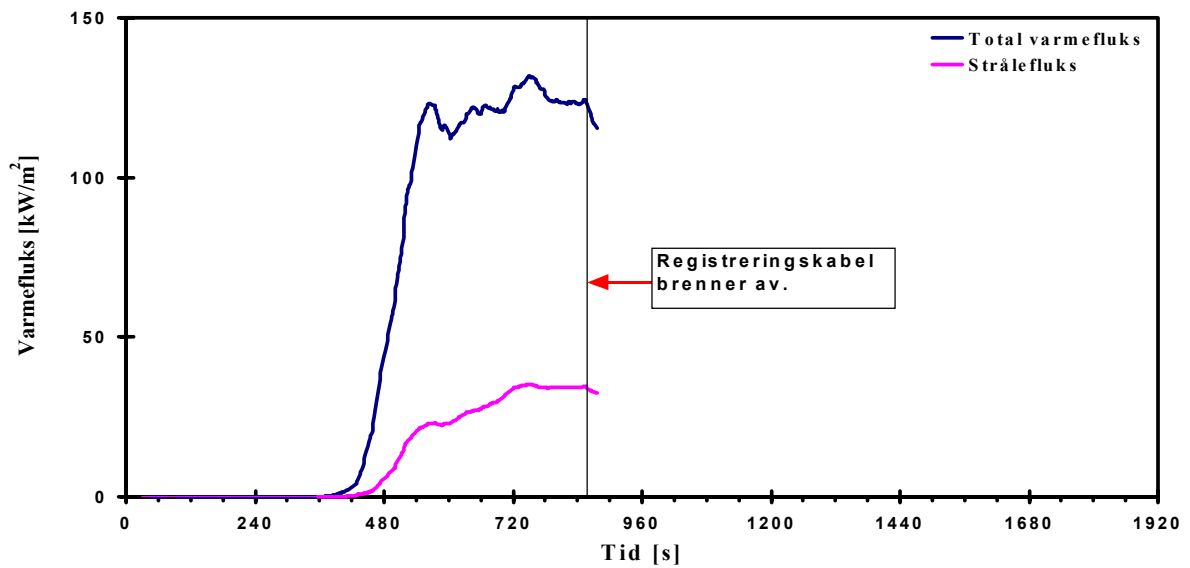


Figur V-1.8.2 Målt stråling ved gulv nivå, ved innredd rom og bruk av vanntåkedyse.

V-1.9 FORSØK 9

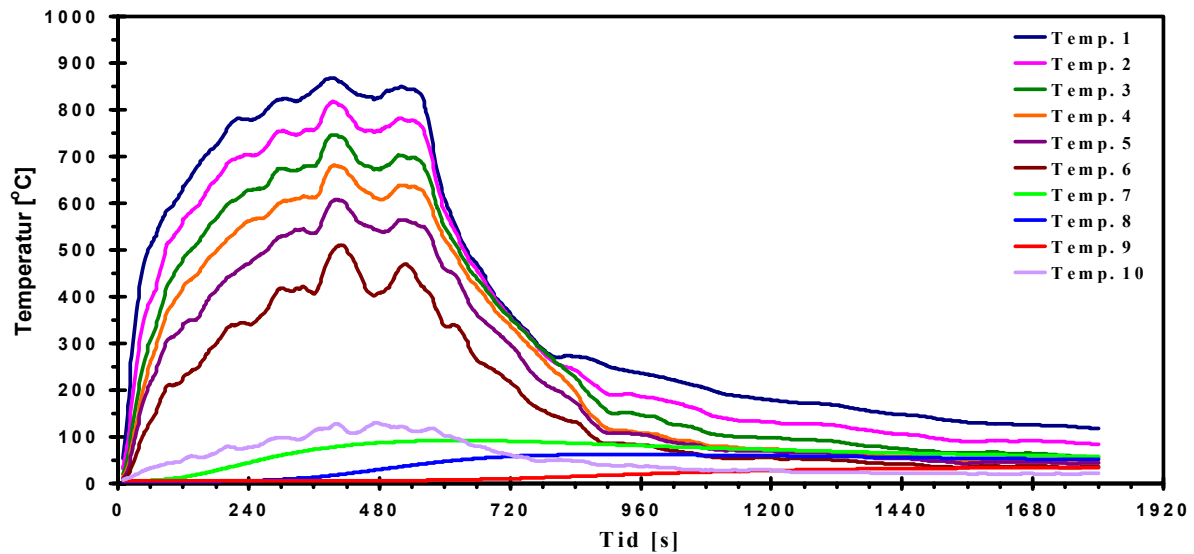
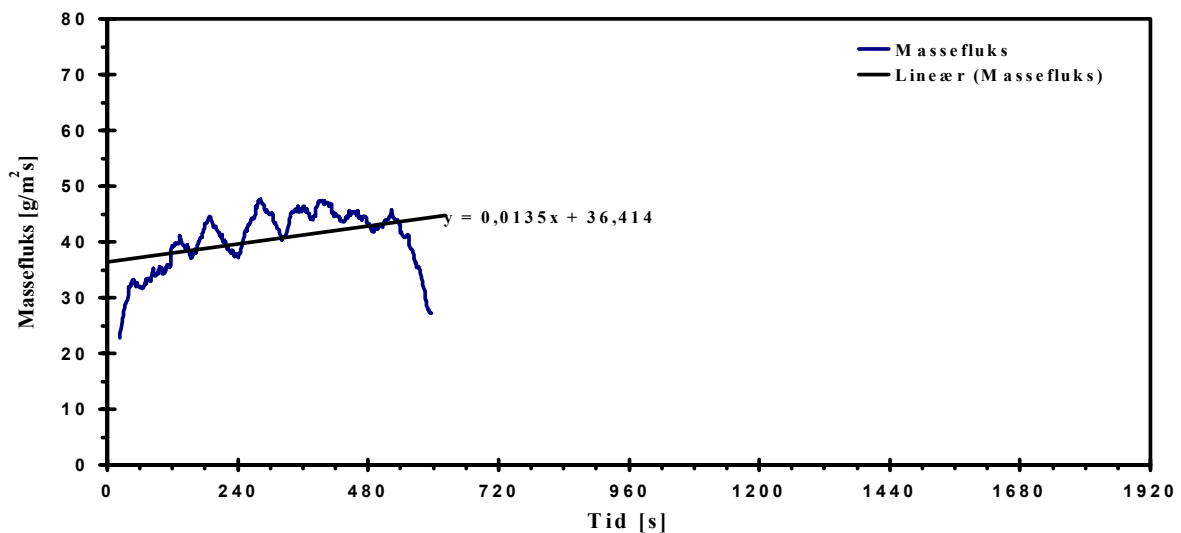


Figur V-1.9.1 Målte temperaturer i innredd rom, uten bruk av slökkemiddel.

