



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Vannkjølt brannskilleduk



Hovedprosjekt utført ved

Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Studieretning: Brannteknikk

Av: Mikael Blihovde
Rune Kyllenstjerna
John Ivar Utstrand

Kandidat nummer 2
Kandidat nummer 1
Kandidat nummer 3

Haugesund

2005



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

BACHELOROPPGAVE

Studentenes navn: Mikael Blihovde
Rune Kyllenstjerna
John Ivar Utstrand

Linje & studieretning Sikkerhet, Brannteknikk

Oppgavens tittel: *Vannkjølt brannskilleduk*

Oppgavetekst:

Branner sprer seg lett, og i den forbindelse er et fysisk brannskille noe som kan redusere brannens omfang.

En ny produktide for seksjonering ved brann (vannfuktet duk) skal testes i liten og stor skala. Duken skal utsettes for temperaturutvikling i henhold til ISO-kurven.

Temperatur og strålefluksnivå skal dokumenteres, og dukens evne til å beholde sine branntekniske egenskaper skal vurderes.

Endelig oppgave gitt: 06. september 2005

Innleveringsfrist: Fredag 14. oktober 2005 kl. 12.00

Intern veileder Prof. Torgrim Log

Ekstern veileder SivIng Jon Arve Brekken, COVI, Haugesund

Godkjent av
studieansvarlig:

Bjane Chr. Haagen

Dato:

10.10.05



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

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

Oppgave tittel:		Rapport nummer:
Vannkjølt brannskilleduk		
Utført av:		
Mikael Blihovde, Rune Kyllenstjerna, John Ivar Utstrand		
Linje:		Studieretning:
Sikkerhet		Brannteknikk
Gradering:	Innlevert dato:	Veiledere:
Åpen	14.10.2005	Prof. Torgrim Log
Oppdragsgiver:		Kontaktperson hos oppdragsgiver:
THE HUB		Anders Thømt

Ekstrakt:

Hensikten med oppgaven var å undersøke de branntekniske egenskapene til en vannkjølt polyesterduk. Duken vurderes brukt som del av et system designet for å begrense brann- og røykspredning i store volum.

Det ble målt temperaturer og strålefluks i testrommet under forsøkene, samt gjort beregninger på teoretisk strålefluksnivå. Resultatene fra de ulike målingene ble diskutert og sammenlignet.

Det ble utført forsøk i halv- og fullskala ISO-rom. Dukens bredde ble varierte igjennom forsøksrekken. Totalt ble tre dukstørrelser testet.

Det ble sett på hvordan duken klarte seg igjennom de ekstreme termiske belastningene.

Forsøkene viste at duken klarte seg igjennom testene uten noen synelige skader.

Forord

Dette hovedprosjektet er skrevet som en obligatorisk og avsluttende del i den treårige branningeniørutdannelsen ved høgskolen Stord/Haugesund. Hovedprosjektet skal ha en bredde og arbeidsmengde som svarer til 20 studiepoeng. Hensikten med dette prosjektet er at studentene skal benytte de faglige kunnskapene som de har tilegnet seg i løpet av utdannelsen, og få erfaring i skriftlig og muntlig presentasjon.

Prof. Torgrim Log ved Høgskolen Stord/Haugesund fikk en forespørsel fra firmaet THE HUB, om å teste ut et nytt produkt innen brannbegrensende tiltak. Produktideen var en vannavkjølt duk som foldes ut i en eventuell brannsituasjon. Vi ble forespurt om det var interesse for dette som et hovedprosjekt. Målet med dette prosjektet er å teste ut om denne duken tåler de belastningene en fullt utviklet brann vil påføre den.

Resultatet fra dette prosjektet vil bli presentert i IngeniørNytt.

Gjennom dette prosjektet har vi fått erfare at praktiske forsøk ikke alltid går etter tidsplanen, men det har samtidig lært oss at god planlegging og godt samarbeid løser uforutsette hendelser.

Ved gjennomføring av prosjektet har vi hatt godt samarbeid med flere personer, og vi ønsker spesielt å takke:

- Prof. Torgrim Log, veileder for prosjektet ved Høgskolen Stord/Haugesund
- Arjen Kraaijeveld, laboratorieingeniør ved Høgskolen Stord/Haugesund
- Leiv Anfin Drange, Gisle Kleppe og Yaaseen Amith, HSH, for hjelp med utstyr
- Martin Olav Risvold, HSH, for IT hjelp
- Anders Thømt, THE HUB og Lux Brannteknologi for sponing av materialer.
- Olav Vågen, ResQ Sikkerhetssenter, ved gjennomføring av fullskalaforsøk
- H. C. Færden, ansvarlig redaktør i IngeniørNytt AS

Haugesund 14.10.2005

Mikael Blihovde

Rune Kyllenstjerna

John Ivar Utstrand

Innhold

FORORD	I
TABELLISTE	III
FIGURLISTE	III
NOMENKLATURLISTE	V
SAMMENDRAG	1
1. INNLEDNING	3
1.1 BAKGRUNN.....	3
1.2 FORMÅL.....	3
1.3 METODE	3
1.4 BEGRENSNINGER AV OPPGAVENS OMFANG.....	3
2 TEORI	4
2.1 BRANNKJEMI	4
2.2 BRANNDYNAMIKK	5
2.3 KORT OM ROMBRANN	7
2.4 KORT OM ISO-KURVEN	7
3. BEREGNINGER	8
3.1 BEREGNINGER FOR HALVSKALAFORSØKENE	8
3.2 BEREGNINGER FOR FULLSKALAFORSØKENE	13
3.3 FORVENTET STRÅLEFLUKSNIVÅ.....	15
3.4 TEORETISK VANNBEHOV FOR KJØLING AV DUKEN	16
4. TESTOPPSETT	17
4.1 INNLEDENDE FORSØK I HALVSKALA ISO-ROM.....	17
4.1.1 Konstruksjon av testtriggen.....	17
4.1.2 Instrumentering innledende halvskalaforsøk.....	20
4.1.3 Brensel.....	22
4.2 HALVSKALA ISO-ROM.....	23
4.2.1 Testtriggen.....	23
4.2.2 Instrumentering halvskalaforsøk.....	24
4.2.3 Brensel.....	25
4.3 FORSØK I FULLSKALA PÅ RESQ SIKKERHETSSENTER.....	28
4.3.1 Testtriggen.....	28
4.3.2 Instrumentering	29
4.3.3 Brensel.....	31
4.4 KALIBRERING AV STRÅLEFLUKSMETER	32
5 TESTRESULTATER	35
5.1 HALVSKALA ISO-ROM 400 MM BRED DUK	35
5.2 HALVSKALA ISO-ROM 1000 MM BRED DUK	40
5.3 FULLSKALA ISO-ROM 1200 MM BRED DUK	42
6 DISKUSJON	44
6.1 GENERELT	44
6.2 FEILKILDER GENERELT	45
6.2.1 FEILKILDER VED LABORATORIEFORSØKENE	46
6.2.2 FEILKILDER VED FORSØK PÅ RESQ SIKKERHETSSENTER	46
6.3 VIDERE ARBEID	47
7 KONKLUSJON	48
8. LITTERATURLISTE	49

Tabelliste

Tabell 2.1 Brennbarhetsgrenser for n-heptan.....	5
Tabell 3.1 Branneffekt som funksjon av væsknivå i brenselskar	10
Tabell 3.2 Tabell over konstanter til lign. 3.7	11
Tabell 3.3 Overflateareal som funksjon av væsknivå	14
Tabell 3.4 Beregnet emissivitet i de tre testrommene	15
Tabell 4.1 Oversikt over n-heptanens egenskaper	23
Tabell 4.2 Resultater fra kalibrering	34

Figurliste

Figur 3.1 Skisse av brenselskar i halvskalaforsøk	8
Figur 3.2 Branneffekt som funksjon av væsknivå i brenselskar	10
Figur 3.3 Damptrykk over væsker fra tabell 3.2 som funksjon av temperatur	11
Figur 3.4 Damptrykk og øvre brennbarhetsgrense (UFL) for n-heptan	12
Figur 3.5 Brenselskar i fullskalaforsøk (oljefat delt på langs).....	14
Figur 3.6 Kurve over overflateareal som funksjon av væsknivå.....	15
Figur 3.7 Teoretisk strålefluksnivå etter ISO-kurven i kvart, halv og full skala	16
Figur 4.1 Gulvkonstruksjon i halvskala, sett ovenfra.....	17
Figur 4.2 Steinoppsett i sidevegger i halvskala.....	18
Figur 4.3 Frontvegg med ventilasjonsåpning	18
Figur 4.4 De fem takelementene sett ovenfra	19
Figur 4.5 Testtriggens utvendige mål, sett forfra	20
Figur 4.6 Vektens plassering under de innledende halvskalaforsøkene	21
Figur 4.7 Plassering av termoelementer i halvskalaforsøkene	22
Figur 4.8 Forskjellige oppsett av bakveggen under halvskalaforsøkene	23
Figur 4.9 Zenner vannmåler ble benyttet til å måle vannforbruk.....	24
Figur 4.10 System for kontinuerlig mating av brensel	25
Figur 4.11 Nivåanvisninger i forsyningskaret	26
Figur 4.12 Tverrsnittsnitt av brenselskaret i halvskalaforsøkene	26
Figur 4.13 Ventilenes normalstilling	27
Figur 4.14 Ventilenes tappestilling	27
Figur 4.15 Jording av ventiler	28
Figur 4.16 Jording av forsyningskar.....	28
Figur 4.17 Modifisering av fullskala testtrigg.....	28
Figur 4.18 Plassering av termoelementer i fullskalaforsøkene	29
Figur 4.19 Plassering av strålefluksmeter i fullskala	30
Figur 4.20 Isolering av strålefluksmeter og føring av kabler	30
Figur 4.21 Brenselskar og sekundærkar i fullskala	31
Figur 4.22 System for kontinuerlig mating av brensel.....	31
Figur 4.23 Ventiler for tapping av brensel.....	32
Figur 4.24 Spesifikasjoner fra brukerveiledningen til kalibreringsovn Mikron M300..	32
Figur 4.25 Oppsett under kalibrering av strålefluksmeter	33
Figur 4.26 Kalibreringskurve.....	34
Figur 5.1 Temperaturer fra forsøk 22 (halvskala)	35
Figur 5.2 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 22 (halvskala).....	36
Figur 5.3 Målt strålefluks fra forsøk 22 (halvskala)	36



Figur 5.4 Temperaturer fra forsøk 23 (halvskala)	37
Figur 5.5 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 23 (halvskala).....	37
Figur 5.6 Målt strålefluks fra forsøk 23 (halvskala)	38
Figur 5.7 Temperaturer fra forsøk 24 (halvskala)	38
Figur 5.8 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 24 (halvskala).....	39
Figur 5.9 Målt strålefluks fra forsøk 24 (halvskala)	39
Figur 5.10 Temperaturer fra forsøk 25 (halvskala)	40
Figur 5.11 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 25 (halvskala).....	40
Figur 5.12 Målt strålefluks fra forsøk 25 (halvskala)	41
Figur 5.13 Temperaturer fra forsøk 28 (fullskala)	42
Figur 5.14 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 28 (fullskala).....	43
Figur 5.15 Strålefluks fra forsøk 28 og strålefluksnivå beregnet fra ISO-kurven (fullskala)	43

Nomenklaturliste

A	Areal	m^2
x	Avstand	m
d	Diameter	m
ε	Emmisivitet	$0 < \varepsilon < 1$
Δ	Endring	-
E	Energi	-
\dot{Q}_F''	Energioverføring fra flammen til brenselet	W/m^2
χ	Forbrennings effektivitet	$0 < \chi < 1$
ΔH_c	Forbrenningsvarme	kJ/g
L_v	Fordampningsvarme	kJ/g
\dot{m}_L	Ideell massetapsrate	$kg/s \ m^2$
T_0	Initialtemperatur	K
\dot{m}_{luft}	Lufttilgang	$kg \ luft/s$
\dot{m}	Massetapsrate	g/s
\dot{m}''	Massefluks	$g/s \ m^2$
\dot{Q}_{FO}	Minste branneffekt for overtenning	W
LFL	Nedre brennbarhetsgrense	Vol %
K	Røykens spesifikke absorpsjonskoeffisient	m^{-1}
L	Røyklaget tykkelse	m
σ	Stefan-Boltzmanns konstant	$W/m^2 \ K^4$
Φ	Synsfaktor, konfigurasjonsfaktor	$0 < \Phi < 1$
T	Temperatur	K
T_g	Temperatur i aktuell fluid	K
T_s	Temperatur på overflate av et materiale	K
\dot{Q}_E''	Tilbakestråling fra varme røykgasser eller ekstern kilde	W/m^2
C_p	Varmekapasitet	kJ/g
k	Varmeledningsevne	$W/m \ K$
h	Varmeovergangskoeffisient	$W/m^2 \ K$
\dot{Q}	Varmeproduksjon	W
$\dot{Q}_{c,luft}$	Varmeproduksjon ved maks lufttilgang	W
\dot{Q}_L''	Varmetap fra brenseloverflaten	W/m^2
\dot{q}	Varmetransport	W
UFL	Øvre brennbarhetsgrense	Vol %

Sammendrag

Hensikten med oppgaven var å finne ut om en vannkjølt duk kunne egne seg som brannskille. Det ble bestemt at de branntekniske egenskapene til en duk, levert av The HUB, skulle undersøkes. Polyesterproduktet ble valgt på grunn av dets egenskaper til å oppta vann.

Forsøk i kvart skala ble kjørt tidlig for å bli kjent med duken. I denne testperioden viste det seg at duken klarte seg uten synlige skader. Det ble da bestemt å gå videre til testing i halvskala.

Et halvskala ISO-rom ble konstruert inne i et fullskalarom. Ventilasjonsåpningen ble plassert inn mot bakveggen til fullskalarommet for å bytte ut bakveggen i testtriggen med duk. Dette ble gjort for å sikre god tilgang for fukting og for å sette sikkerheten i høysete.

For å ha muligheten til å kontrollere brannforløpet slik at temperaturene til en hver tid lå over ISO-kurven, ble det konstruert et etterfyllings system for brenselet. Med dette systemet ble det mulig å kontrollere arealet på brenseloverflaten ved å justere væsknivået. Brenselskaret var formet som pyramide, og var plassert sentrert i halvskala ISO-rommet. Testene i halv skala ble kjørt med n-heptan som brensel. Alle tester i halv og full skala hadde hele tiden som formål at temperaturen skulle ligge over ISO-kurven (en standard temperatur-tid-kurve). Alle vellykkede tester hadde temperaturer som lå godt over dette gjennom hele brannforløpet.

Det ble benyttet to forskjellige størrelser på duken i halvskala. Disse var 400 mm og 1000 mm brede, begge med en høyde på 1200mm. Begge dukstørrelsene klarte seg igjennom testene uten noen synlige skader.

Varmestråling ble registrert med et strålefluksmeter sentrert over ventilasjonsåpningen. Strålefluksmetret hadde en vannrett siktelinje igjennom røyklaget mot duken. Seks termoelementer ble plassert i rommet, med tre forskjellige høyder (10, 20 og 30 cm fra taket). Termoelementene var fordelt i to grupperinger på hver side av brenselskaret, 30 cm fra hver kortside av rommet. Data ble logget og lagret med egnet utstyr.

Det teoretiske vannbehovet for kjøling av duken ble beregnet ut fra et forventet strålefluksnivå på 140 kW/m^2 . Med denne forutsetningen ble vannbehovet 54 g/s m^2 . Under forsøkene ble det påført betydelige mengder vann, mange ganger teoretisk beregnet vannbehov. Testene som ble vektlagt i denne hovedoppgaven hadde en varighet på opptil 1 time.

I halv skala ble det logget temperaturer opp mot 1100°C , samt et strålefluksnivå opp mot 125 kW/m^2 .

Disse verdiene stemmer godt overens med de teoretiske beregninger som er gjort.

Etter at testingen i halvskala var avsluttet med tilfredsstillende resultater, ble forberedelsene for testing i fullskala iverksatt. Det ble benyttet et modifisert fullskala ISO-rom på ResQ Sikkerhetssenter. Rommet har de samme målene, men er delt i to av en stålvegg. Dette fikk lite utslag for strålingen på duken da rommets lengde var den samme.

Diesel ble benyttet som primærbrensel, men n-heptan ble tilført som sekundært brensel for å få ønsket strålefluksnivå i fullskala. Instrumenteringen var i hovedsak lik som i halvskala, bare oppskalert. Brenselskaret var et 200 liters oljefat delt i to på langs. Dette ble plassert med bredden mot lengderetningen i rommet. Et lignende etterfyllingssystem som for halvskala ble konstruert for å kontrollere brannforløpet i fullskala. Dette gjorde det også mulig å oppnå den ønskede varigheten på testene.

Duken som ble testet i fullskala ble kjølt på en side, størrelsen på duken var 2400mm høy og 1200mm bred. Det ble oppnådd et strålefluksnivå opp mot 160 kW/m^2 , samt temperaturer opp til $1350 \text{ }^\circ\text{C}$.

I bergegningene som ble gjort i denne oppgaven ble det gjort tilnærminger som at diesel har tilnærmet like egenskaper som parafin og at emissiviteten er tilnærmet lik 1.

Forsøkene viste at duken klarte seg igjennom testene uten synelige skader, og at duken egner seg som en del av et brannbegrensende system.

1. Innledning

1.1 Bakgrunn

Firmaet THE HUB tok kontakt med prof. Torgrim Log ved Høgskolen Stor/ Hauge-sund for å få testet ut en produktidé. THE HUB hadde et ønske om å få testet ut en vannavkjølt brannskillevegg som de vurderer å sette i produksjon. Produktideen er en vannfuktet duk som foldes ut ved brann. Tanken er at produktet skal fungere som et brannskille, og dermed hindre videre brann- og røykspredning. THE HUB ønsket å finne ut om denne vannavkjølte brannskilleveggen tålte de påkjenningene en brann-situasjon påførte den. I følge undersøkelser gjort av The HUB tilbys det ikke en vannkjølt brannskilleduk på markedet i dag. Det nærmeste man kommer i dag er en brannvegg, denne brannveggen står som et fysisk skille og er ofte til hinder for den daglige virksomheten.

1.2 Formål

Hensikten med oppgaven er å belyse egenskapene til denne vannavkjølte brann-skilleveggen når den blir eksponert for en brann. Formålet var å konstruere en brann som holdte temperaturer høyere enn en standardisert temperatur-tid-kurve, og se hvordan dette påvirket duken. Videre er det interessant å finne ut hvordan duken oppfører seg i en brannsituasjon, og om denne egner seg brukt som et brann- og røykskille.