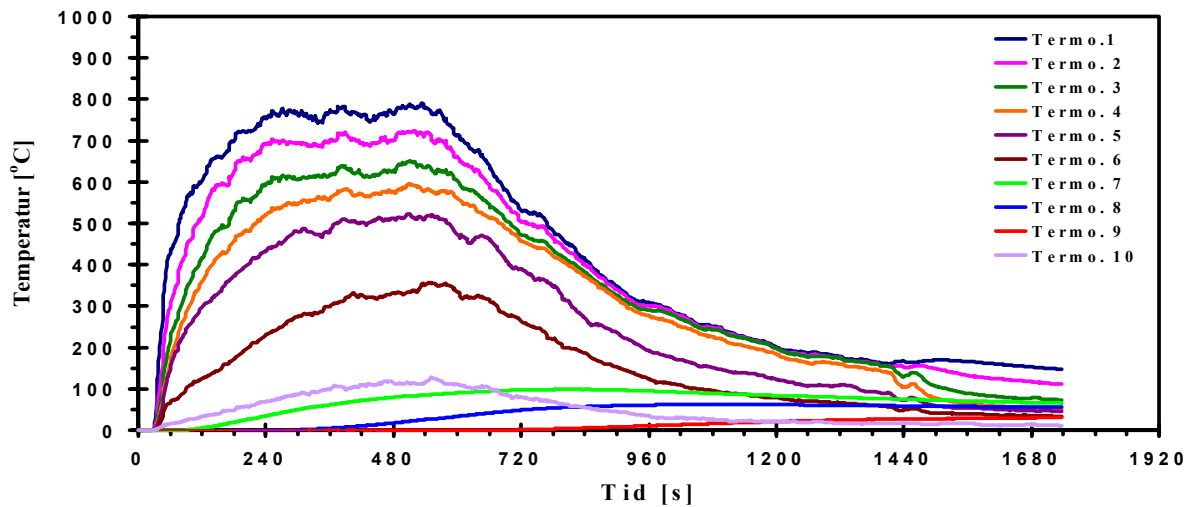


Figur V-1.9.2 Målt stråling ved gulvnivå, ved innredd rom og uten slökkemiddel.

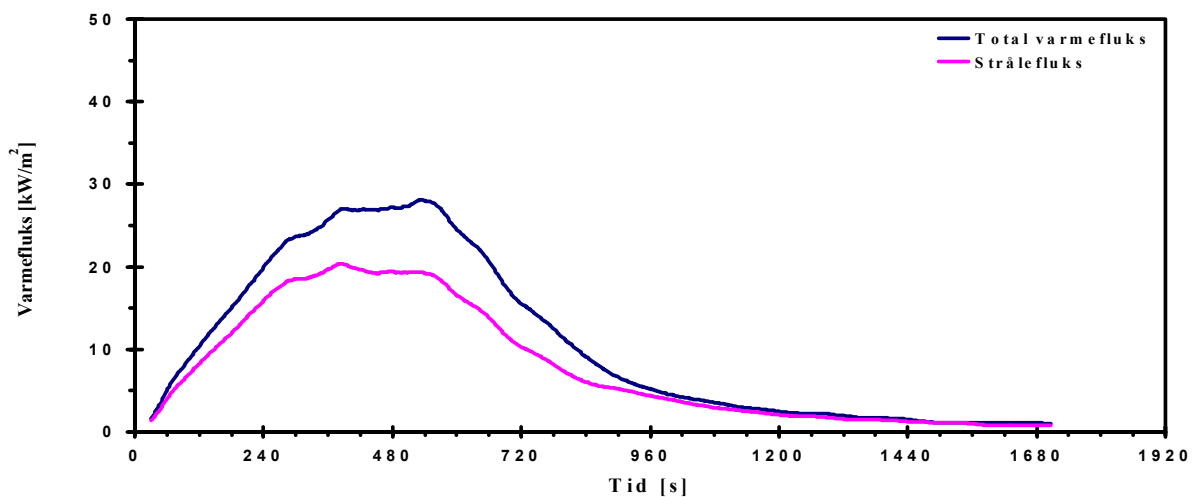
V-2.1 INNLEDENDE FORSØK 1

*Figur V-2.1.1 Målte temperaturer i brannrommet**Figur V-2.1.2 Massefluksen til brenselet.*

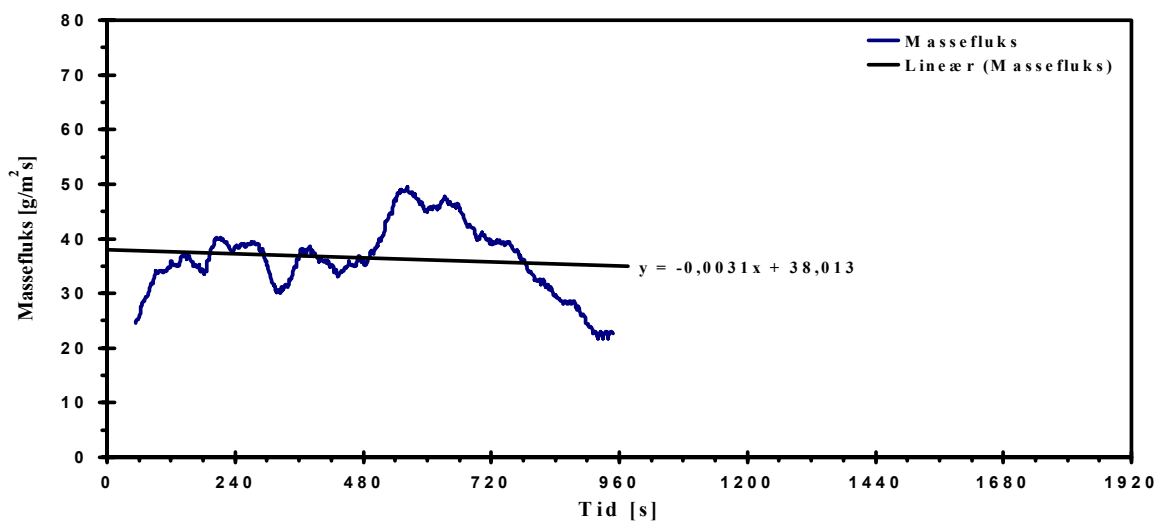
V-2.2 INNLEDENDE FORSØK 2



Figur V-2.2.1 Målte temperaturer i brannrommet

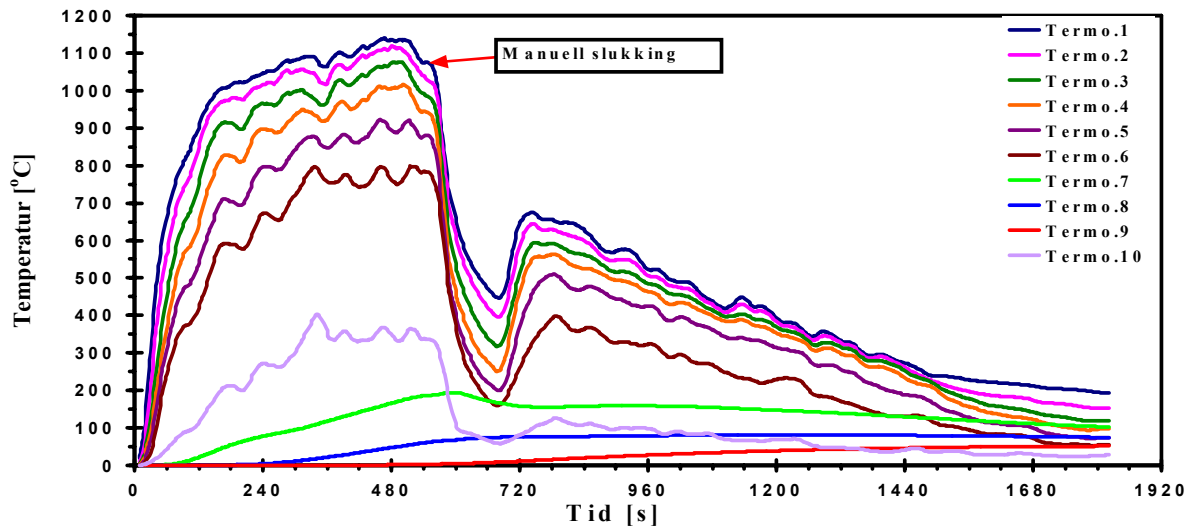


Figur V-2.2.2 Målt stråling ved gulvnivå.

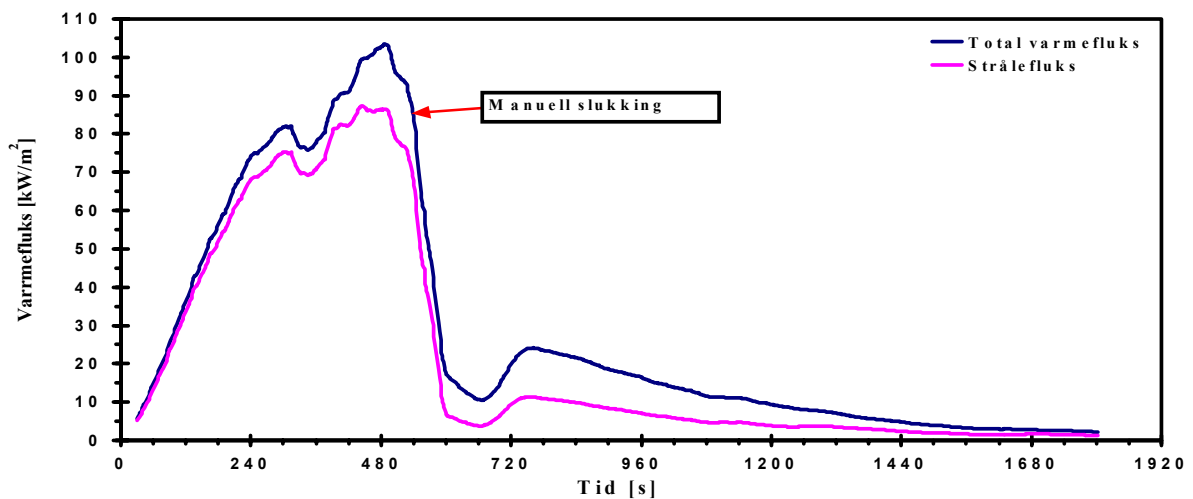


Figur V-2.2.3 Massefluks til brenselet.

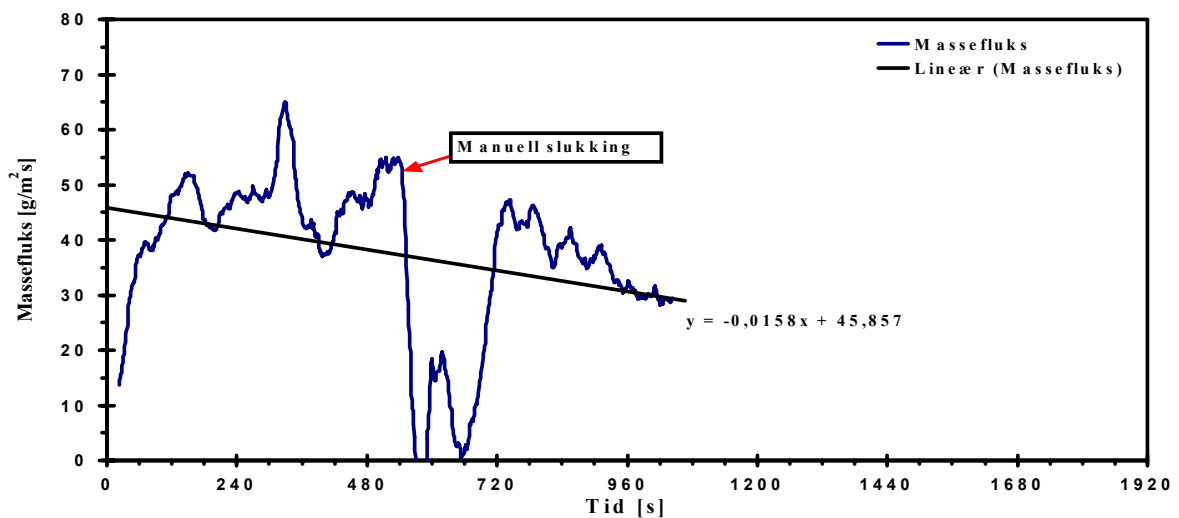
V-2.3 INNLEDENDE FORSØK 3



Figur V-2.3.1 Målte temperaturer i brannrommet.