1.3 Metode

Duken skulle utsettes for branner i småskala-, halvskala- og fullskalaforsøk. Småskala- og halvskalaforsøkene skulle utføres ved Høgskolens brannlaboratorium, mens fullskalaforsøkene skulle utføres ved ResQ Sikkerhetssenter. Tanken var at denne trinnvise gjennomføringen skulle gi veldokumenterte resultater på hvordan duken reagerte på brannen. Det ble gjort målinger av brukt vannmengde, varmefluks og temperaturer for å vurdere egenskapene til duken.

1.4 Begrensninger av oppgavens omfang

Denne prosjektoppgaven vil ikke omfatte andre aspekter ved produktet enn dukens branntekniske egenskaper. Det ble testet at duken tålte belastningene fra en fullt utviklet brann, men det er i dette hovedprosjektet ikke sett nærmere på utløser-mekanismen til kassetten som duken ligger i, og dens festeanordning. Videre ble det i disse forsøkene kjølt med ganske store mengder vann. Nøyaktig hvor liten vann-mengde som måtte til for å oppnå god nok kjøling til duken ble ikke testet ut.

2 Teori

Dette kapittelet vil ta for seg grunnleggende begrep og formler som ble benyttet i prosjektet. Hensikten er å klargjøre områdene for leseren og unngå misforståelser og mistolkninger. Formler og tallverdier i dette kapitlet er alle hentet fra "An Introduction to Fire Dynamics" [1], dersom ikke annet er angitt.

2.1 Brannkjemi

Innledende forsøk i denne rapporten er gjort med n-heptan, dette stoffet vil derfor bli brukt i eksempler i dette underkapitelet.

n-Heptan: $n\text{-C}_7\text{H}_{16}$

Det er tre typer ventilasjonsforhold under en brann [2]:

- Støkiometrisk forbrenning
- Brenselkontrollert forbrenning
- Ventilasjonskontrollert forbrenning

Støkiometrisk forbrenning:

Dette innebærer at all oksygen reagerer og forbrenningen danner H_2O og CO_2 . Dette kalles også fullstendig forbrenning.

Eksempel:



Brenselkontrollert forbrenning:

I denne situasjonen er det et underskudd av brensel, det er altså brensel som er den begrensende faktor. Det vil da være oksygen blant forbrenningens slutt produkter.

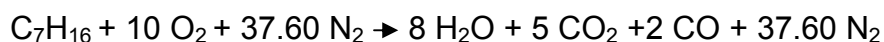
Eksempel:



Ventilasjonskontrollert forbrenning:

Ved en slik forbrenning er det tilgangen på oksygen som er den begrensende faktor. Det er altså mer brensel enn det er tilsvarende tilgang på oksygen. Forbrenning vil da danne ufullstendige produkter som for eksempel karbonmonoksid (CO), som er meget giftig for mennesker.

Eksempel:



Varmekapasitet, C_p

Et materiales varmekapasitet angir hvor mye energi som skal til for å øke temperaturen på en gitt masse med en grad. Vanlige enheter er J/mol K eller J/kg K . Dette er verdier som forandrer seg med temperatur, men som regel vil dette forenkles og man finner C_p -verdier i intervall på 500 grader.

Fordampningsvarme, L_v

Fordampningsvarmen er en materialspesifikk verdi som angir hvor mye energi som skal til for å fordampe en gitt masse. Enheten er kJ/g.

Som et eksempel kan man se på vann som varmes fra 20 til 100 grader, før det fordampes:

$$C_p = 4,18 \text{ J/g K}$$

$$L_v = 2,258 \text{ kJ/g}$$

$$E_{\text{Oppvarming}} = 4,18 \text{ J/g K} \cdot 100 \text{ g} \cdot (100 - 20) \text{ K}$$

$$E_{\text{Oppvarming}} = 33440 \text{ J} = 33,44 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{Fordamping}} = 2,258 \text{ kJ/g} \cdot 100 \text{ g}$$

$$E_{\text{Fordamping}} = 225,8 \text{ kJ}$$

$$E_{\text{Total}} = E_{\text{Oppvarming}} + E_{\text{Fordamping}} = 33,44 \text{ kJ} + 225,8 \text{ kJ} = 259,24 \text{ kJ}$$

Brennbarhetsgrenser

Brennbarhetsgrensene forteller hvilke forhold som må være tilstede for at en gitt gass eller damp kan brenne. Disse grensene er avhengige av konsentrasjon (g/m^3 eller volumprosent) og temperatur [$^{\circ}\text{C}$]. n-Heptan har følgende grenser:

Tabell 2.1 Brennbarhetsgrenser for n-heptan.

Nedre brennbarhetsgrense		Øvre brennbarhetsgrense	
Vol %	g/m^3	vol %	g/m^3
1,05	47	6,7	320

Det betyr at blandingen kun brenner dersom n-heptan utgjør mellom 1,05 og 6,7 vol % (tallene er temperatur avhengige, og gjelder for 0°C).

2.2 Brannodynamikk

Massetapsrate

Massetapsraten, \dot{m} angir størrelsen av produksjon av pyrolysegasser. Vanligste enhet i brann sammenheng er g/s. Massetapsraten avhenger av brenselets evne til å varmes opp til kokepunktet og fordampe (C_p og L_v). Massetapsraten beregnes ofte ut fra brenselets overflateareal. Dette kalles da massefluks, \dot{m}'' og oppgis i g/s m^2 . Ved å finne massetapsraten, kan man også finne brannens varmeproduksjon, \dot{Q} .

Varmeproduksjon

Fra tidligere forskning vet man hvor mye energi en gitt mengde av et bestemt brensel avgir ved forbrenning. Dette kalles forbrenningsvarme, ΔH_c og oppgis i kJ/g eller kJ/mol. Det vil si at forbrenning av n-heptan med massetapsrate på 10 g/s forbrenningsvarme på 44,59 kJ/g [3] og en forbrenningseffektivitet, χ på 69 %, gir følgende varmeproduksjon:

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

$$\dot{Q} = 10 \text{ g/s} * 0,69 * 44,59 \text{ kJ/g} = 445,9 \text{ kJ/s} = 445,9 \text{ kW}$$

Et brensels forbrenningsvarme kan også oppgis per gram oksygen eller luft forbrukt i forbrenning.

Varmetransport

Det transporteres varme mellom alle legemer med ulik temperatur, fra høy temperatur til lav temperatur. Varmetransport deles i tre deler; Varmeledning, konveksjon og stråling.

Varmeledning er energi som stort sett går gjennom faste materialer, men også væsker og gasser. Det som avgjør denne varmestrømmen er varmeledningsevne, k [W/m K], temperaturforskjeller og materialets tykkelse.

$$\dot{Q}''_{\text{Ledning}} = k \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.2)$$

Varmetransport mellom gass eller væske og fast materiale kalles konveksjon. I brann sammenheng utgjør denne transportformen omtrent 70 % av varmetapet. Forhold som materialets og gassens eller væskens viskositet, tetthet, utforming og temperatur avgjør hvor stor varmestrømmen blir. Varmeovergangskoeffisienten, h [$\text{W/m}^2 \text{ K}$], tallsetter disse forholdene, slik at konveksjon kan uttrykkes på følgende måte:

$$\dot{Q}''_{\text{Konveksjon}} = h(T_g - T_s) \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.3)$$

hvor T_g er temperaturen til væsken eller gassen. T_s er det faste materialets temperatur.

Stråling står for omtrent 30 % av varmetapet i en brann. Mengden varmestråling avhenger først og fremst av det strålende legemets temperatur. Ut over dette er strålingsmengden avhengig av optisk tykkelse (emissivitet, ϵ), avstand, geometriske forhold med mer (synsfaktor, Φ).

$$\dot{Q}''_{\text{Stråling}} = \epsilon \Phi \sigma (T^4 - T_0^4) \quad [\text{W/m}^2] \quad (2.4)$$

Hvor σ er Stefan-Boltzmanns konstant ($5,67 \cdot 10^{-8} \text{ W/m}^2 \text{ K}^4$).

Emissiviteten til røyklaget for bruk i Ligning 2.4 kan beregnes ut fra:

$$\varepsilon = 1 - e^{-KL} \quad [-] \quad (2.5)$$

der	ε	=	røyklagets emissivitet	$[0 < \varepsilon < 1]$
	K	=	røykens spesifikke absorpsjonskoeffisient	$[m^{-1}]$
	L	=	røyklagets tykkelse	$[m]$

2.3 Kort om rombrann

Ved brann i et lukket rom, vil det dannes et røyklag i rommets øvre sjikt. Røyklagets tykkelse og høyde vil variere avhengig av ventilasjonsforholdene. Dersom røyklagets emissivitet og synsfaktor er tilstrekkelig høy, vil man få en betydelig stråling ned til brenseloverflaten. Dette vil føre til økt massefluks og dermed økt temperatur. Dette vil gi en spiraleffekt, som gjør at brannen øker i omfang. Dette kan resultere i overtenning, som kjennetegnes av:

- Alle brennbare flater er involvert i brannen
- Flammer ut åpninger
- 550-600 °C i røyklaget
- Strålefluks på rundt 20-25 kW/m² ved gulvnivå

Massetapsraten i en rombrann kan beskrives ved:

$$\dot{m} = \frac{\dot{Q}_F + \dot{Q}_E - \dot{Q}_L}{L_v} \quad [g/s] \quad (2.6)$$

\dot{Q}_F er varmestråling fra flammen til brenseloverflaten, \dot{Q}_E er tilført varme fra eksterne kilder, \dot{Q}_L er brannens varmetap og L_v er brenselets fordampningsvarme.

2.4 Kort om ISO-kurven

ISO-kurven er en kurve over forholdet mellom temperatur og tid [4]. Kurven blir opprinnelig brukt for produkttesting i fullskala ovner. Men denne kurven blir også brukt ellers til testing for å ha en felles referanse. ISO-kurven er gitt ved:

$$T_g = 345 \log(8t + 1) + 20 \quad [^{\circ}C] \quad (2.7)$$

Hvor T_g er temperatur i celsius etter ønsket tid og t er tid i minutter etter antennelse.

3. Beregninger

3.1 Beregninger for halvskalaforsøkene

Begrensende lufttilgang

Maksimal lufttilgang beregnet ut fra ventilasjonsåpningen utforming og størrelse:

$$\begin{aligned}\dot{m}_{\text{luft}} &= 0,5 A_w H^{1/2} \text{ [kg luft / s]} \\ \dot{m}_{\text{luft}} &= 0,5 * (1,0 * 0,4) * 1,0^{1/2} \text{ kg luft / s} \\ \dot{m}_{\text{luft}} &= 0,2 \text{ kg luft / s}\end{aligned}\tag{3.1}$$

Varmeproduksjon ved full utnyttelse av lufttilgang

Beregnet branneffekt ved maksimal utnyttelse av lufttilgangen:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{c,\text{luft}} &= \Delta H_{c,\text{luft}} \dot{m}_{\text{luft}} \text{ [kW/g(luft)]} \\ \dot{Q}_{c,\text{luft}} &= 3,0 \text{ kJ / g(luft)} * 200 \text{ g(luft) / s} \\ \dot{Q}_{c,\text{luft}} &= 600 \text{ kW/g(luft)}\end{aligned}\tag{3.2}$$

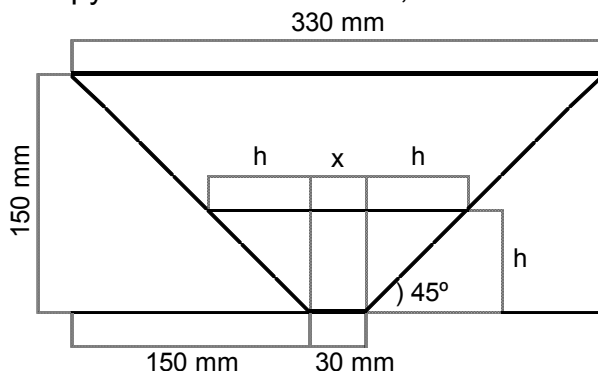
Minste branneffekt for å få overtenning

Minste branneffekt for å nå overtenning med gitte ventilasjonsforhold:

$$\begin{aligned}\dot{Q}_{FO} &= 600 A_w H^{1/2} \text{ [kW]} \\ \dot{Q}_{FO} &= 600 \text{ kW / m}^{5/2} * 0,4 \text{ m}^2 * (1 \text{ m})^{1/2} \\ \dot{Q}_{FO} &= 240 \text{ kW}\end{aligned}\tag{3.3}$$

Brenselsareal som funksjon av høyde i karet

Brannens størrelse er avhengig av væskeoverflatens areal. Ved å variere væsknivået i det pyramideformede karet, kunne man kontrollere branneffekten.



Figur 3.1 Skisse av brenselskar i halvskalaforsøk

Med en helningsgrad på 45 °, vil væsknivået i karet gi følgende uttrykk for arealet:

$$A_f = (2 * h + x)^2 \text{ [m}^2\text{]}\tag{3.4}$$

Et væskenivå på 0,10 m og $x=0,03$ m, vil gi følgende areal:

$$A_f = (2 \cdot 0,1 \text{ m} + 0,03 \text{ m})^2$$
$$A_f = 0,0529 \text{ m}^2$$

For senere beregninger kan det være nødvendig å oppgi en diameter på brenselsarealet. Diameteren finnes ved å anta et sirkulært areal for så å snu om på formelen for areal av en sirkel:

$$A_f = \pi r^2 = \pi (d/2)^2$$
$$d = \sqrt{\frac{4A_f}{\pi}} \text{ [m]} \quad (3.5)$$

Teoretisk varmeproduksjon ved varierende væskenivå

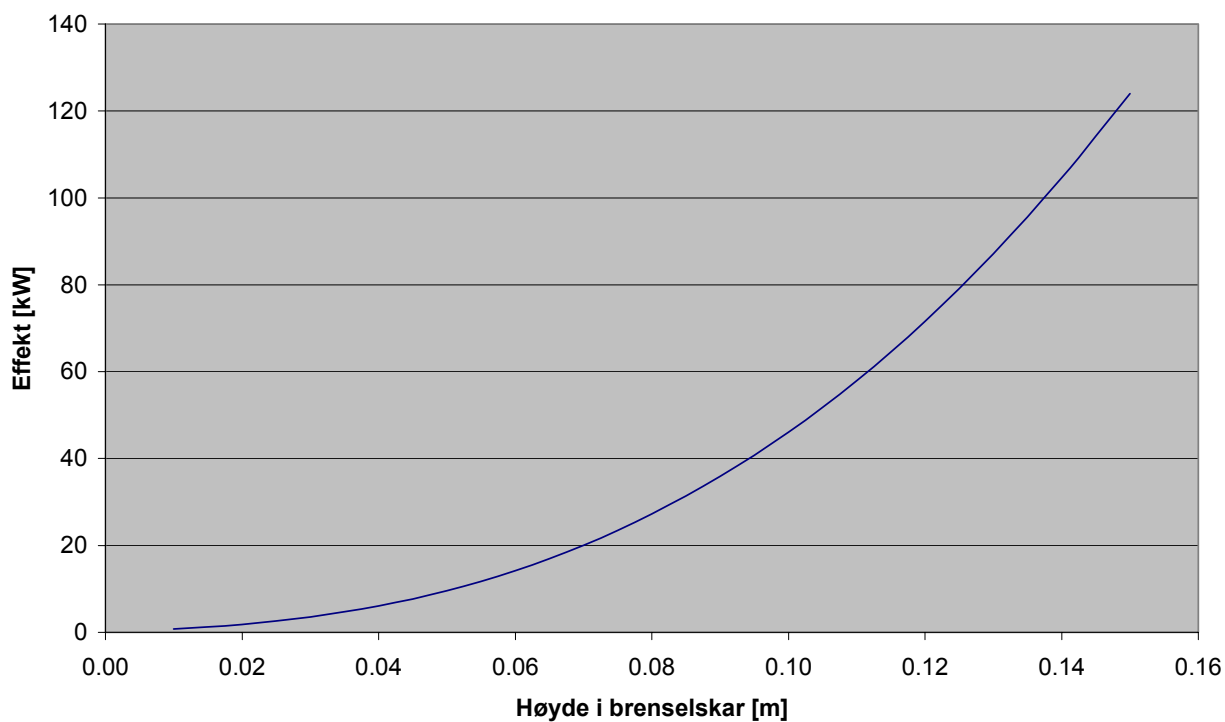
Når arealet ved de forskjellige væskenivåene er gitt, er det interessant å få et overslag på hvilken branneffekt disse brenselsarealene gir. Formelen er beregnet for større væskebranner, så beregningene gir kun representative verdier for branner med diameter større enn 0,20 m (væsknivå på omtrent 0,075 m).

$$\dot{m}'' = \dot{m}''_{\infty} (1 - e^{-k\beta d}) \quad [\text{kg} / \text{m}^2 \text{ s}] \quad (3.6)$$
$$\dot{m}''_{\infty} = 0,101 \quad \text{kg} / \text{m}^2 \text{ s}$$
$$k\beta = 1,1 \quad \text{m}^{-1}$$

Formelen er brukt for utregninger i Tabell 3.1

Tabell 3.1 Branneffekt som funksjon av væskeniå i brenselskar

Høyde i kar [m]	Overflateareal [m ²]	Tilsvarende diameter [m]	Massefluks [kg/m ² s]	Massestrøm [g/s]	Effekt kW
0,010	0,004	0,069	0,007	0,027	0,76
0,020	0,007	0,092	0,010	0,064	1,82
0,030	0,010	0,115	0,012	0,125	3,55
0,040	0,015	0,139	0,014	0,216	6,10
0,050	0,021	0,162	0,016	0,340	9,61
0,060	0,027	0,185	0,019	0,503	14,22
0,070	0,034	0,209	0,021	0,709	20,06
0,080	0,042	0,232	0,023	0,963	27,24
0,090	0,051	0,255	0,025	1,268	35,88
0,100	0,061	0,279	0,027	1,629	46,08
0,110	0,072	0,302	0,029	2,049	57,96
0,120	0,083	0,326	0,030	2,531	71,60
0,130	0,096	0,349	0,032	3,079	87,10
0,140	0,109	0,372	0,034	3,695	104,53
0,150	0,123	0,396	0,036	4,383	123,98



Figur 3.2 Branneffekt som funksjon av væskeniå i brenselskar

Sikkerhetsvurdering ved tapping av brenselskar

Før testene med kontinuerlig mating av brensel kunne gjennomføres, måtte det vurderes hvorvidt flammer kunne bre seg i røret ved styrt nedtapping eller utbrenning. Det kan kun gå flammer i røret dersom damptrykket er innenfor brennbarhetsgrensene. Damptrykket er gitt ved:

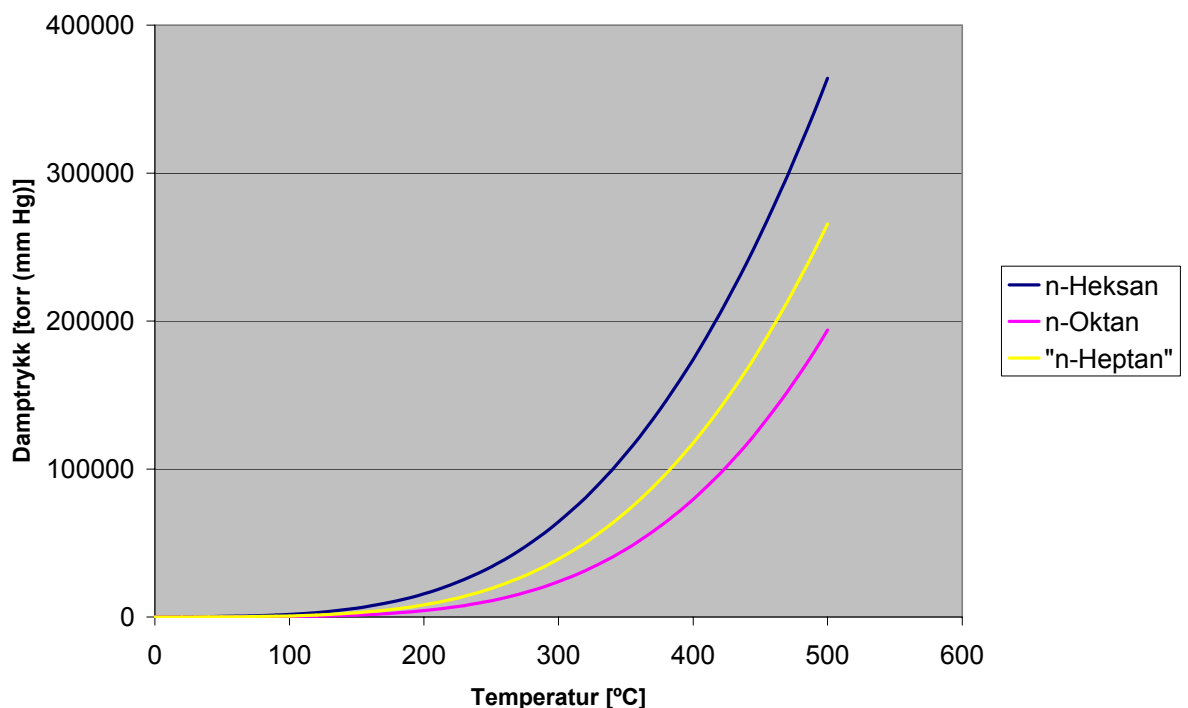
$$\log_{10} P^{\circ} = \frac{-0,2185E}{T} + F \quad (3.7)$$

$$T = \frac{-0,2185E}{\log_{10} P^{\circ} - F} \quad [\text{K}]$$

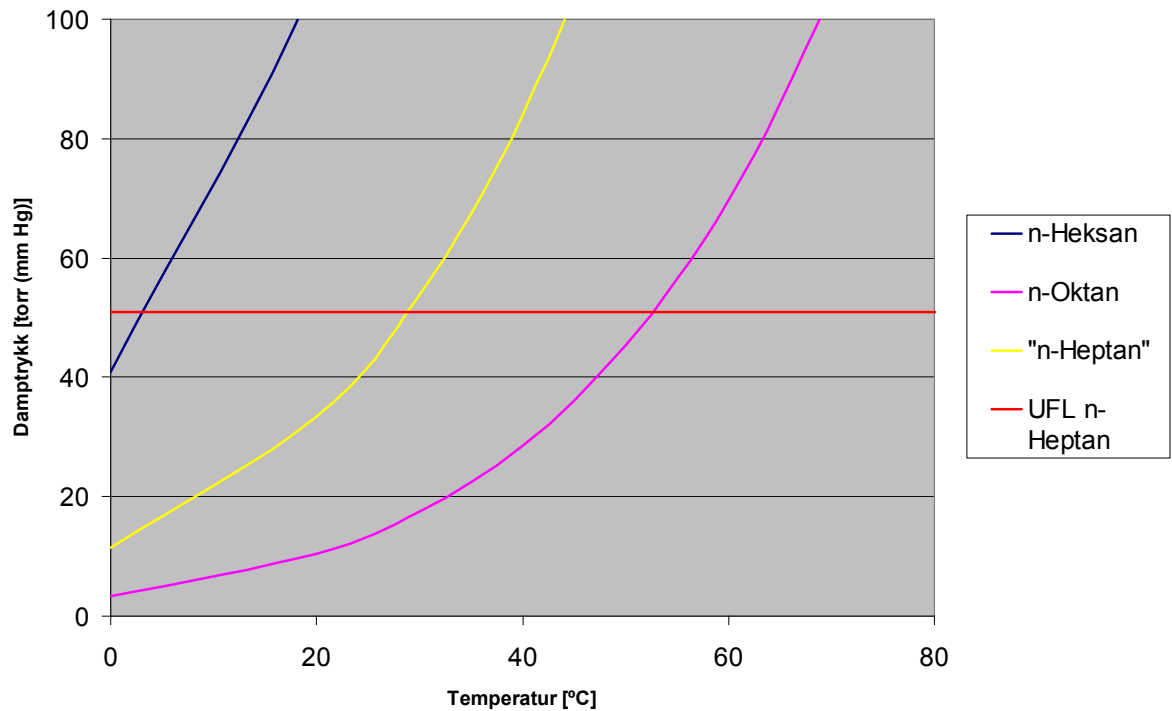
På grunn av mangel på data, ble det gjort et gjennomsnitt av verdier for n-heksan og n-oktan. Disse væskene befinner seg på hver sin side av n-heptan i hydrokarbonrekken, og vil derfor gi representative verdier.

Tabell 3.2 Tabell over konstanter til lign. 3.7

	E	F	Gyldighetsområde
n-Heksan	7627,2	7,7171	Fra -54 til 209 °C
n-Oktan	9221,0	7,8940	Fra -14 til 281 °C
n-Heptan	8424,1	7,8056	Fra -14 til 209 °C



Figur 3.3 Damptrykk over væsker fra tabell 3.2 som funksjon av temperatur



Figur 3.4 Damptrykk og øvre brennbarhetsgrense (UFL) for n-heptan

n-Heptanen kan ikke ta fyr i dreneringsrøret så lenge gassen er over øvre brennbarhetsgrense på 6,7 vol %. 1 atmosfære er 760 torr (mm Hg). Under antagelse av at det til en hver tid vil være atmosfærisk trykk over væsken, vil n-heptanens deltrykk multiplisert med 100 % være volumprosenten. Den kritiske temperaturen er altså den som gir et deltrykk på 0,067 atm.

$$P^{\circ} = 0,067 \text{ atm} * 760 \text{ torr/atm}$$

$$P^{\circ} = 50,92 \text{ torr}$$

$$T = \frac{-0,2185E}{\log_{10} P^{\circ} - F} \quad [\text{K}]$$

$$T = \frac{-0,2185 * 8424,1}{(\log_{10} 50,92) - 7,8056} \quad \text{K} \quad (3.7)$$

$$T = 301,8\text{K} = 28,8^{\circ}\text{C}$$

Temperaturen på brennstoffet som tappes fra brenselskaret vil være nært n-heptanens kokepunkt på 98,4 °C. Det er kun når karet tømmes, og siste del av brenselet er på vei inn i kopperrøret, at flammen kan spre seg inn i røret. Dersom brenselet holder en temperatur som er høyere enn 28,8 °C, vil ikke dette skje.

n-Heptan er et blandingsprodukt, så det er derfor vanskelig å oppdrive nøyaktige verdier for E og F. I verste tilfelle, vil verdiene for n-heptan være nærere n-oktan. Dette vil føre til at damptrykket er lavere, og temperaturene kan bli høyere, men fort-

satt innenfor brennbarhetsgrensene. Ved å gjøre samme beregning med tall for n-oktan, kan man finne hvilke verdier man med sikkerhet kan forholde seg til:

$$T = \frac{-0,2185 * 9221,0}{(\log_{10} 50,92) - 7,8940} \text{ K}$$

$$T = 325,6 \text{ K} = 52,6^\circ \text{ C}$$

52,6 °C er fortsatt en verdi som er lavere enn den forventede væsketemperatur. Det kan da konkluderes med at nedtappingen er trygg. Det henvises til Vedlegg A.4 Feiltre for søling av n-heptan.

3.2 Beregninger for fullskalaforsøkene

Maksimal lufttilgang

Maksimal lufttilgang beregnet ut fra ventilasjonsåpningen utforming og størrelse:

$$\dot{m}_{\text{luft}} = 0,5 A_w H^{1/2} \text{ [kg luft / s]}$$

$$\dot{m}_{\text{luft}} = 0,5 * (2,0 * 0,8) * 2,0^{1/2} \text{ kg luft / s} \quad (3.1)$$

$$\dot{m}_{\text{luft}} = 1,13 \text{ kg luft / s}$$

Varmeproduksjon ved full utnyttelse av lufttilgang

Beregnet branneffekt ved maksimal utnyttelse av lufttilgangen:

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

$$\dot{Q}_{c,\text{luft}} = 3,39 \text{ kJ / g(luft)} * 1130 \text{ g(luft) / s} \quad (3.2)$$

$$\dot{Q}_{c,\text{luft}} = 3830,7 \text{ kW}$$

Minste branneffekt for å få overtenning

Minste branneffekt for å nå overtenning med gitte ventilasjonsforhold:

$$\dot{Q}_{FO} = 600 A_w H^{1/2} \text{ [kW]}$$

$$\dot{Q}_{FO} = 600 \text{ kW / m}^{5/2} * 44,48 \text{ m}^2 * (2\text{m})^{1/2} \quad (3.3)$$

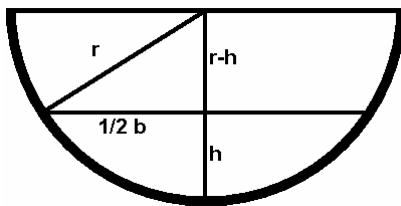
$$\dot{Q}_{FO} = 1357,65 \text{ kW}$$

Brenselsareal som funksjon av høyde i karet

Karets lengde er konstant, mens arealets bredde varierer med høyden. Dermed er arealet ved et gitt væsknivå, h, gitt ved:

$$A_f = l * b \text{ [m}^2\text{]}$$

$$A_f = l * 2 \sqrt{r^2 - (r - h)^2} \quad (3.8)$$

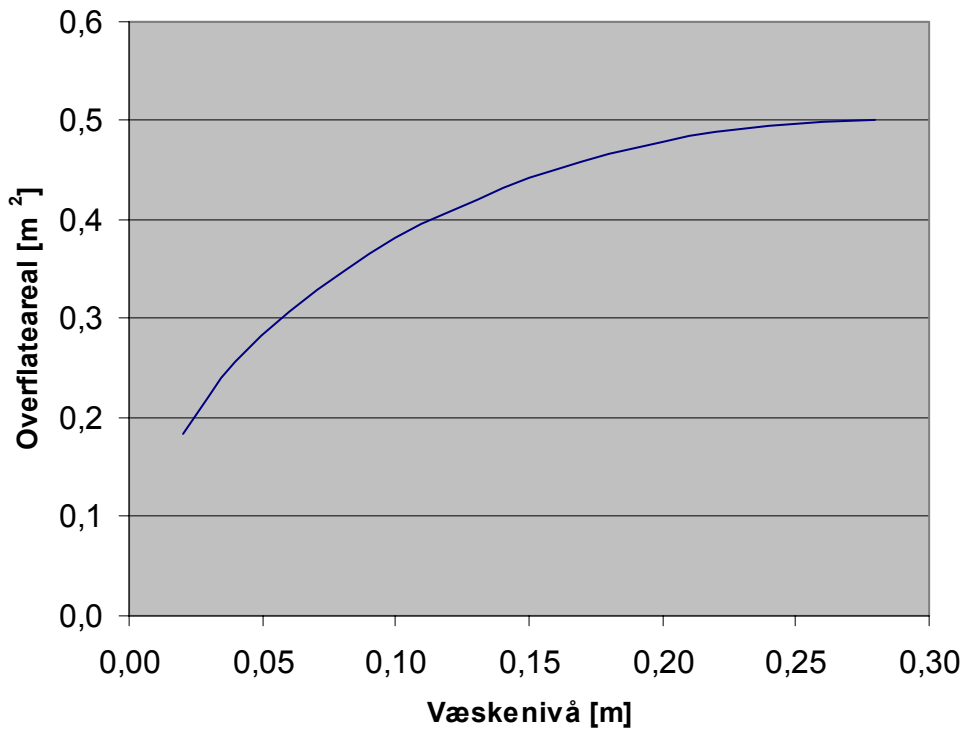


Figur 3.5 Brenselskar i fullskalaforsøk (oljefat delt på langs)

Med diameter på 0,57 m og en lengde på 0,88 m, gav karet følgende arealfordeling:

Tabell 3.3 Overflateareal som funksjon av væsknivå

Høyde i kar [m]	Overflateareal [m ²]	Tilsvarende d [m]
0,02	0,185	0,485
0,04	0,256	0,571
0,06	0,308	0,626
0,08	0,348	0,666
0,10	0,382	0,697
0,12	0,409	0,722
0,14	0,432	0,741
0,16	0,451	0,758
0,18	0,466	0,771
0,20	0,479	0,781
0,22	0,488	0,789
0,24	0,495	0,794
0,26	0,500	0,798
0,28	0,502	0,799



Figur 3.6 Kurve over overflateareal som funksjon av væskeniå

3.3 Forventet strålefluksnivå

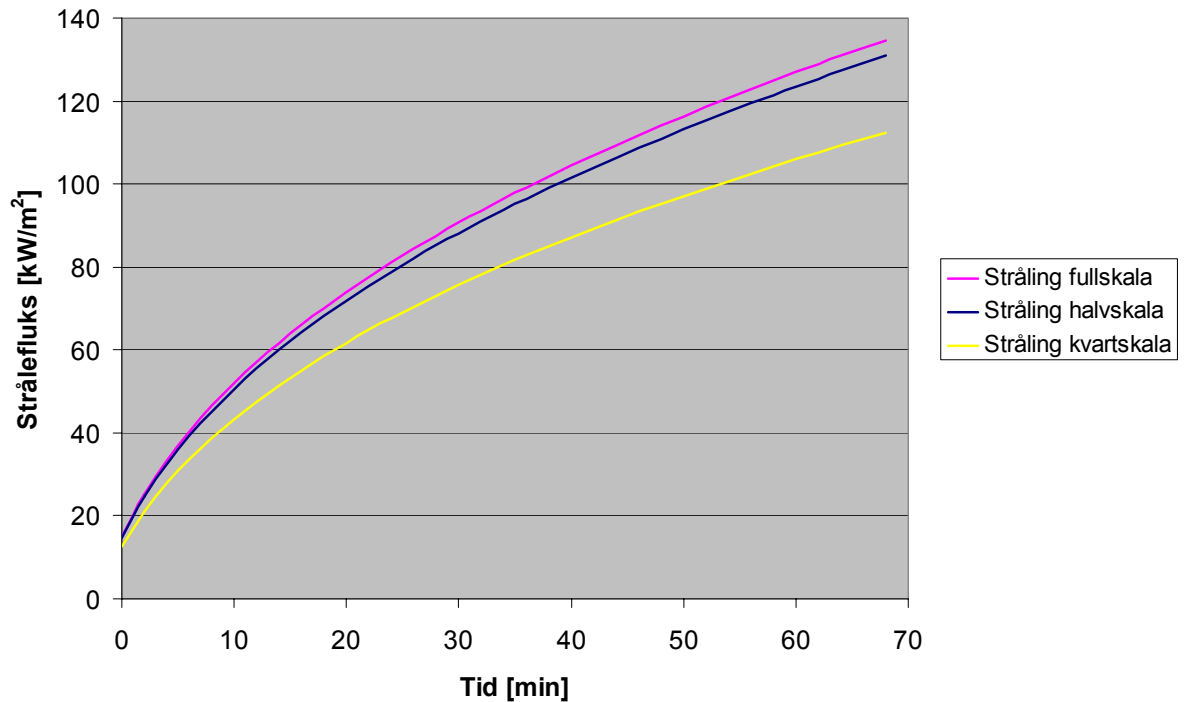
$$\varepsilon = 1 - e^{-KL} \quad [-] \quad (2.5)$$

Det antas at emisjonskoeffisient for n-heptan er tilnærmet lik bensin, og at diesel tilsvarende parafin. Tallene for bensin og parafin er hentet fra Tabell 5.4 [1].

Tabell 3.4 Beregnet emissivitet i de tre testrommene

Skala	Brensel	K	L	ε
1/4	n-Heptan	2,0	0,9	0,8347
1/2	n-Heptan	2,0	1,8	0,9727
1/1	Diesel	2,6	3,6	0,9999

Fra temperaturer gitt av ISO-kurven og beregnet emissivitet gis følgende strålefluksnivå:



Figur 3.7 Teoretisk strålefluksnivå etter ISO-kurven i kvart, halv og full skala

3.4 Teoretisk vannbehov for kjøling av duken

Før testene ble det gjort anslag på vannmengde for kjøling av duken. Beregningen er gjort ved å finne forholdet mellom stråling inn på duken og energien som trengs for å varme opp og fordampe vannet:

$$\dot{m}'' = \frac{\dot{q}_{\text{rad}}''}{C_p \cdot T + L_v} \text{ [g/s m}^2\text{]} \quad (3.9)$$

$$\dot{m}'' = \frac{140000 \text{ J/s m}^2}{4.18 \text{ J/g K} \cdot (373 - 293) \text{ K} + 2258 \text{ J/g}}$$

$$\dot{m}'' \approx 54 \text{ g/s m}^2$$

Beregningen viser vann fordampet på dukens eksponerte side med et strålefluksnivå på 140 kW/m². Med en densitet på 1000 kg/m³, tilsvarer dette 0,05 dm³/s m².

4. Testoppsett

Dette kapittelet vil gå inn på hvordan testene er gjennomført, og generelt beskrive forholdene rundt forsøkene i henholdsvis brannlaboratorium på HSH og forsøk på ResQ Sikkerhetssenter.