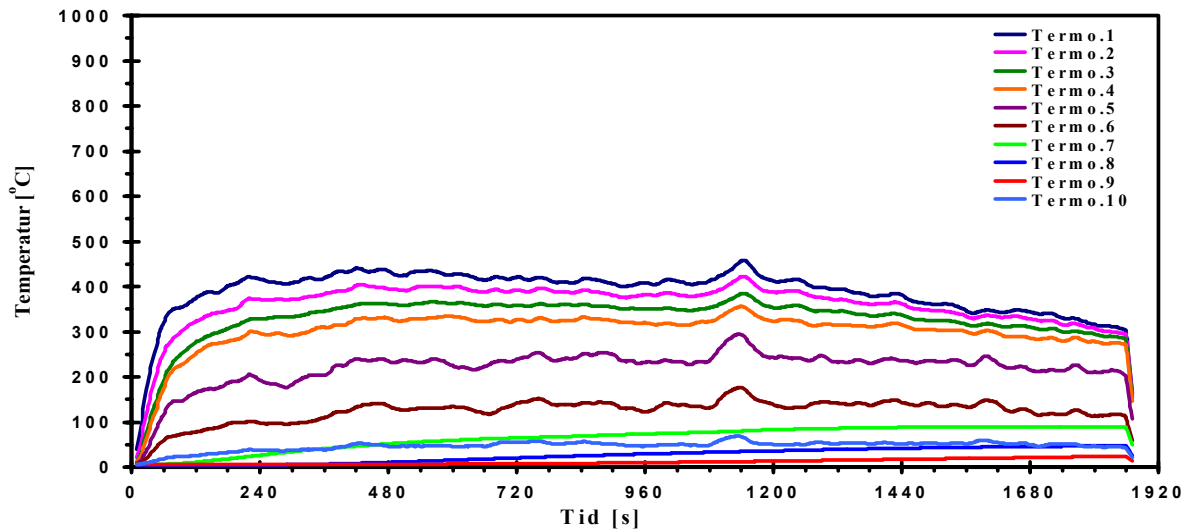
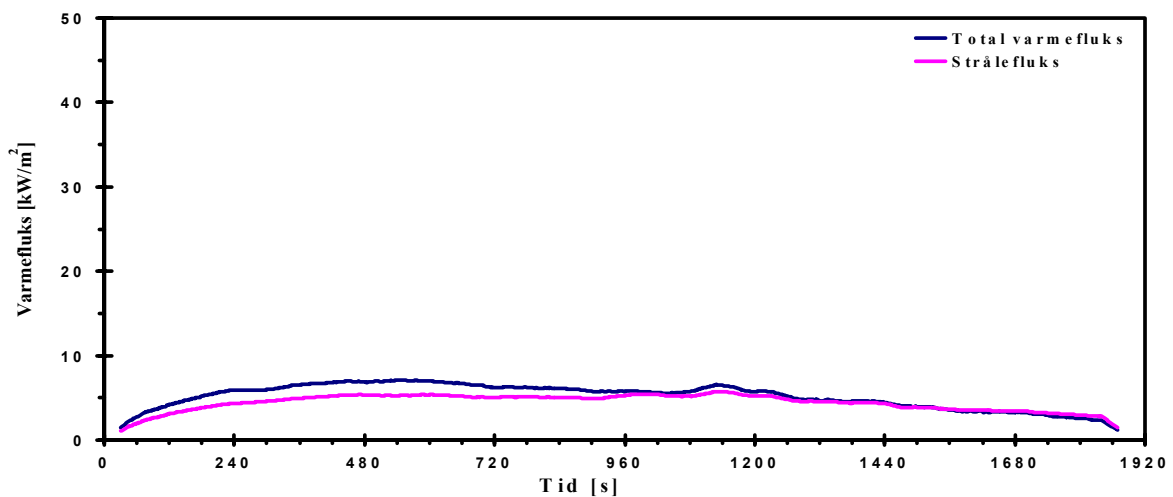
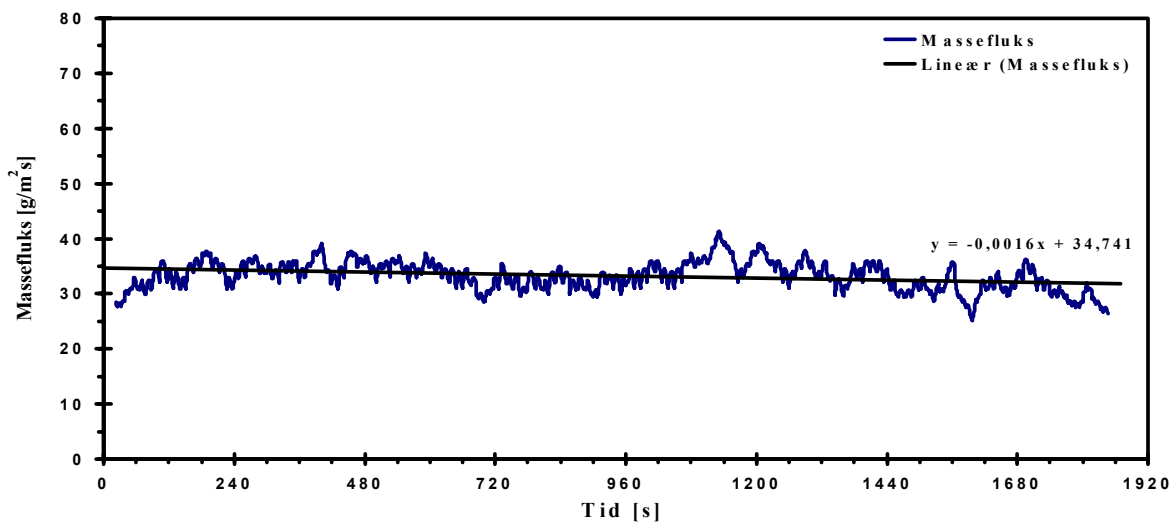


Figur V-2.3.2 Målt stråling ved gulvnivå.

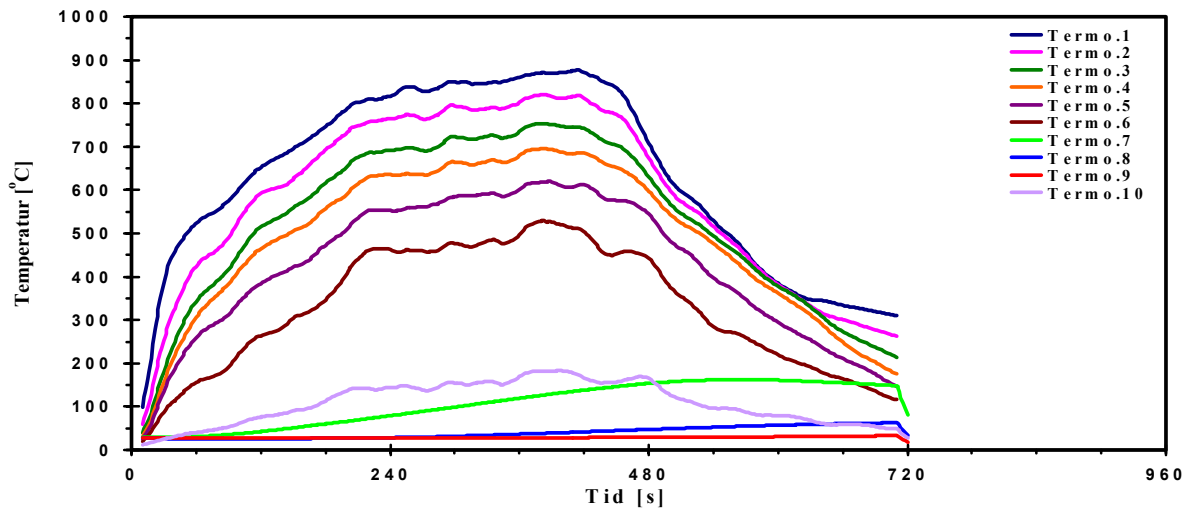


Figur V-2.3.3 Massefluks til brenselet.

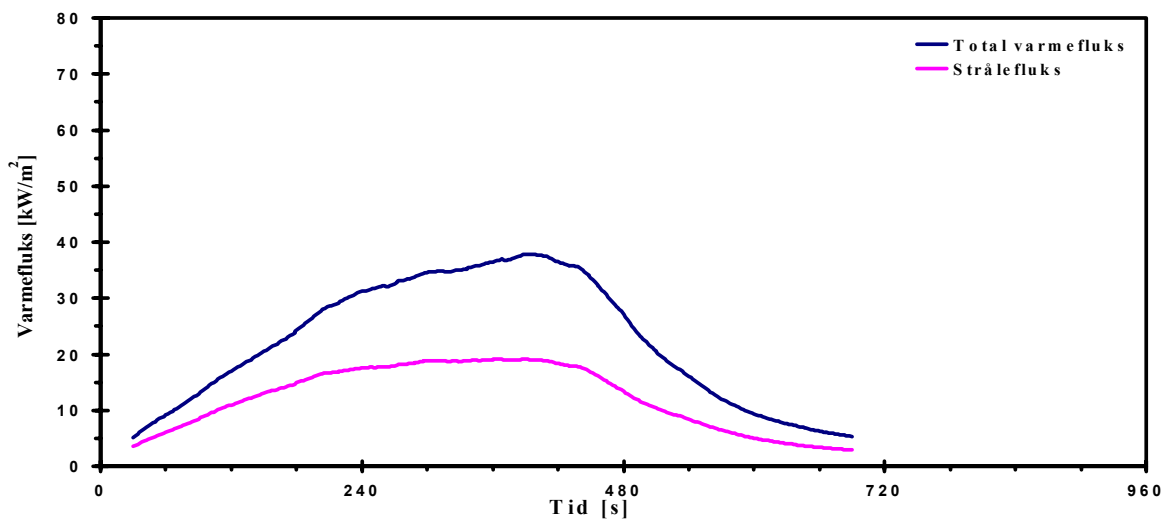
V-2.4 INNLEDENDE FORSØK 4

*Figur V-2.4.1 Målte temperaturer i brannrommet.**Figur V-2.4.2 Målt stråling ved gulvnivå.**Figur V-2.4.3 Massefluksen til brenselet.*

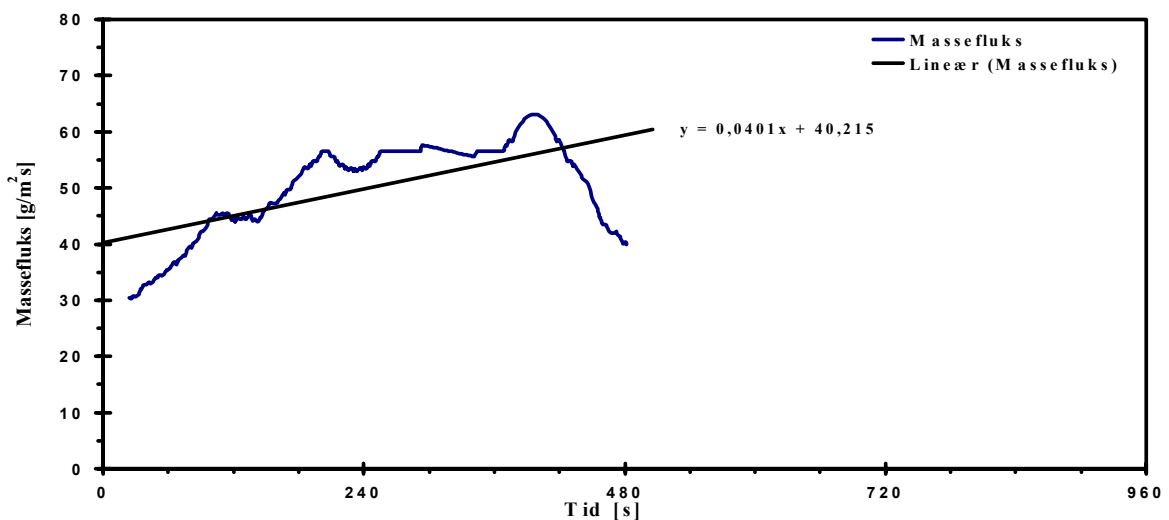
V-2.5 INNLEDENDE FORSØK 5



Figur V-2.5.1 Målte temperaturer i brannrommet.

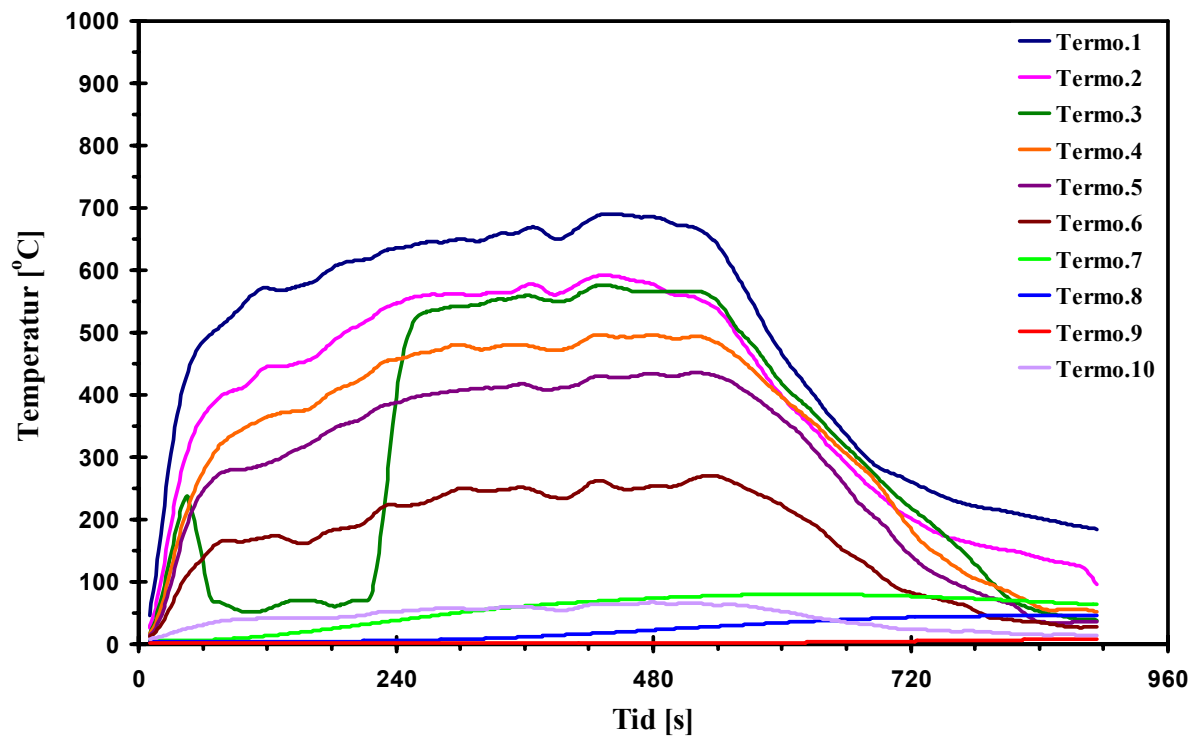


Figur V-2.5.2 Målt stråling ved gulvnivå.



Figur V-2.5.3 Massefluksen til brenselet.