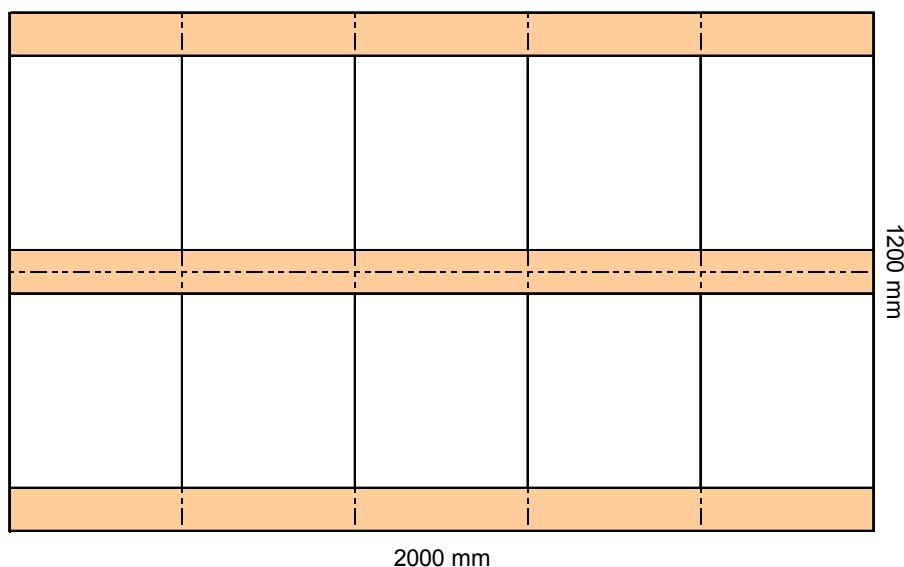
4.1 Innledende forsøk i halvskala ISO-rom

Testriggen ble bygd inne i et fullskala ISO-rom [5], med avtrekk på utsiden. Etter samtale med studenter som hadde gjort tester i 2/5-skala ISO-rom, kom det fram at 50 mm Siporex-plater kunne svikte ved høye temperaturer. Derfor ble riggen bygd av 100 mm tykke Siporex-plater (se Vedlegg B.3 Datablad for Siporex); 400 mm brede og 600 mm lange. Halv skala ISO-rom gir følgende innvendige mål: 1200 mm bredde, 1800 mm lengde og 1200 mm høyde. Ventilasjonsåpningen var 1000 mm høy og 400 mm bred.

4.1.1 Konstruksjon av testriggen

Gulv

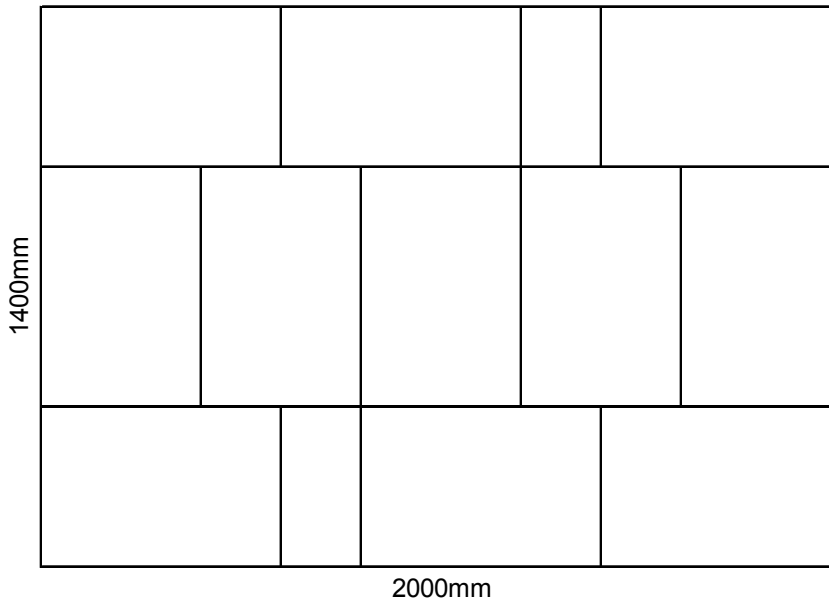
Det ble lagt opp ti steiner til gulvet. På disse ble tre planker (48 mm x 18 mm) lagt på langs for å holde gulvsteinene oppe (se Figur 4.1). Gulvet ble hevet 219 mm over bakkenivå, for å ha mulighet til å plassere en vekt under gulvet. Dette bedret også lufttilgangen til brannen.



Figur 4.1 Gulvkonstruksjon i halvskala, sett ovenfra

Sidevegger

Rommets sidevegger ble plassert utenfor gulvet, slik at de hvilte på plankene nevnt ovenfor. Veggene bestod av 13 steiner, satt sammen som vist i Figur 4.2. Denne arrangementen minimaliserte mengden unødvendig kapp. Kappet ble plassert mot midten av vegg for å unngå svakheter rundt ventilasjonsåpningen og ved duken.



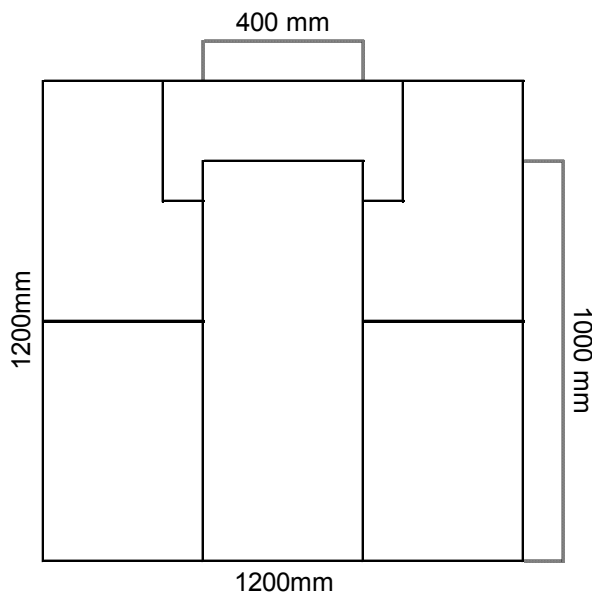
Figur 4.2 Steinoppsett i sidevegger i halvskala

Bakvegg

ISO-rommets bakvegg ble plassert mot ventilasjonsåpningen på fullskalarommet, for å sørge for lett tilgjengelighet til duken.

Frontvegg

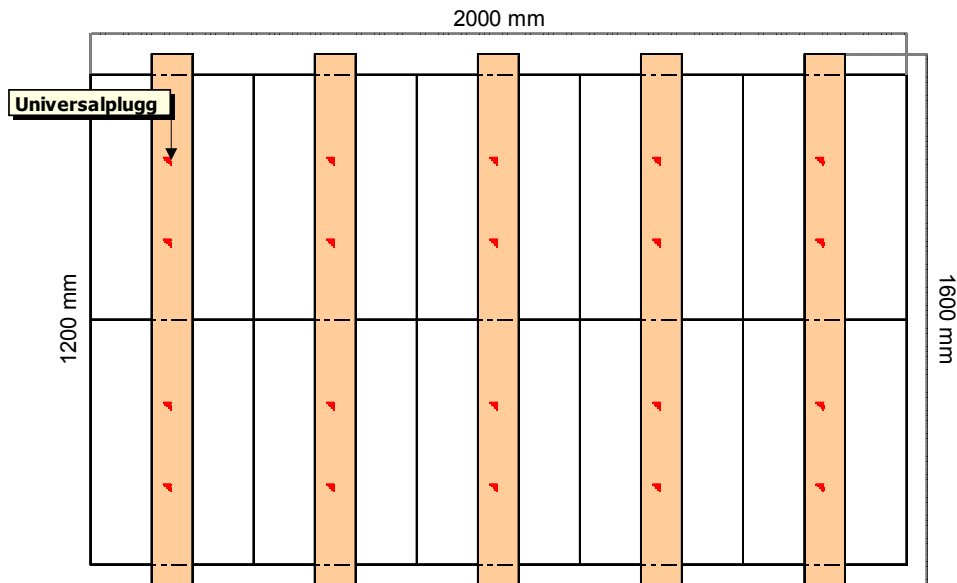
Fronten bestod av fem elementer. Ved å kutte tre av disse, ble ventilasjonsåpningen 1000 mm høy og 400 mm bred, sentrert i veggen (se Figur 4.3).



Figur 4.3 Frontvegg med ventilasjonsåpning

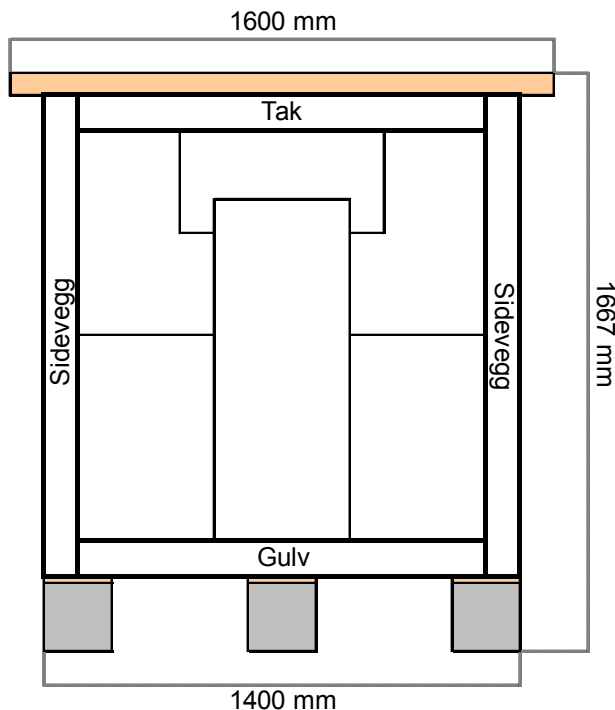
Tak

Taket ble bygd av fem elementer. Hvert element bestod av to Siporex-plater som ble holdt sammen av en 1600 mm lang, 48 mm x 96 mm bjelke, som vist i Figur 4.4. Etter grundig vurdering og utprøving av flere typer festeplugg, ble det benyttet universalplugg (se Vedlegg B.4 Datablad for gummiplugg) for å holde platene fast i planken. Dette ga muligheter for å bygge taket ferdig i elementer før sluttmontering.



Figur 4.4 De fem takelementene sett ovenfra

Gulvet og sideveggene hvilte på planker og steiner, mens front- og bakvegg ble plassert på gulvet. Taksteinene hvilte på front- og bakvegg, men ble også holdt opp av bjelkene som hvilte på sideveggene. Dette ga utvendige mål som vist i Figur 4.5.



Figur 4.5 Testriggerens utvendige mål, sett forfra

Mørtel (Tynd Fugelim) ble brukt som sparkel og feste mellom steinene. Dette ble gjort for å hindre utettheter, og for å styrke konstruksjonen.

4.1.2 Instrumentering innledende halvskalaforsøk

For å sikre tilgang på informasjon om forholdene i brannrommet, ble det brukt vekt og termoelementer. Disse verdiene ble logget på datamaskin for videre behandling.

Vekt

En vekt, Metler PJ 12, 12 kg, (se Vedlegg B.9 Produktinformasjon for vekt) ble plassert sentrert under testriggerens gulv. Inne i rommet ble det satt inn en plattform av aluminium for brenselkaret. Fire hull ble boret i gulvet for at plattformens ben skulle nå vekten. Treverket som holdte gulvet oppe gikk da mellom plattformens ben. Dette sikret god tilgang for kalibrering av vekten, og beskyttet vekten mot varmestråling fra røyklaget i rommet.

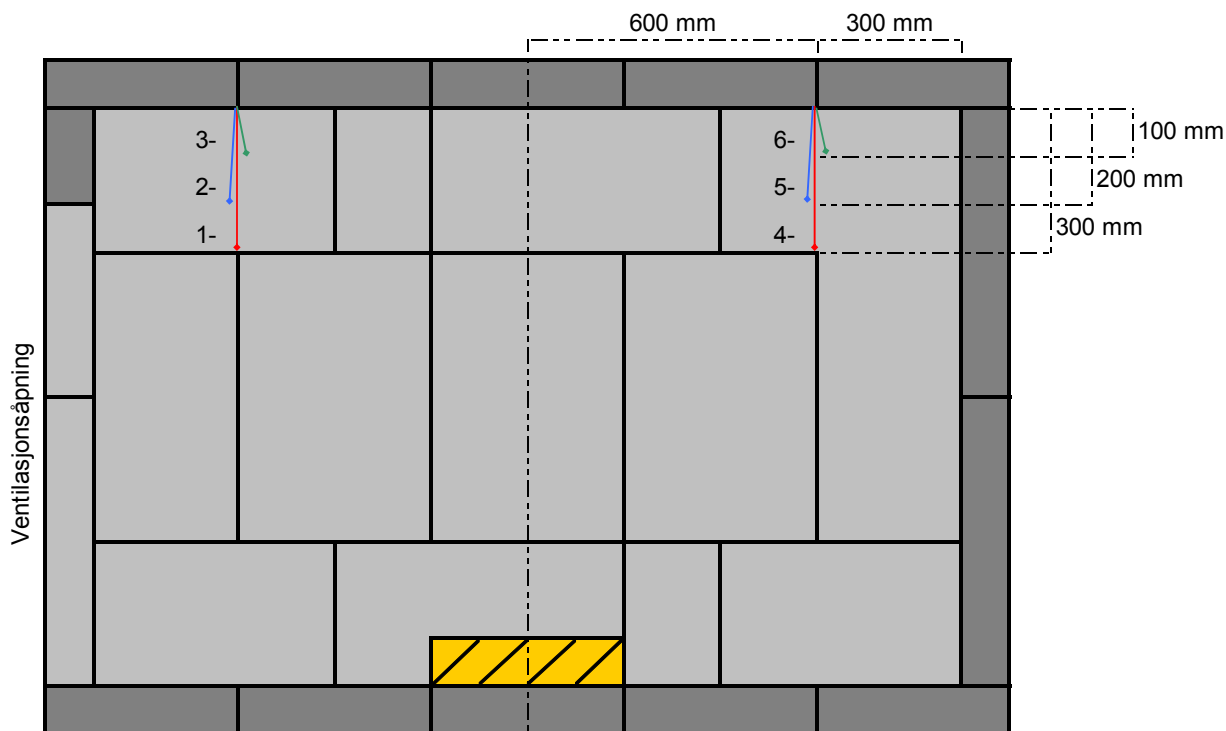


Figur 4.6 Vektens plassering under de innledende halvskalaforsøkene

Termoelementer

Temperaturen i brannrommet ga indikasjoner på hvilken belastning duken ble utsatt for. Dermed var disse tallene av stor interesse for prosjektet. Ved å plassere termoelementer et stykke fra brannen, finner man et tall som er mer representativt for dukens forhold. Ved plassering for nære duken, vil man få en for lav temperatur, da dukens vannkjøling vil redusere temperaturen betraktelig i dette sjiktet. Termoelementenes plassering ble også valgt for å kunne vurdere miljøet rundt duken kontra deler av rommet med mindre påvirkning fra duken.

Det ble brukt seks termoelementer av typen K, 1.5 mm, mantel (se Vedlegg B.8 Produktinformasjon for termoelement). Disse hadde en avstand på 100, 200 og 300 mm fra taket, og 600 mm (± 20 mm) fra sentrum av rommet (se Figur 4.7).



Figur 4.7 Plassering av termoelementer i halvskalaforsøkene

I tillegg til de seks termoelementene, ble det plassert ett i taket av fullskalarommet. Dette ble brukt til å overvåke temperaturen i fullskalarommets røyklag. Dermed kunne røyklaget kjøles ned før en eventuell overtenning.

Dataregistrering

Målingene ble registrert ved hjelp av dataprogrammet LABVIEW og en datalogger av type Fluke Hydra 2620 (se Vedlegg B.7 Produktinformasjon for datalogger). Det ble gjort logginger med tidsintervall fra to til fire sekunder.

4.1.3 Brensel

n-Heptan (se Vedlegg B.1 Datablad for n-heptan) er valgt som brensel da det gir en stabil brann.

I bunnen av karet er det lagt et tynt sjikt med vann for å få en plan overflate. n-Heptan er lettere enn vann, så vannet synker til bunnen. Innledende forsøk presentert i denne rapporten er gjort med n-heptan som brensel. n-Heptan er et hydrokarbon og mye brukt i brannforsøk, brenselinformasjon er derfor lett tilgjengelig i faglitteraturen. n-Heptan har en forbrenningsvarme på 44,59 KJ/g, dette gir 44,59 KJ energi frigjort ved forbrenning av 1 gram n-heptan.

Tabell 4.1 Oversikt over n-heptanens egenskaper

Forbrenningsvarme, ΔH_c	44,59 kJ/g
Forbrenningsvarme, $\Delta H_{c_{luft}}$	2,97kJ/g
Fordampningsvarme, L_v	0,318 kJ/g
Tetthet, ρ	675 kg/m ³
Kokepunkt n-heptan	98,4 °C

I testene ble det brukt brenselkar av metall, med diameter på 275, 320 og 395 mm. Karene ble sentrert i rommet.

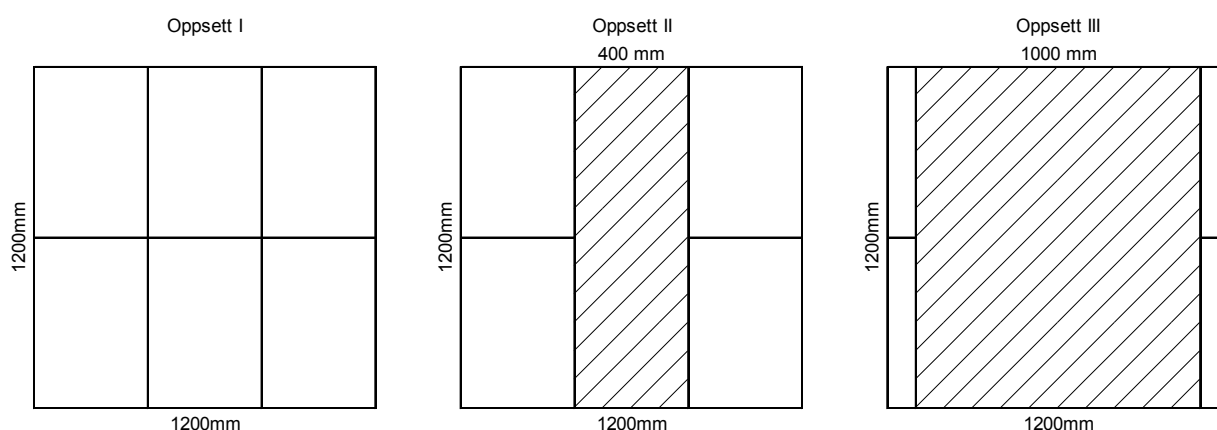
4.2 Halvskala ISO-rom

Visse forandringer var nødvendig før forsøkene med duk kunne gjennomføres. Dette underkapittelet vil gå nærmere inn på disse endringene.

4.2.1 Testriggeren

Konstruksjonen viste seg å være svært solid, så videre tester ble gjort i samme rom som er beskrevet under 4.1.1 Konstruksjon, med unntak av rommets bakvegg. Det ble brukt tre forskjellige oppsett på denne vegg:

- I. Tett vegg av 6 steiner
- II. To steiner mot sideveggene på hver side, med ramme og duk i den 400 mm brede åpningen i midten og full høyde, 1200 mm
- III. Åpen bakvegg med ramme og duk i 1000 mm bredde og full høyde (1000 mm x 1200 mm)



Figur 4.8 Forskjellige oppsett av bakveggen under halvskalaforsøkene (skravert felt er duk)

Duken ble holdt oppe av en ramme av tre. Fra tidlige forsøk ble det klart at det var påkrevd en klaring mellom rammen og dukens eksponerte område. Uten dette, ville

vannavkjølingen bli mangelfull, og duken svikte. Derfor ble rammene laget omtrent 50 mm bredere og høyere enn den eksponerte flaten.

I oppsett III ble det plassert to steiner på høykant ved sideveggene. Taket hvilte på bakplatene i de tidligere oppsettene, så det ble nødvendig med forbedret støtte da hele veggen ble fjernet.

4.2.2 Instrumentering halvskalaforsøk

Instrumenteringen i innledende forsøk fungerte tilfredsstillende. Derfor ble denne benyttet videre. I tillegg var det behov for å registrere strålefluks og brukt vannmengde. Strålefluksmeter og vannmengdemåler ble benyttet. Samme datalogger, dataprogram, vekt og termoelementer ble benyttet som i innledende forsøk.

Vekt

Ved overgangen til forsyningssystem (se kapittel 4.2.3 brensel), ble det ikke lenger mulig å måle massestrømmen direkte fra ISO-rommet. Vekten ble derfor plassert under lagringskannen for n-heptan, slik at det ble logget en tilnærmet massestrøm og totalforbruk.

Termoelementer

Termoelementene hadde samme plassering som i innledende forsøk (se Figur 4.7).

Strålefluksmeter

For å få best mulig sammenlikningsgrunnlag, ble strålefluksmetret plassert slik at det kunne stå i samme posisjon, selv om det ble gjort forandringer på ISO-rommets bakvegg. Strålefluksmetret (Schmetz-Boelter 0-50 kW/m², se Vedlegg B.5 Datablad for strålefluksmeter) var plassert sentrert over ventilasjonsåpningen, 100 mm ned fra taket. Isolasjon, aluminiumsfolie og vannkjøling sørget for å holde strålefluksmetret intakt. Strålefluksmetret ble kalibrert, dette er beskrevet i 4.4 Kalibrering av strålefluksmeter.

Vannmåler

Det ble benyttet en 1/2" Zenner vannmåler (se Vedlegg B.10 Produktinformasjon for vannmåler). Denne ble brukt for å finne totalt vannforbruk under fukting av duken.



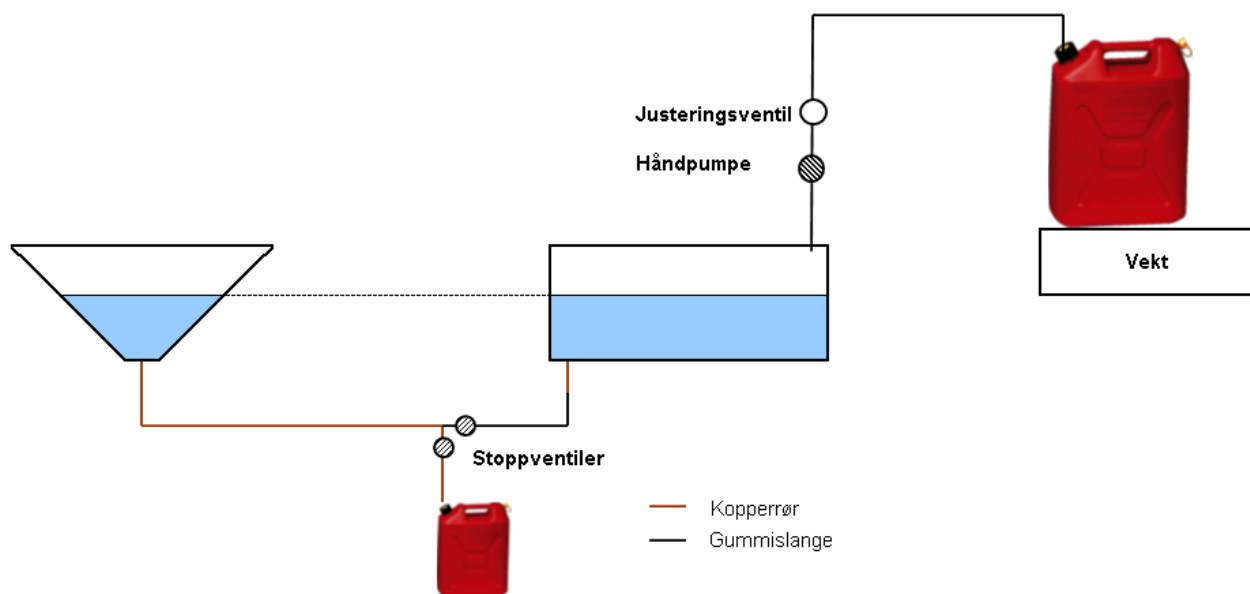
Figur 4.9 Zenner vannmåler ble benyttet til å måle vannforbruk

4.2.3 Brensel

I likhet med innledende forsøk, ble det også her benyttet n-heptan som brensel, men de runde brenselsskarene ble erstattet med et system for kontinuerlig mating av brensel (Figur 4.10). Dette systemet ble basert på utligningsprinsippet, og ble konstruert for å sikre full kontroll på brannens størrelse og varighet. Systemet bestod av:

- I. Jerrykanne med brensel på vekt
- II. Justeringsventil og håndpumpe
- III. Forsyningskar med anvisning av nivå i brenselskar
- IV. Brenselskar
- V. Dreneringsventiler og dreneringskar
- VI. Kopperrør og gummislanger

Se kapittel 3. Beregninger for sikkerhetsvurderinger, samt brenselareal og teoretisk branneffekt ved forskjellige væskeniå.



Figur 4.10 System for kontinuerlig mating av brensel

I. Jerrykanne med brensel på vekt

For å holde oversikt på hvor mye brensel som gikk med i forbrenningen, ble jerrykannen plassert på en vekt tilknyttet datalogger. Disse verdiene gav størrelsesorden på massetapsraten. Det var også tryggere å ha beholderen med brensel et stykke fra ISO-rommets åpning. Slangen fra jerrykannen til forsyningskaret, var festet på en slik måte at den ikke skapte forstyrrelser på vekten.

II. Justeringsventil og håndpumpe.

For å få systemet i gang, ble det plassert en håndpumpe mellom jerrykannen og forsyningskaret. Dette ble gjort av sikkerhetsmessige årsaker (helseskadelig, se Vedlegg B.1 Datablad for n-heptan), men også for å kunne øke brenselarealet

hurtigere. Justeringsventilen ble benyttet for å tilføre like mye brensel som ble brukt i forbrenningen i ISO-rommet.

III. Forsyningskar med anvisning av nivå i brenselkar

Væskeni vået i forsyningskaret var likt væskeni vået i brenselkaret ved stasjonære forhold. Dermed kunne anvisninger i forsyningskaret vise hvilket brenselareal som avdampet brennbar gass inne i ISO-rommet (se Figur 4.11)

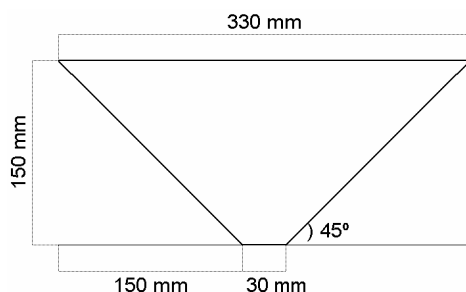


Figur 4.11 Nivåanvisninger i forsyningskaret

Det ble satt merker for 50, 70, 100 og 130 mm høyde i brenselkaret. Dette svarte da til henholdsvis 0,017, 0,029, 0,26 og 0,084 m². Merket for 130 mm ble brukt som maksimumsnivå for å unngå overfylling med påfølgende fare.

IV. Brenselkar

Karet som ble brukt ble sveiset av jern, og var 150 mm høyt og 330 mm bredt (se Figur 4.12). Dette gav et maksimalt areal på $\approx 0,11$ m². I karets bunn ble det boret 13 mm hull for montering av halvtoms overgangsmuffe. På denne ble det koplet til et kopperrør som ble ført under ISO-rommets gulv.



Figur 4.12 Tverrsnittsnitt av brenselkaret i halvskalaforsøkene

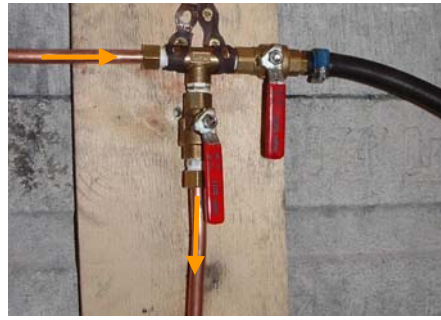
Karets fire sidevegger var vinklet 45 ° opp fra gulvet. Dette gjorde det mulig å justere brenselarealet. Karet var sentrert i rommet.

V. Dreneringsventiler og dreneringskar

Mellom forsyningskaret og brenselkaret ble det plassert et T-rør med to kuleventiler. Med disse ble det mulig å raskt stanse brenseltilførselen til ISO-rommet, og samtidig tappe ned fra brenselkaret.



Figur 4.13 Ventilenes normalstilling



Figur 4.14 Ventilenes tappestilling

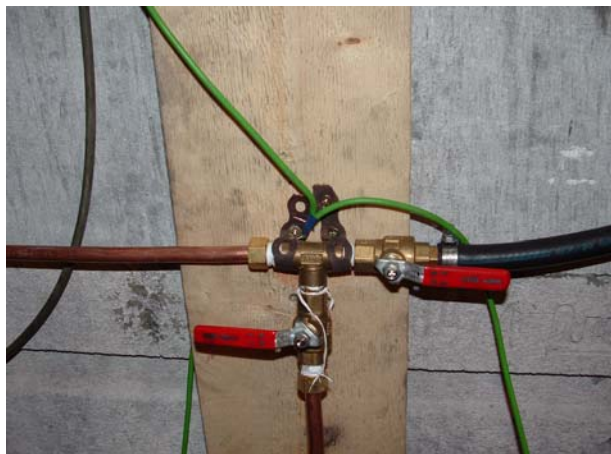
Figur 4.13 viser ventilenes normalstilling ved testing. Pilene viser brenselets strøm fra forsyningskaret til brenselkaret. Dreneringsventilen er stengt.

Figur 4.14 viser ventilenes stilling dersom noe skulle være galt, eller andre forhold som nødvendiggjorde hurtig reduksjon av brenselarealet. Brenseltilførselen fra forsyningskaret stenges, mens brenselet fra ISO-rommet dreneres til en jerrykanne (se 3 Beregninger, Sikkerhetsvurdering ved tapping av brenselkar).

VI. Kopperrør og gummislanger

Det ble benyttet 10 mm glødd kobberør hvor brenselet kunne ha høy temperatur. Det vil si mellom T-rør og jerrykanne, og mellom brenselkar og jerrykanne. Rørene inne i ISO-rommet ble isolert for å unngå fordamping av brensel. Hvor temperaturforholdene tillatte det, ble det bruk 10 mm nitrik oljeslange. For å forhindre lekkasjer, ble det benyttet gjengetape i alle skjøter.

Alt metall som var i kontakt med brenselet var jordnet i henhold til datablad for n-heptan, for å unngå uønsket antennelse på grunn av statisk elektrisitet. (se Figur 4.15 og Figur 4.16).



Figur 4.15 Jording av ventiler



Figur 4.16 Jording av forsyningskar

4.3 Forsøk i fullskala på ResQ Sikkerhetssenter

Forsøk i fullskala ISO-rom ble gjennomført for å oppnå mer realistiske strålefluksnivå mot duken (jfr. Ligning 2.5). Forsøkene ble gjennomført ved ResQ Sikkerhetssenter i Haugesund. Dette kapittelet vil omhandle testtriggen for fullskalaforsøkene.

4.3.1 Testtriggen

Fullskala ISO-rom av lettbetong ble benyttet. Rommet, som var delt på langs med en stålvegg, hadde målene 3600 mm x 2400 mm x 1200 mm (lengde x høyde x bredde). Rommets bakvegg ble slått ut for å gjøre plass til en duk med eksponerte areal på 2400 mm x 1200 mm (se Figur 4.17).



Figur 4.17 Modifisering av fullskala testtrigg

For å redusere ventilasjonsåpningen, ble det satt opp en vegg av lettbetong mot stålveggen, slik at åpningen tilsvarte et fullskala ISO-rom (2000 mm høy og 800 mm bred).

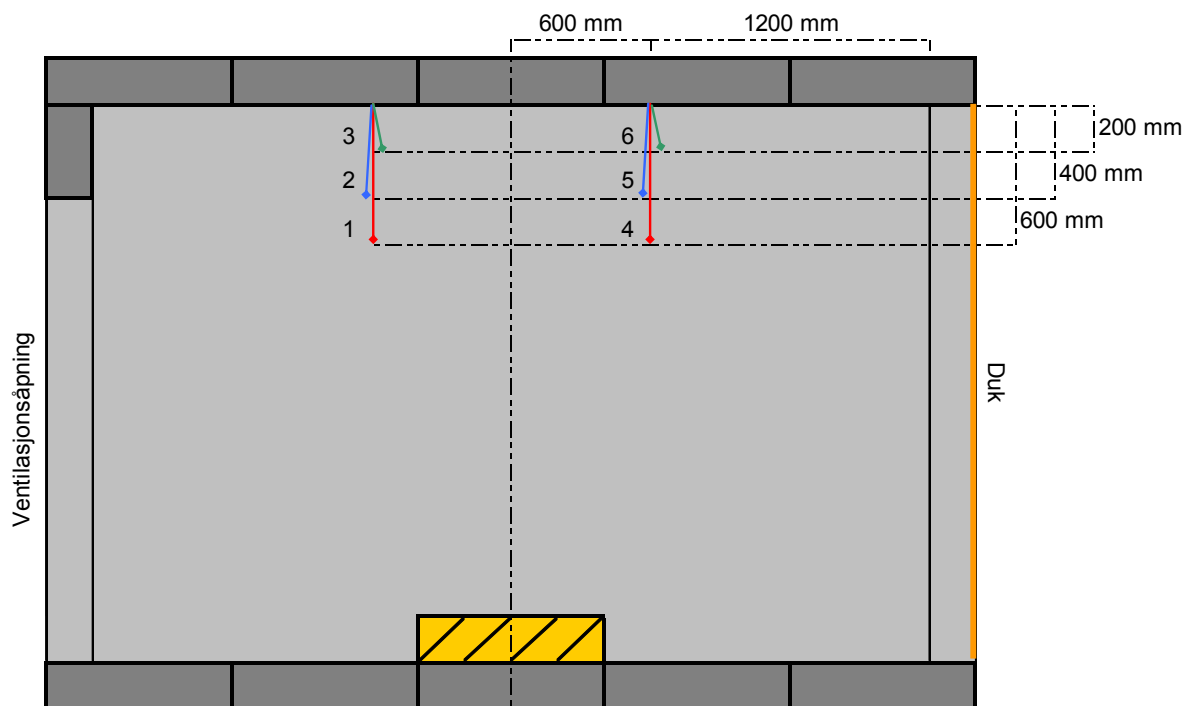
4.3.2 Instrumentering

For å innhente data fra forsøkene ble følgende instrumentering brukt:

- Termoelementer
- Strålefluksmeter
- Datalogger og datamaskin

Termoelementer

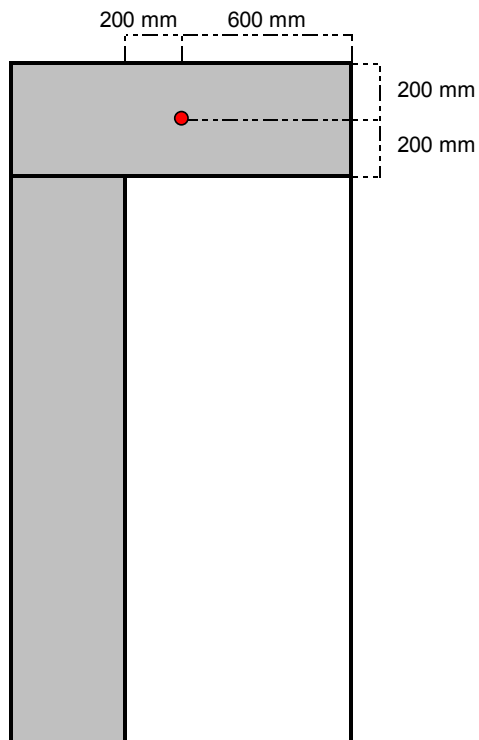
Også i fullskala forsøkene ble det benyttet 6 termoelementer av typen K, 1.5 mm, mantel. Disse ble plassert 200, 400 og 600 mm fra taket, 600 mm fra sentrum av rommet, som vist i Figur 4.18. I tillegg ble det benyttet et syvende for å logge ute-temperaturen.



Figur 4.18 Plassering av termoelementer i fullskalaforsøkene

Strålefluksmeter

Det ble benyttet et strålefluksmeter av samme type som i halvskalforsøkene. Dette ble plassert over ventilasjonsåpningen, 200 mm ned fra taket og sentrert på rommets bredderetning (se Figur 4.19). For å forhindre overoppheting og skade på instrumentet, ble det benyttet fiberisolasjon, aluminiumsfolie og vannkjøling (se Figur 4.20). Se kapittel 4.4 for kalibrering.



Figur 4.19 Plassering av strålefluksmeter i fullskala



Figur 4.20 Isolering av strålefluksmeter og føring av kabler

Datalogger og datamaskin

Det ble benyttet samme datalogger og dataprogram som tidligere forsøk (se 4.1.2). Dette utstyret ble plassert ved testtriggen, for å unngå feilkilder som følge av skjøteledninger. Det ble lagt plast over utstyret for å beskytte det mot vannskader.

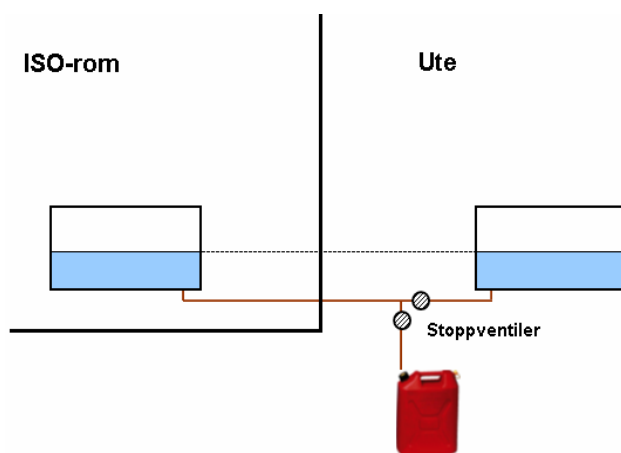
4.3.3 Brensel

Det ble benyttet både diesel og n-heptan som brensel (se Figur 4.21). Det ble benyttet oljefat som brenselskar. For dieselen ble fatet kappet på langs, slik at maksimalt areal ble (880 mm x 570 mm \approx) 0,5 m². Dette gav altså muligheten til å variere arealet med høyden i karet. I tillegg ble det benyttet et kar med n-heptan som målte 570 mm i diameter. Dette gav et maksimalt areal på 0,26 m². For å sørge for en mer langvarig brann, ble arealet redusert til halvparten ved å legge en metallplate over sekundærkaret. Diesekaret var plassert midt i rommet, med sekundærkaret nærmere åpningen.