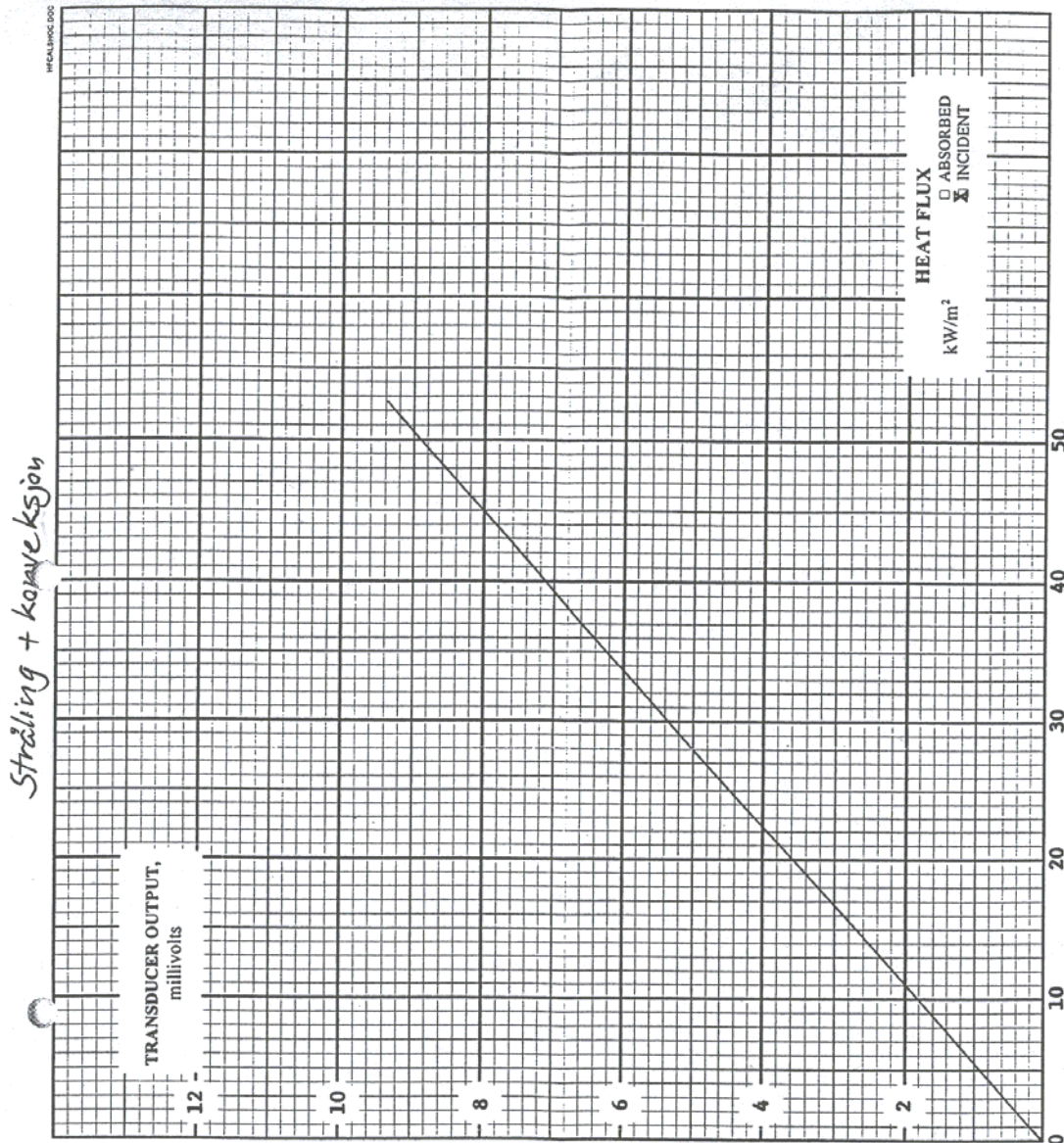
V-2.6 TESTFORSØK VANNTÅKE



Figur V-2.6.1 Målte temperaturer i brannrommet, ved bruk av vanntåke.



V-3.1 KALIBRERINGSSERTIFIKAT TOTAL VARMEFLUKS



CERTIFICATE OF CALIBRATION

DATE 8/12/01
 CUSTOMER Stord/Haugesund
 P.O. NO. 1519
 CERTIFICATE NO. 12162-8
 MODEL NO. 64-5SB-18
 SERIAL NO. 121628
 SENSOR TYPE Schmidt-Boelter
 ABSORPTANCE 0.94
 WINDOW None
 REFERENCE STANDARD 89943
 TESTED BY 13
 CALIBRATION RESULTS SUMMARY:
 FULL SCALE OUTPUT LEVEL:
8.90 mV at 50 kW/m²
 RESPONSIVITY:
0.1780 mV/(kW/m²), or
 the inverse: 5.6180 (kW/m²)/mV
 Water: 25.6 °C 10.1 mL/s

UNLESS NOTED, CALIBRATION CONDITIONS:
 Non-condensing Ambient Air at 23 ±3 °C
 Relative Humidity Less Than 70%
 Calibration uncertainty ±3% of value
 With less than 4:1 test accuracy ratio (TAR)

The MEDTHERM calibration system conforms to ISO 10012-1, ANSI/NCSL Z540-1 and MIL-STD-45662A with traceability to the National Institute of Standards and Technology.

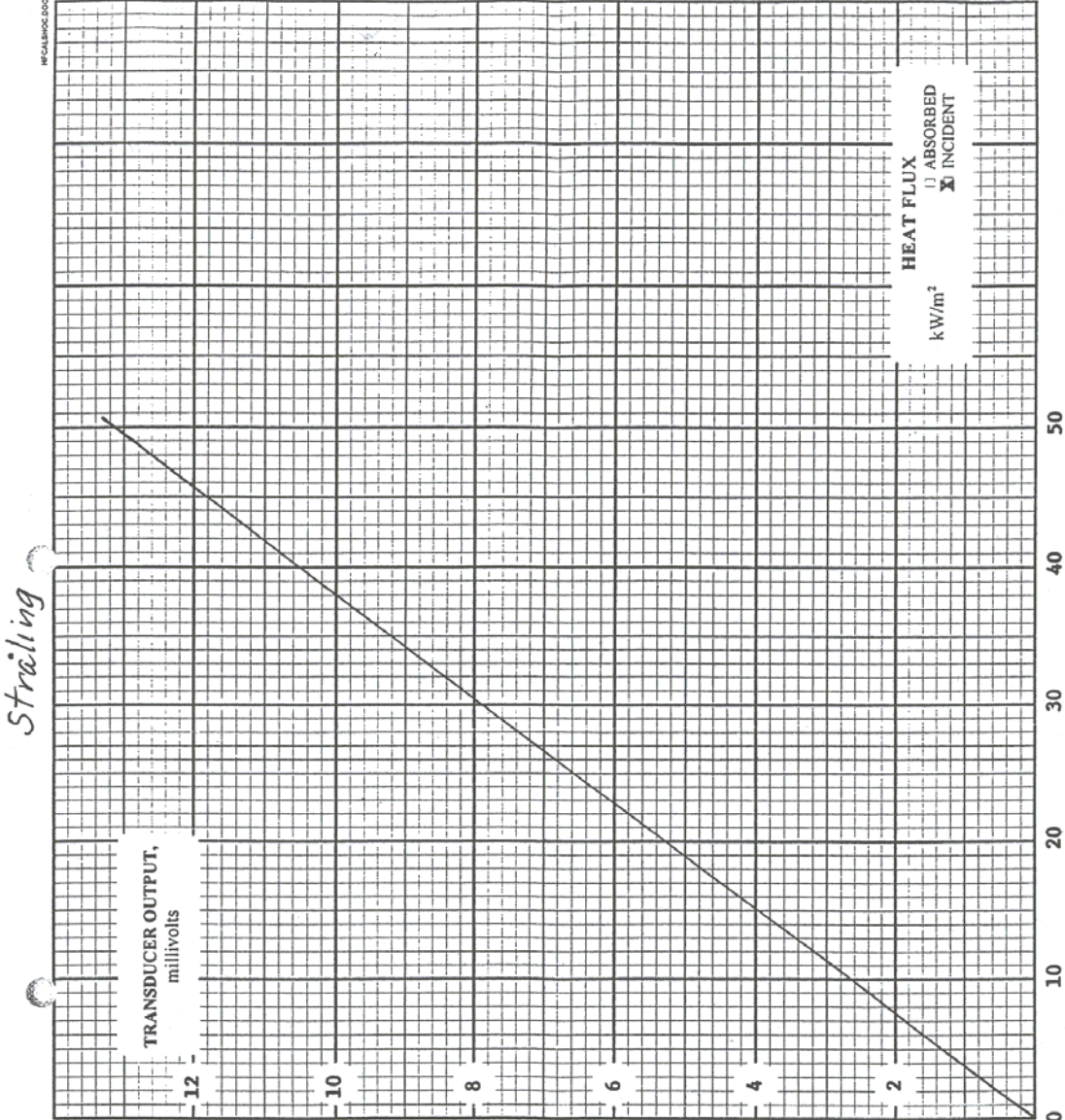
This certificate applies only to the item described above. It is not to be reproduced, except in its entirety, without written permission from MEDTHERM Corporation.