Figur 4.21 Brenselskar og sekundærkar i fullskala

For å ha muligheten til å etterfylle brensel ble det også her konstruert et tilførsels-system. Etter suksess fra halvskalaforsøkene, ble et tilsvarende system konstruert til fullskalaforsøkene (se Figur 4.22). Fylling i forsyningskaret ble gjort direkte ved hjelp av pumpesystemet på øvelsesfeltet.



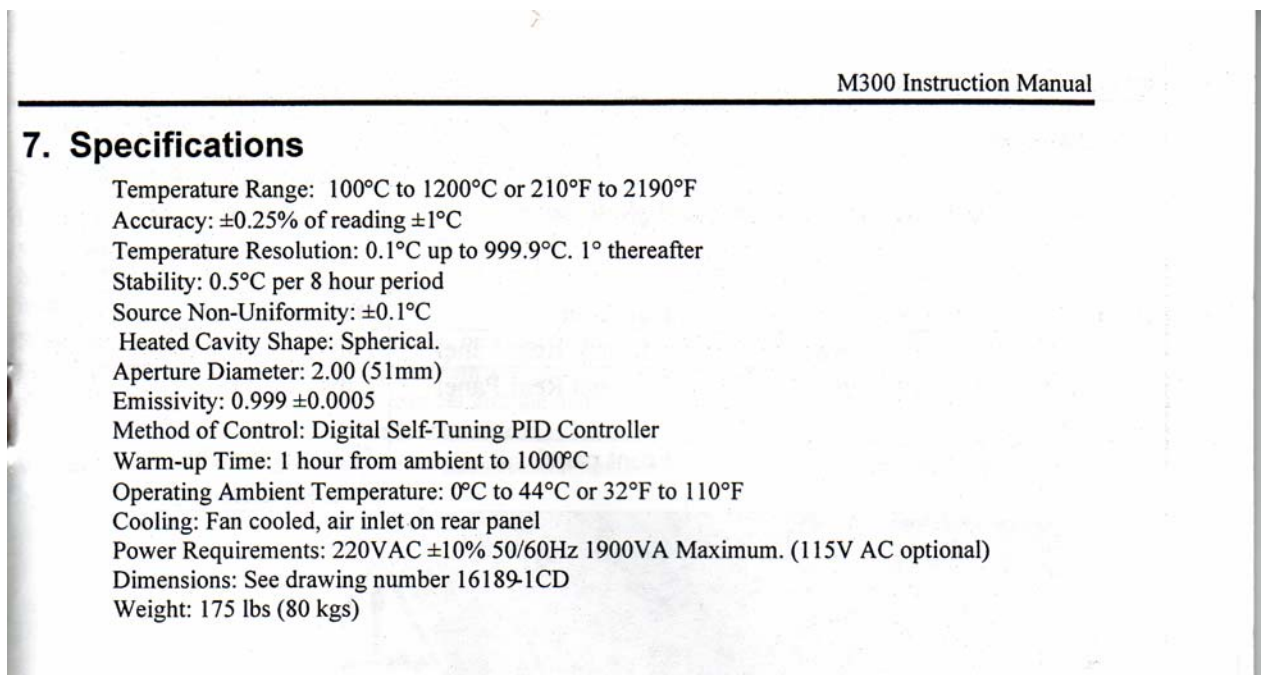
Figur 4.22 System for kontinuerlig mating av brensel



Figur 4.23 Ventiler for tapping av brensel

4.4 Kalibrering av strålefluksmeter

På grunn av store avvik mellom målte og beregnede verdier, ble det gjennomført en kalibrering av fluksmetret. Dette ble gjort i høyskolens kalibreringsovn av typen Mikron M300.



Figur 4.24 Spesifikasjoner fra brukerveiledningen til kalibreringsovn Mikron M300 [6]

Ved kalibrering ble det benyttet samme datalogger og program som i forsøkene.



Figur 4.25 Oppsett under kalibrering av strålefluksmeter

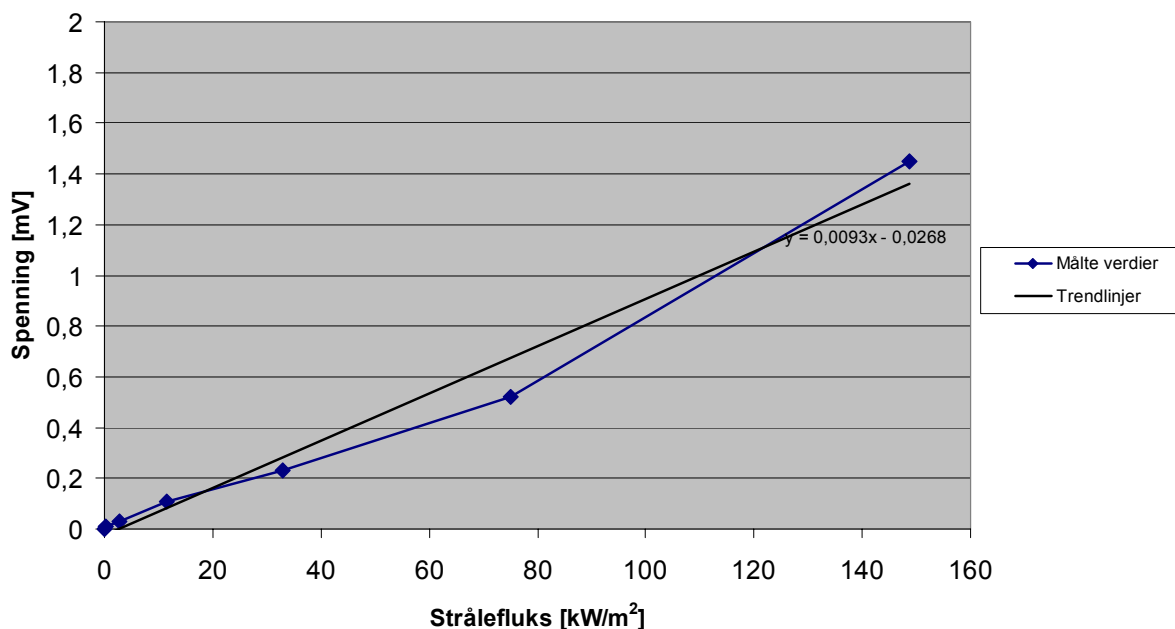
Strålefluksmetret ble testet i 6 temperaturnivå; 20, 200, 400, 600, 800 og 1000 °C (se Tabell 4.2). Spenningen ble logget, og deretter ble strålefluksnivået beregnet fra ligning 2.4.

Tabell 4.2 Resultater fra kalibrering

Temperatur °C	Målt spenning mV	Beregnet stråling kW/m ²
20	0,01	0,42
200	0,03	2,84
400	0,11	11,62
600	0,23	32,90
800	0,52	75,08
1000	1,45	148,75

Kalibrering av 50 kW/m² strålefluksmeter - 05.08.05

Ny faktor: 0,0093 mV/(kW/m²) - serienr.: 121623



Figur 4.26 Kalibreringskurve

Som vist i figuren, ble omformingsfaktoren endret fra 0,0656 mV/(kW/m²) til 0,0093 mV/(kW/m²). Dermed ble de målte verdiene 7 ganger høyere, og stemte godt overens med de beregnede verdiene.

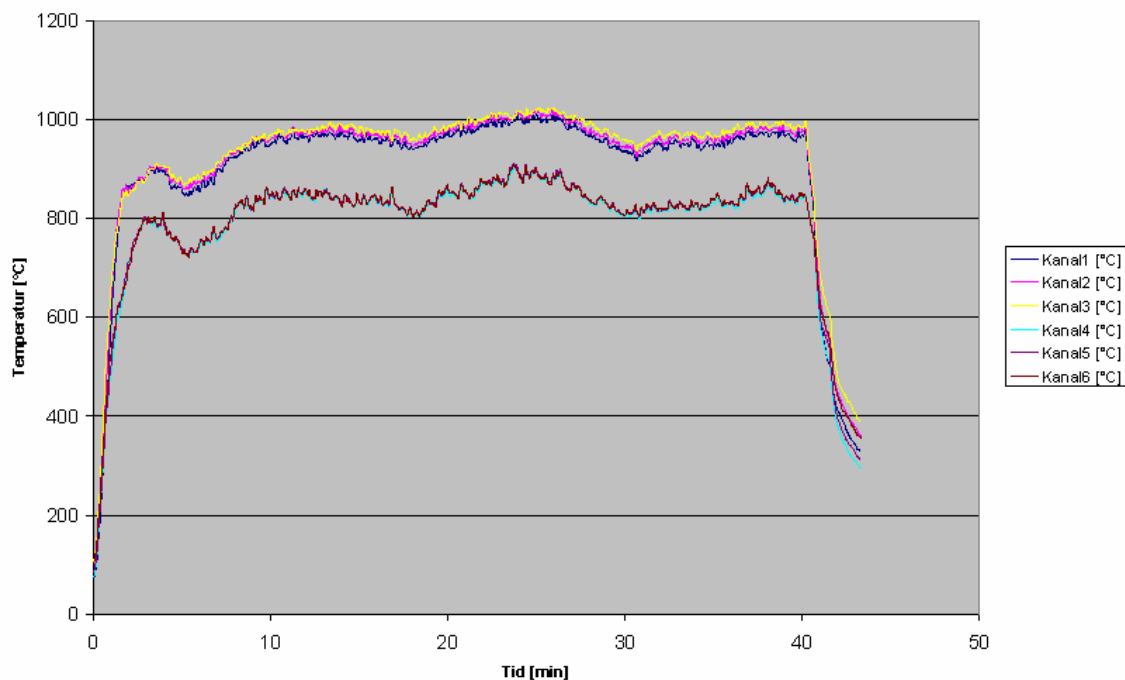
5 Testresultater

Alle grafer presentert i dette kapitlet er temperatur [°C] eller strålefluks [kW/m²] per tid. Kurver med strålefluks er glattet for å bedre leseligheten.

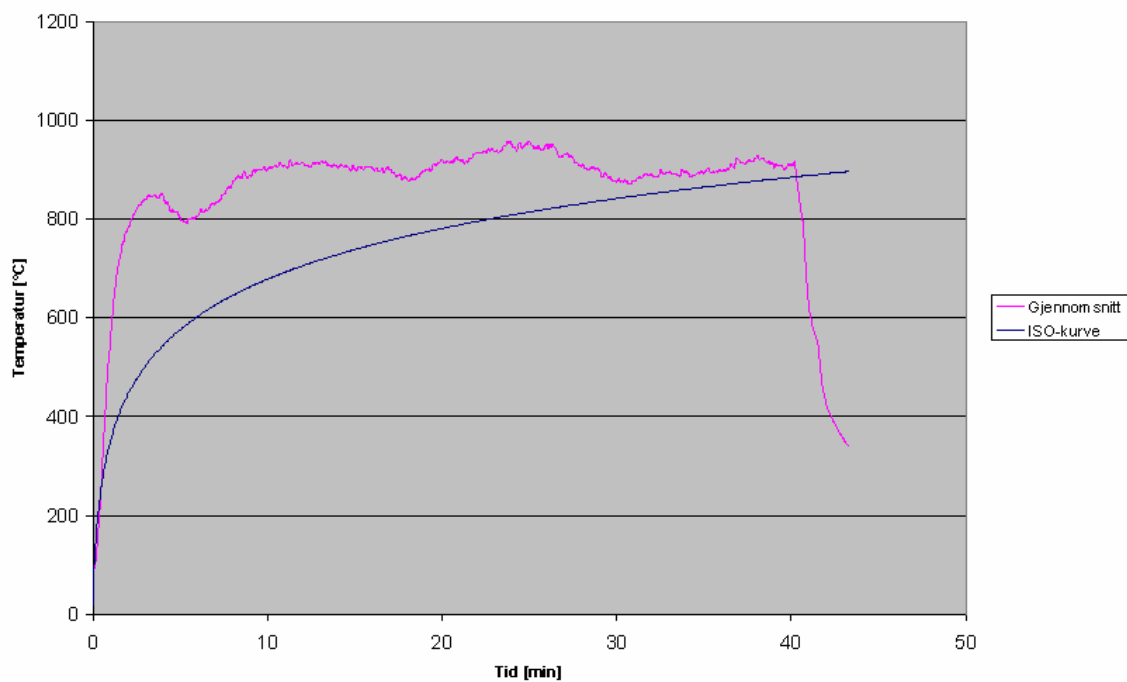
5.1 Halvskala ISO-rom 400 mm bred duk

Forsøk 22

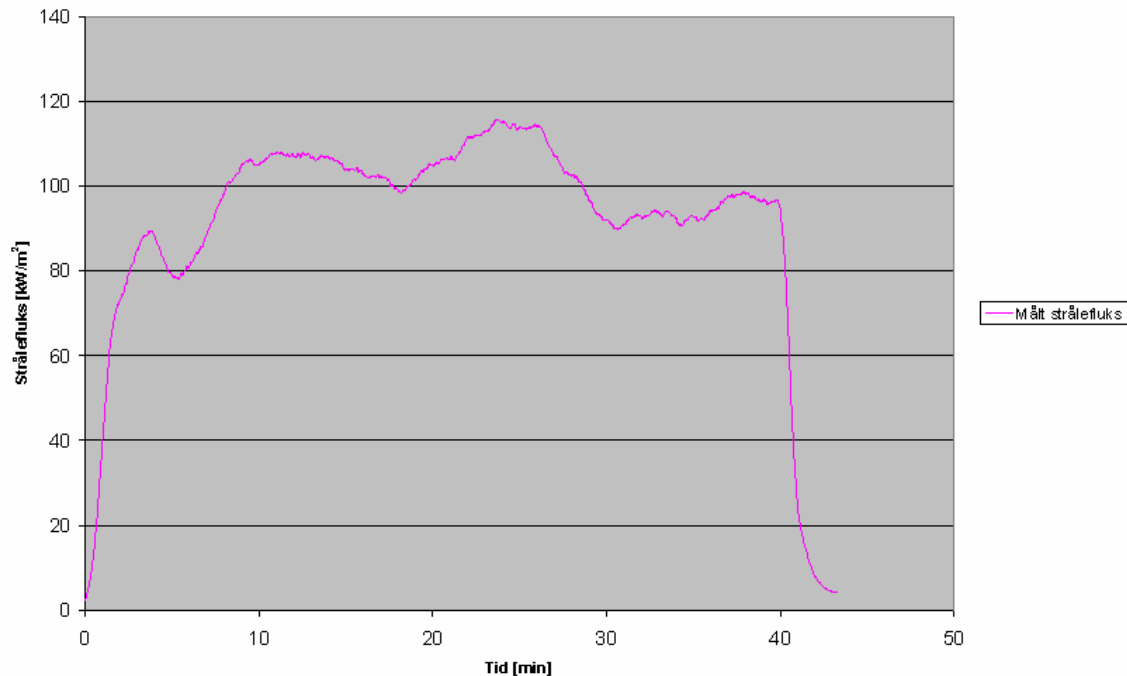
Etter 36 minutter og 40 sekunder fikk duken en skade i øvre venstre hjørnet grunnet manglende vanntilførsel. Duken holdt godt etter dette til tross for skaden i hjørnet.



Figur 5.1 Temperaturer fra forsøk 22 (halvskala)



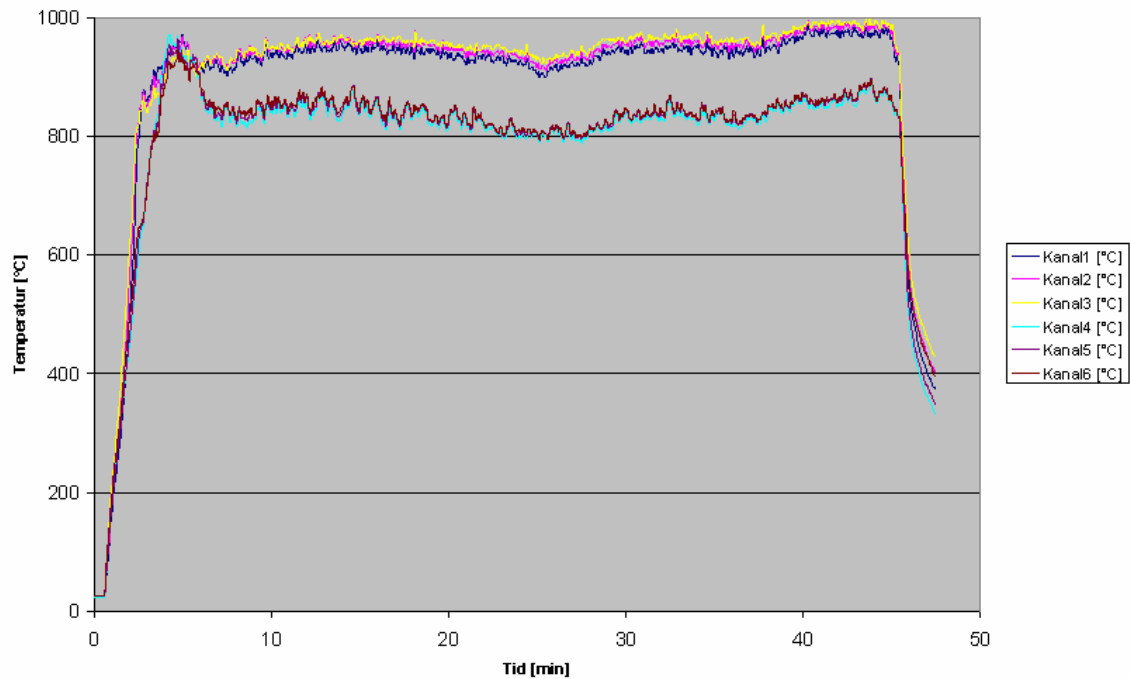
Figur 5.2 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 22 (halvskala)



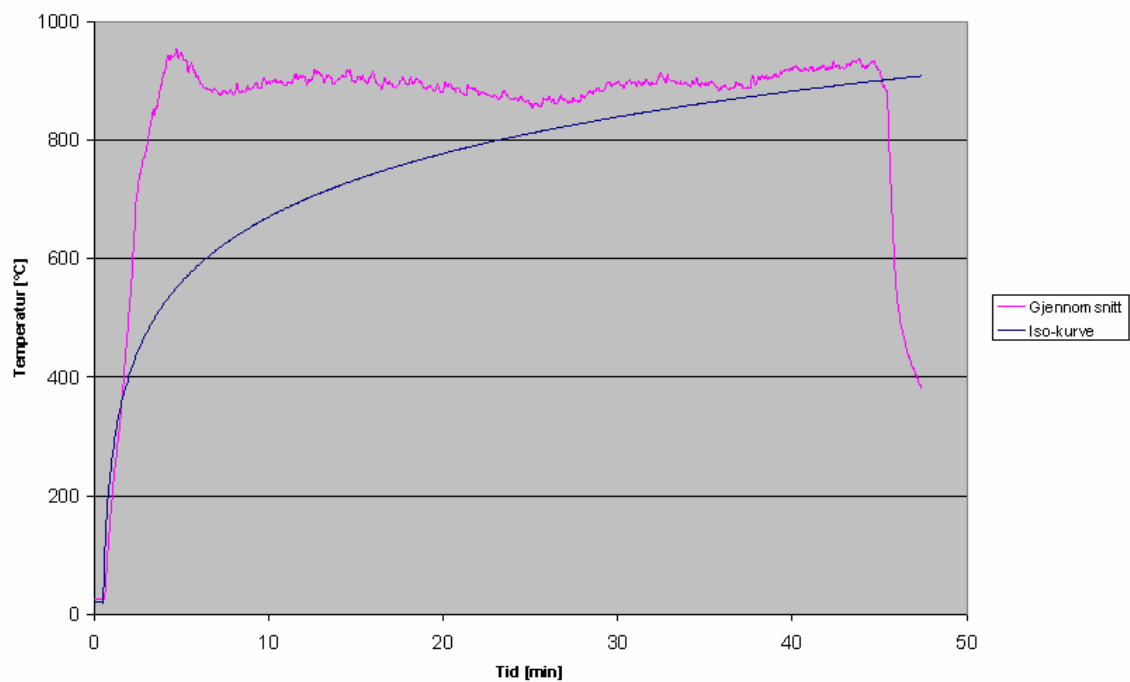
Figur 5.3 Målt strålefluks fra forsøk 22 (halvskala)

Forsøk 23

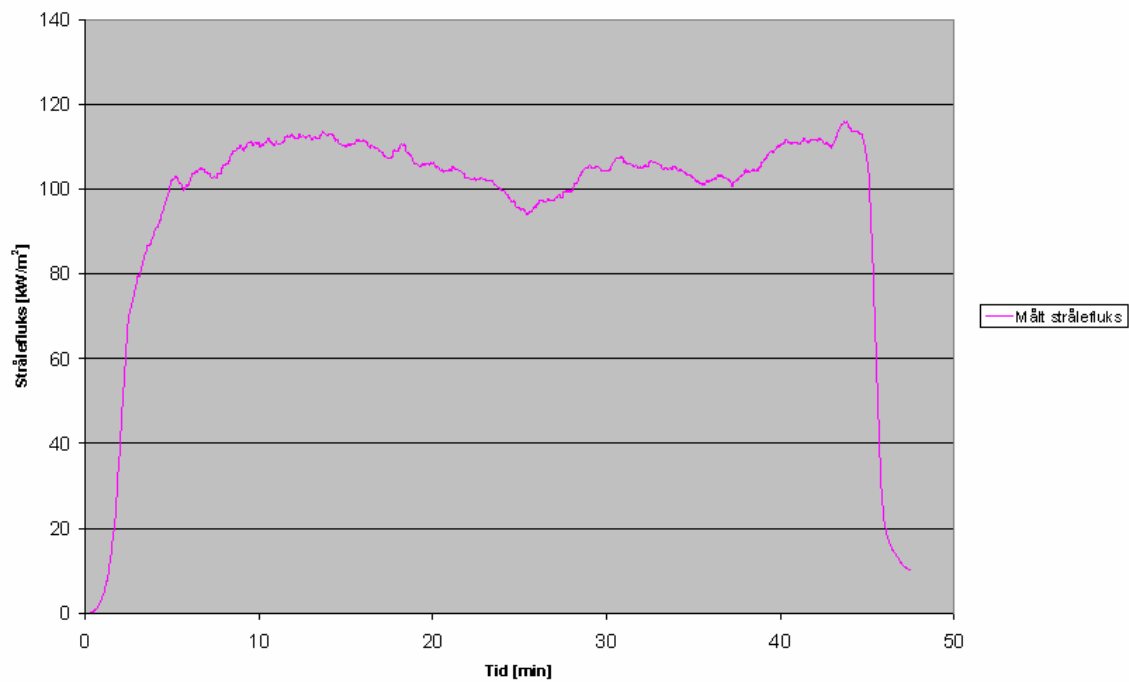
Duken holdt i 43 minutter, men brøt sammen på grunn av manglende vanntilførsel.



Figur 5.4 Temperaturer fra forsøk 23 (halvskala)



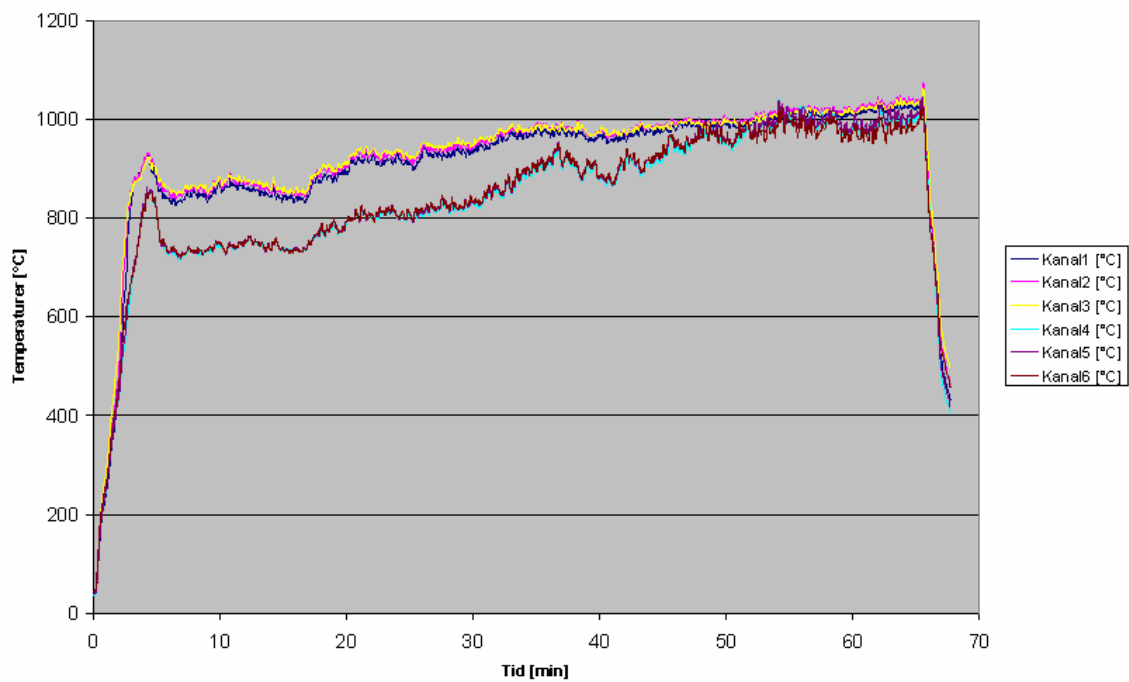
Figur 5.5 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 23 (halvskala)



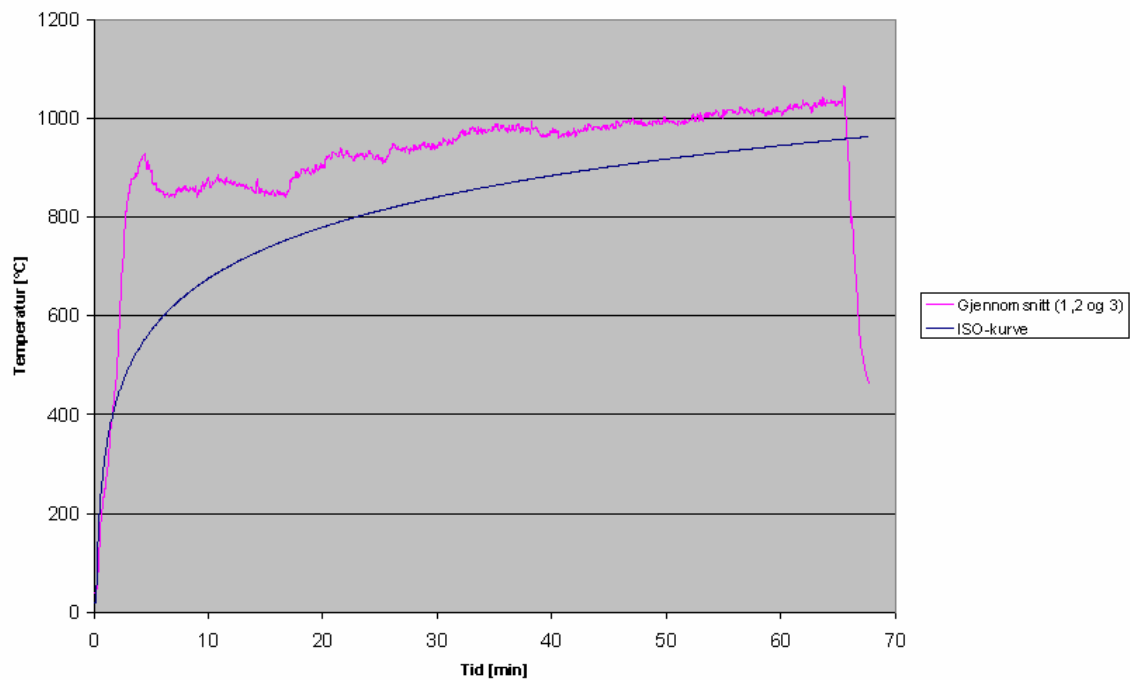
Figur 5.6 Målt strålefluks fra forsøk 23 (halvskala)

Forsøk 24

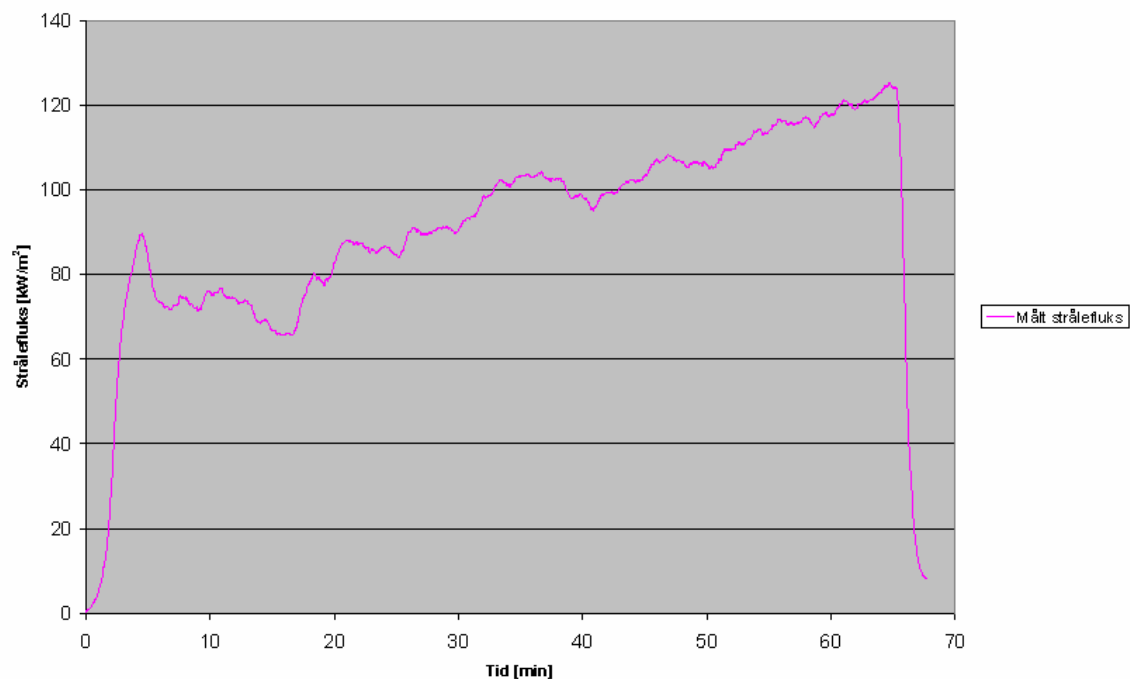
Duken holdt gjennom hele forsøket som varte i 61 minutter, før forsøket ble avsluttet.



Figur 5.7 Temperaturer fra forsøk 24 (halvskala)



Figur 5.8 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 24 (halvskala)
Gjennomsnittet er kun beregnet fra termoelement 1-3.

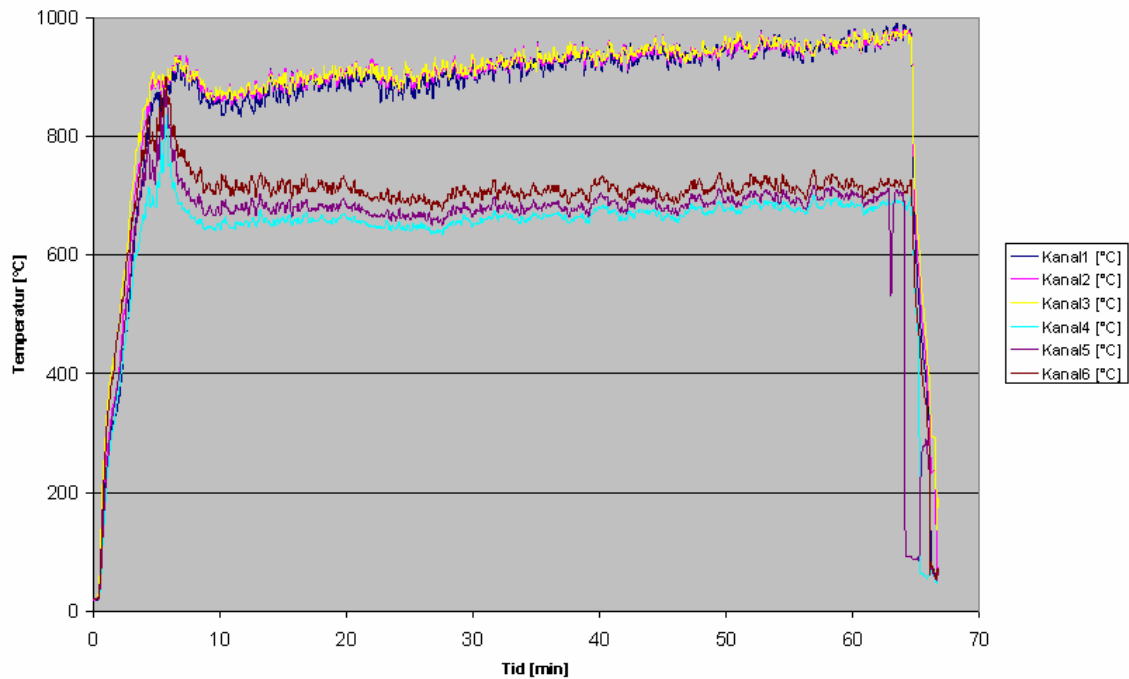


Figur 5.9 Målt strålefluks fra forsøk 24 (halvskala)

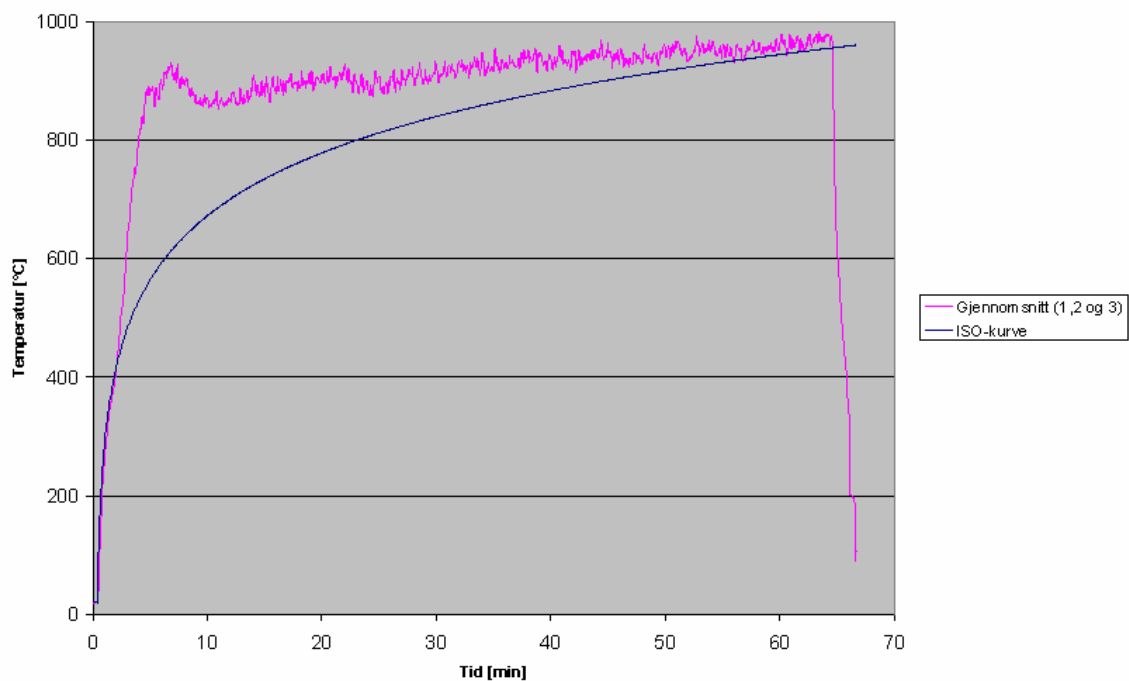
5.2 Halvskala ISO-rom 1000 mm bred duk

Forsøk 25

Duken holdt gjennom hele forsøket som varte i 65 minutter, før forsøket ble avsluttet.