ATTEST: *Fred Becht*
MEDTHERM CORPORATION

POST OFFICE BOX 412 / HUNTSVILLE, ALABAMA / TELEPHONE (256) 837-2000 / FAX (256) 837-2001



V-3.2 KALIBRERINGSSERTIFIKAT STRÅLEFLUKS



CERTIFICATE OF CALIBRATION

DATE 8/17/01
 CUSTOMER Stord/Haugesund
 P.O. NO. 1519
 CERTIFICATE NO. 12162-3
 MODEL NO. 64EP-5-20544

SERIAL NO. 121623
 SENSOR TYPE Schmidt-Boelter
 ABSORPTANCE 0.94
 WINDOW None
 REFERENCE STANDARD 89943

TESTED BY FB
 CALIBRATION RESULTS SUMMARY:
 FULL SCALE OUTPUT LEVEL:
13.15 mV at 50 kW/m²

RESPONSIVITY:
0.2630 mV/(kW/m²), or
 the inverse: 3.8023 (kW/m²)/mV
 Water: 27.8 °C 11.1 mL/s

UNLESS NOTED, CALIBRATION CONDITIONS:
 Non-condensing Ambient Air at 23 ±3 °C
 Relative Humidity Less Than 70%
 Calibration uncertainty ±3% of value
 The test accuracy ratio (TAR) is less than 4:1.

The MEDTHERM calibration system conforms to ISO 10012-1, ANSI/NCSS Z540-1 and MIL-STD-45662A with traceability to the National Institute of Standards and Technology.

This certificate applies only to the item described above. It is not to be reproduced, except in its entirety, without written permission from MEDTHERM Corporation.

ATTEST:

MEDTHERM CORPORATION

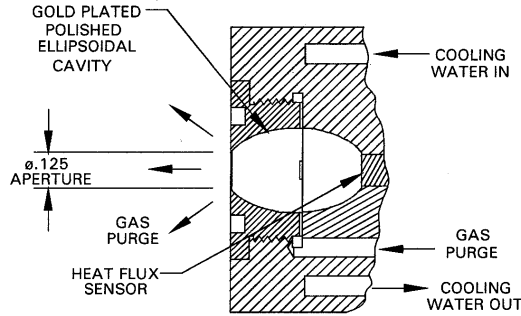
POST OFFICE BOX 412 / HUNTSVILLE, ALABAMA / TELEPHONE (256) 837-2000 / FAX (256) 837-2001

V-3.3 GENERELLE DATA VARMEFLUKSMÅLERE

MEDTHERM
CORPORATION

ELLIPSOIDAL RADIOMETERS

SENSOR DETAIL



FEATURES

- Windowless radiometer
- More than 160° field of view
- 1 inch diameter probe or less
- Water cooled, nitrogen purged
- Sturdy construction
- Linear and high output
- Calibration included

APPLICATIONS

- Furnace and flame radiation heat flux measurements
- Radiant flux measurement without window spectral transmittance corrections.

SPECIFICATIONS

- Range: Up to 50 Watts/cm²
- Nominal 10 millivolt output.
- Linearity: ±2%
- Accuracy: ±3%

DESCRIPTION

The Ellipsoidal Radiometer is a windowless infrared radiometer probe designed for furnace and flame radiant heat flux measurements without window spectral transmittance corrections.

The radiometer sensing head is constructed with a reflective gold plated ellipsoidal cavity with the radiometer aperture at one focus of the ellipsoid and a heat flux sensor at the other focus. An inert gas purge is provided to keep the cavity clean.

This design provides more than a 160 degree field of view while eliminating the need for the infrared window required by many other radiometer types.

The Ellipsoidal Radiometer is available in a wide variety of external probe configurations, some of which are shown on the back side of this Bulletin. These probes are designed for water cooling and nitrogen purging of the sensor cavity.

When the convective heat flux is desired, a MEDTHERM total heat flux transducer is used to measure the total heat flux. The convective flux is then the difference between the total heat flux and the radiant flux measured by the Ellipsoidal Radiometer. The 64-10-18 total heat flux transducer has the same external configuration as the 64EP-10-20544 Ellipsoidal Radiometer.

When the radiant source is stable, the MEDTHERM H-201 Universal Heat Flux Indicator is recommended as a convenient readout directly in watts/cm² for the Ellipsoidal Radiometer.

MEDTHERM
CORPORATION

POST OFFICE BOX 412
HUNTSVILLE, ALABAMA 35804

©1995 Page 1 of 2 BULLETIN 140

TELEPHONE (256) 837-2000
FAX (256) 837-2001

V-4 BEREGNING AV KONFIGURASJONSFAKTOR, ϕ

	H	3,60										
	B	2,40										
	D	1,61										
	dA	0,09										
	Y	1,80	Alle avstander regnes fra nedre venstre hjørne									
	X	1,20										
	ϕ	0,498					$=D^2/(PI)*(D^2 + (X^2 + Y^2))dA$					
0,950	1,620	0,0017	0,0020	0,0023	0,0025	0,0026	0,0026	0,0025	0,0023	0,0020	0,0017	
0,850	1,260	0,0025	0,0030	0,0035	0,0038	0,0041	0,0041	0,0038	0,0035	0,0030	0,0025	
0,750	0,900	0,0034	0,0042	0,0050	0,0057	0,0061	0,0061	0,0057	0,0050	0,0042	0,0034	
0,650	0,540	0,0043	0,0055	0,0068	0,0079	0,0085	0,0085	0,0079	0,0068	0,0055	0,0043	
0,550	0,180	0,0050	0,0064	0,0080	0,0094	0,0102	0,0102	0,0094	0,0080	0,0064	0,0050	
0,450	-0,180	0,0050	0,0064	0,0080	0,0094	0,0102	0,0102	0,0094	0,0080	0,0064	0,0050	
0,350	-0,540	0,0043	0,0055	0,0068	0,0079	0,0085	0,0085	0,0079	0,0068	0,0055	0,0043	
0,250	-0,900	0,0034	0,0042	0,0050	0,0057	0,0061	0,0061	0,0057	0,0050	0,0042	0,0034	
0,150	-1,260	0,0025	0,0030	0,0035	0,0038	0,0041	0,0041	0,0038	0,0035	0,0030	0,0025	
0,050	-1,620	0,0017	0,0020	0,0023	0,0025	0,0026	0,0026	0,0025	0,0023	0,0020	0,0017	
		-1,080	-0,840	-0,600	-0,360	-0,120	0,120	0,360	0,600	0,840	1,080	
		0,050	0,150	0,250	0,350	0,450	0,550	0,650	0,750	0,850	0,950	

Fig. V-4.1 Kopi av skjermbilde der konfigurasjonsfaktor, ϕ , beregnes.

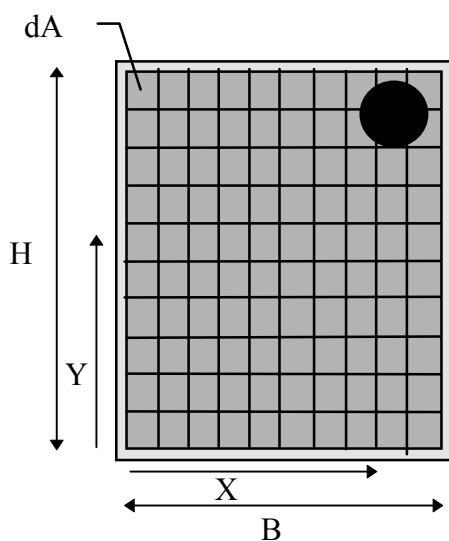


Fig. 4.2 Oppsett for beregning av konfigurasjonsfaktor, ϕ .

V-5 UTSTYR OG MATERIALLISTE

Utstyr til oppføring av ISO-rommet og miljøbeskyttelsen rundt rommet er beskrevet i litteratur^[5].

Termoelementer

Beskrivelse: K, 1.6 mm inconel mantel

Vekt og vektindikator

Beskrivelse: Vega vekt, m = 100kg ± 0,01kg. Vega vektindikator, VDI-137.

Leverandør: Vega Vekt, 1930 AURSKOG.

Logger

Beskrivelse: Fluke Hydra 2620allmenn – Input module. Data acquisition unit.

Leverandør: John Fluke MFG.CO.INC, USA

PC til logging

Beskrivelse: DELL, bærbar.

Leverandør: Utlånt av HSH.

Strålefluksmåler og total varmekfluksmåler

Beskrivelse: Schmidt-Boelter 64-5SB-18 og 64EP-5-20544.

Leverandør: Medtherm Corporation, Post Office Box 412, Huntsville, Alabama 35804.

I tillegg ble det brukt Nitrogen, vanntilførselslanger og ulike koblinger til disse.

Vanntåkedyse

Beskrivelse: FOGTUBE

Leverandør: Faros A/S, Televeien 3, 4879 GRIMSTAD

Sprinklerdyse

Beskrivelse: Våtsprinklerdyse uten sikringsenhet

Leverandør: Lux Brannteknologi

Programvare i tilknytning til oppgaven

Lab View

National Instruments

USA

Microsoft Excel 2000

Microsoft Word 2000

Microsoft Paint

Macromedia FreHand 9.0

V-6 Utbrettsark for oppsett av termoelementer og utstyr

	Brensel	Slukkemiddel
Serie 1		
Forsøk 1	Bensin	Nei
Forsøk 2	Bensin	Nei
Forsøk 3	Bensin	Nei
Serie 2		
Forsøk 1	Bensin	Sprinkler
Serie 3		
Forsøk 1	Bensin	Vanntåke
Forsøk 1	Bensin	Vanntåke
Forsøk 1	Bensin	Vanntåke
Serie 4		
Forsøk 1	Møblert rom	Vanntåke
Forsøk 1	Møblert rom	Nei

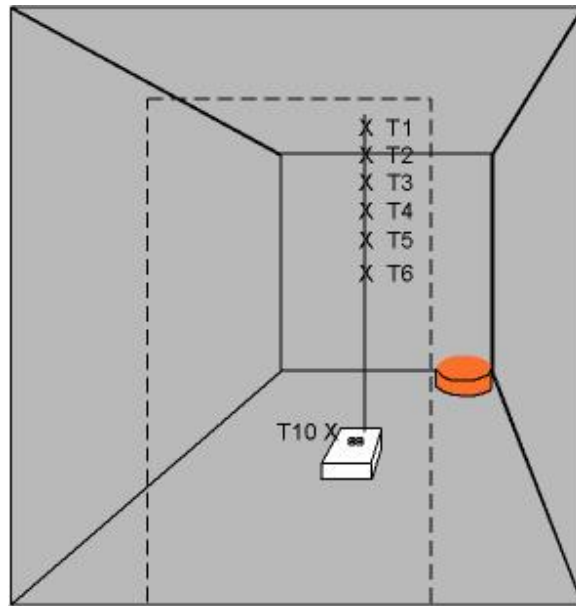


Fig. V-6.1 Oppsett av termoelement

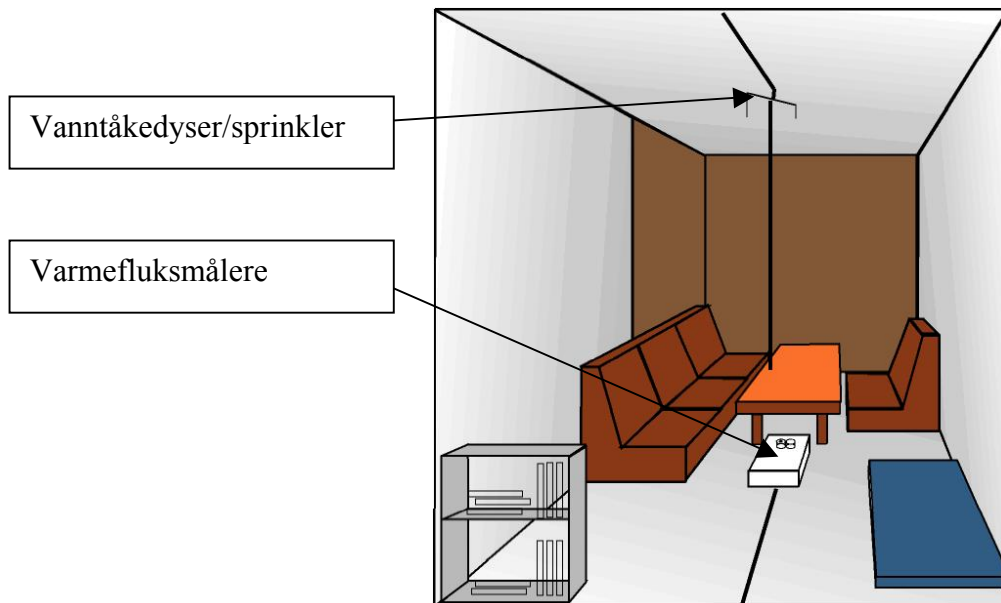


Fig. V-6.2 Skisse av møblering