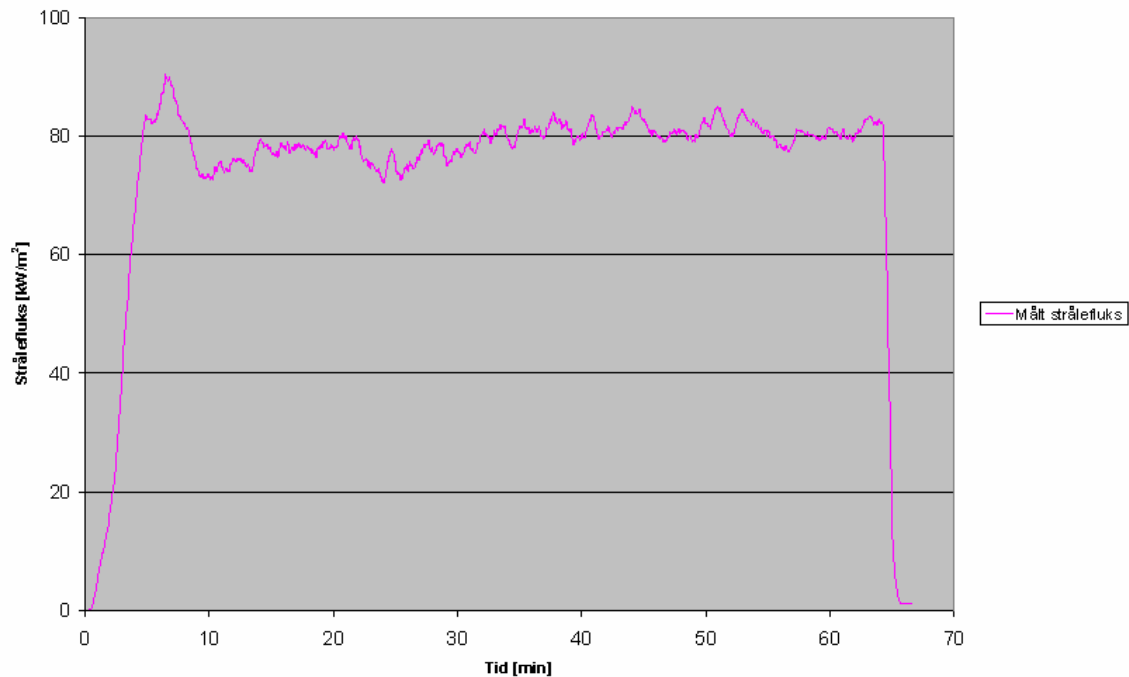


Figur 5.10 Temperaturer fra forsøk 25 (halvskala)



Figur 5.11 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 25 (halvskala)

Forsøk med 1000 mm bred duk førte til at termoelementene nærmest duken ble påvirket av vannkjølingen. Gjennomsnittet er derfor kun beregnet fra termoelement 1-3.

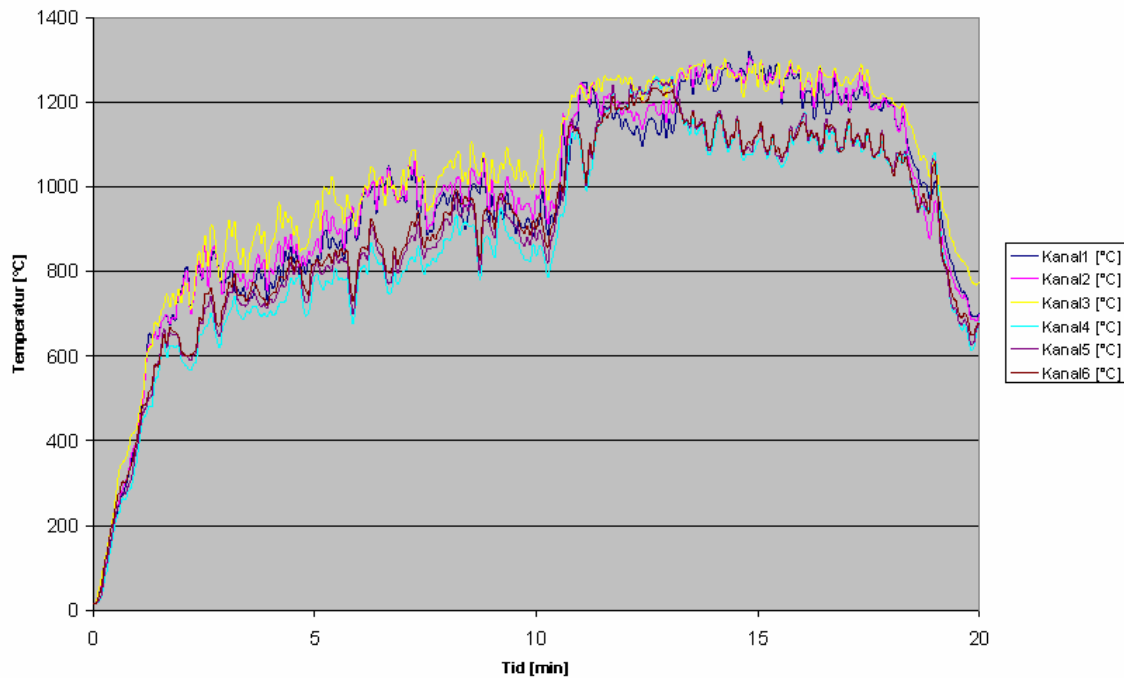


Figur 5.12 Målt strålefluks fra forsøk 25 (halvskala)

5.3 Fullskala ISO-rom 1200 mm bred duk

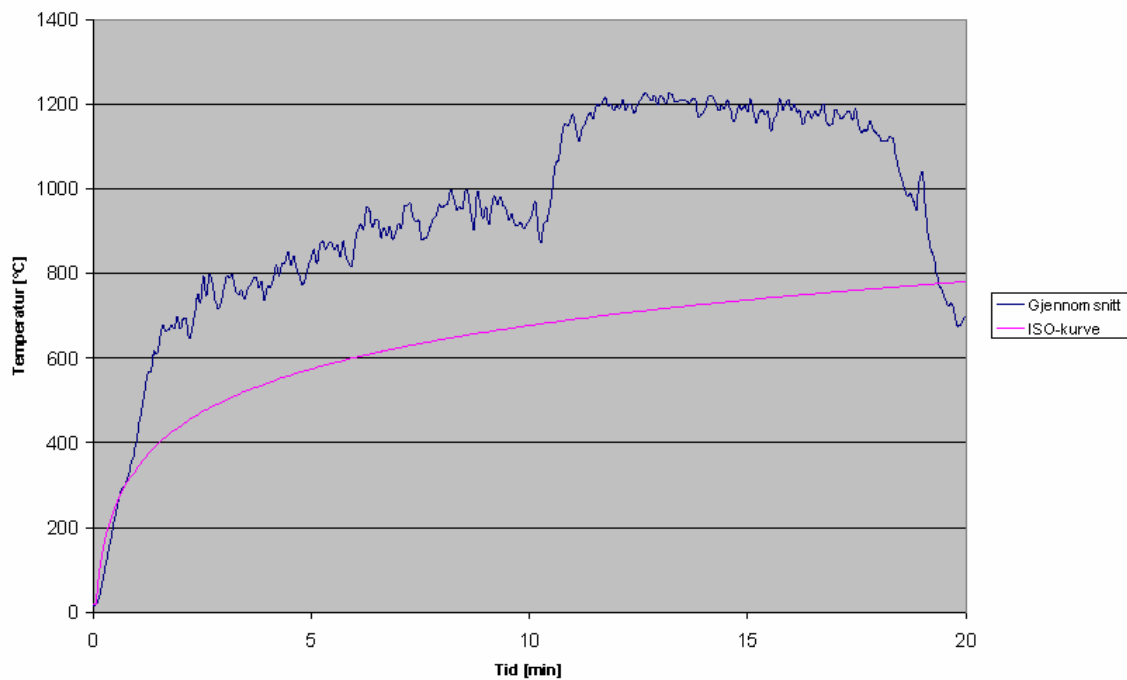
Forsøk 28

Forsøk ble kjørt med diesel som primært drivstoff, og n-heptan som sekundært drivstoff. Duken holdt gjennom hele forsøket.

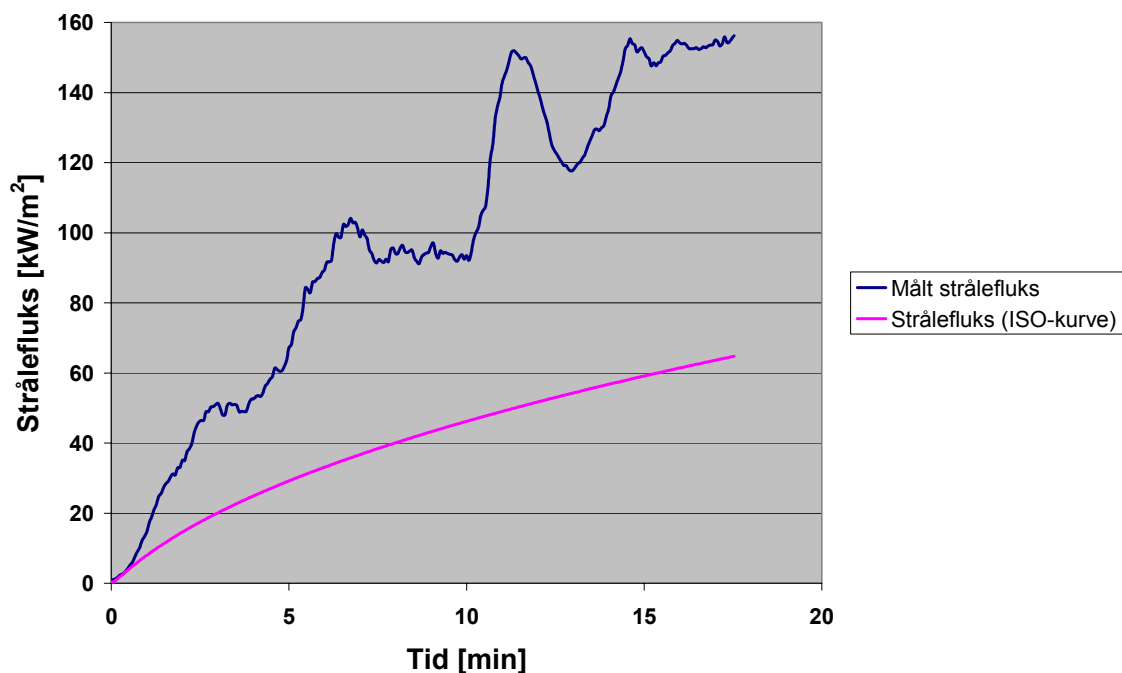


Figur 5.13 Temperaturer fra forsøk 28 (fullskala)

Som man ser av grafen får temperaturene et hopp fra ~800 til ~1200 °C. Dette kan komme av flere faktorer: økt lufttilgang som følge av deformasjon av stålveggen i testrommet, veggene er mettet og tap av varme til disse minker og økt massefluks grunnet mer tilbakestråling til brenselkaret. Gruppen har ikke vurdert dette videre da vi hele tiden ligger over ISO-kurven. Etter 17 minutter ser man et fall i temperaturene, ved dette tidspunkt var sekundærkaret tomt for n-heptan.



Figur 5.14 ISO-kurve og gjennomsnittstemperaturer fra forsøk 28 (fullskala)



Figur 5.15 Strålefluks fra forsøk 28 og strålefluksnivå beregnet fra ISO-kurven (fullskala)

Kurven med strålefluks fra ISO-kurven er beregnet med emissivitet og konfigurasjonsfaktor satt til 1. Dette gir høyere verdier enn en standard testovn ville ha gitt. Igjennom hele forsøket var målte verdier for strålefluks høyere enn beregnet verdier fra ISO-kurven. Grafen for målt strålefluks er i flere minutter høyere enn beregnet strålefluksnivå fra ISO-kurven ville vært etter en time (125 kW/m^2).

6 Diskusjon

Dette kapittelet vil belyse forholdene som lå til grunn for de registrerte resultatene. I tillegg vil det foreslås hvilket arbeid som gjenstår før dette produktet kan settes i produksjon.

6.1 Generelt

Instrumentering

Instrumenteringen viste seg å være godt egnet til denne oppgaven. Det var noe lavere temperatur nærmest duken på grunn av vannkjølingen. Derfor ble det hensiktsmessig å plassere termoelementene slik i rommet at det ble gitt et reelt bilde av brannen. Alle de seks termoelementene ble benyttet i beregningene av gjennomsnittstemperaturer i kapittel 5 Testresultater. Dette ble ikke gjort i test 24 (Figur 5.8) og test 25 (Figur 5.11), hvor kun termoelementene nærmest ventilasjonsåpningen (1, 2 og 3) ble brukt i beregningen.

Vekten fikk en ny rolle etter innføringen av systemet for kontinuerlig mating av brensel. Den ble brukt til å indikere væsknivået i jerrykanna, og massestrømmen fra denne. Det ble ikke benyttet vekt i fullskala.

Det tilgjengelige fluksmetret hadde et arbeidsområde opp til 50 kW/m^2 . Forventede verdier lå over dette, men høy toleranse for feilmarginer tillatte bruk av dette instrumentet. Fluksmetret ble kalibrert for å redusere denne feilmarginen. Da fullskalaforsøkene var av størst betydning, ble kalibreringen gjort etter disse.

Duken

Målet var å tilføre så mye vann på duken at den til enhver tid var tilstrekkelig fuktig. Det ble diskutert hvorvidt kjøling fra én side av duken ville holde. Dette viste seg å være tilstrekkelig under de oppnådde temperatur- og strålefluksnivå. Vannet som ble brukt til kjølingen ble påført manuelt, og det ble observert store mengder over-skuddsvann. Med tilpassede dyser og vanntrykk er det rimelig å anta at vannforbruket kunne vært langt lavere, ned mot 50 %.

Dukens utseende etter gjennomførte forsøk var så godt, at det kan diskuteres hvorvidt en duk kan renses og benyttes igjen etter bruk. Dette kan føre til store besparelser for den skadelidte. Det ble benyttet ny duk for hvert forsøk.

Testoppsett

Testriggeren som ble konstruert for halvskalaforsøkene viste seg å være meget anvendelig. Unødvendige utettheter ble unngått, og testrommet stod stødig igjennom testperioden. Forstyrrelser ble også i stor grad unngått, da riggeren stod innendørs, under avtrekk.

Fullskalaforsøkene ble gjennomført utendørs på ResQ Sikkerhetssenter. Det benyttede rommet var modifisert tidligere, ved at en stålvegg delte volumet på langs. Emissiviteten påvirkes i hovedsak av røyklagets lengde og optiske tetthet. Den reduserte bredden fører til lavere emissivitet, men forholdene lå allikevel til rette for det

ønskede strålefluksnivå. Det å benytte dette rommet bidro også til å holde kostnadene nede.

Brensel

Halvskalaforsøkene ble gjennomført med kun n-heptan, mens det ble benyttet både n-heptan og diesel som brensel i forsøkene i fullskala. Etterfyllingssystemet viste seg å fungere som planlagt. Den valgte rørdimensjonen medførte en viss treghet i etterfyllingssystemet. Denne tregheten kunne vært redusert med økt dimensjon på rørdeler, men dette var ikke nødvendig for gjennomføringen av forsøkene.

6.2 Feilkilder generelt

Dette kapittelet vil gå inn på feilkilder ved systemet som logget dataene.

Termoelementer og datalogger

Feilmargin for termoelementer type K, er på $\pm 0,0075 \cdot T$. Ved normal måling på Fluke Hydra datalogger er det en feilmargin på $\pm 1,5$ °C. Dette gir en maksimal feilmargin på \pm omtrent 1 %, dersom det beregnes for de temperaturer som ble oppnådd i disse testene ($T \leq 1300$ °C). Arbeidsområdet til termoelementene er -40 til 1200 °C ifølge produsenten. Testene i denne oppgaven gikk opp til 1300 °C, så det er derfor rimelig å anta at feilmargin på de høyeste målte temperaturene er noe større. Det anslås en feil på ca 10 - 12 °C. Noen feilkilder ligger også inne på grunn av tidsforsinkelser under loggingen. Termoelementene vil motta varmestråling i tillegg til konveksjon. I halvskala vil røyklaget være så optisk tynt at termoelementet vil motta stråling fra veggene og gulvet. Dermed vil disse flatene, som har lavere temperatur enn røyklaget, føre til at termoelementene registrerer noe lavere verdier enn hva som er reelt. Dette fenomenet vil også delvis skje i fullskala. Feilkildene fører til en økt sikkerhet for at temperaturene er over ISO-kurven.

Strålefluks

Strålefluksmetret hadde et arbeidsområde opp til 50 kW/m² men målinger viste at strålefluksen var opp i mot 161 kW/m² det må derfor også regnes en større feilmargin enn hvis det hadde blitt benyttet et strålefluksmeter som hadde vært beregnet og kalibrert for et høyere arbeidsområde, for eksempel 300 kW/m². Et konservativt anslag på feilmargin vil være ± 5 %.

Kompensering for omgivelsestemperatur.

Dataloggeren er utstyrt med nullpunktkompensering, slik at variasjoner i referansetemperaturen ikke er av betydning for måleresultatet (jfr. side 3, 4 siste avsnitt i manualen for instrumentet).

- For utfyllende opplysninger om denne typen termoelement kontakt Teck Skotselv (www.teck.no)
- For utfyllende opplysninger om denne typen Fluke Hydra datalogger kontakt Instrutek AS (www.instrutek.no eller www.fluke.com)
- For utfyllende opplysninger om denne typen vekt kontakt: Mettler Toledo (www.mt.com)

Se forøvrig Vedlegg B for mer utfyllende produktinformasjon.

6.2.1 Feilkilder ved laboratorieforsøkene

Jerrykanna som sto på vekten, hadde ikke tett lokk. Det fordampet dermed noe n-heptan. Det var også en viss fordampning av n-heptan fra tilførselskaret. Fordampningen fra jerrykanna var av liten betydning, da åpningen var liten. Tilførselskaret var dekket av plast gjennom hele forsøket så også fordampningen fra denne kilden må sees på som meget begrenset. Dette ga allikevel et lite avvik ved beregning av forbrukt brensel. Det gikk en slange fra jerrykanna, som sto oppå vekten, til tilførselskaret med n-heptan. Denne slangen lå inntil kanten på kanna i åpningen og er derfor en faktor som gir feilavlesning på vekten. Denne feilavlesningen vil være tilnærmet konstant hele tiden, ettersom slangen lå rolig mot kanten gjennom hele forsøket. Stativet som vekten sto på tålte for øvrig ingen bevegelse av noe slag før det ga utslag på vekten. Ved kontroll av vekten med 2 kg lodd fra Mettler viste vekten 1,6 gram for lite. Det er ikke slått fast hvorvidt dette avviket var konstant på 1,6 gram for alle verdier. Dette avviket kan ha variert med hvor mye som veies, men avviket anslås til å være omtrent ± 1 %.

Ventilasjonsviften som ventilerer ut branngasser kan ha bidratt til noe økt trekk. Det ble dannet et røyklag i fullskalarommet, dette kan også ha påvirket forsøkene.

De overstående elementene har påvirket temperaturene og strålefluksen i liten grad.

6.2.2 Feilkilder ved forsøk på ResQ Sikkerhetssenter

Ettersom disse forsøkene ble gjennomført utendørs, har vinden i stor grad påvirket lufttilførselen til brannen. Vinden påvirket også hvor effektivt røyken ble transportert vekk fra ventilasjonsåpningen. Stålveggen som sto midt i ISO-rommet på langs ble deformert av varmen under forsøkene. Dette førte til at volumet forandret seg noe fra forsøk til forsøk. Denne volumforandringen var liten i forhold til det store volumet, så volumet ble antatt tilnærmet likt.

ISO-rommet ble etter hvert ganske medtatt og det oppsto sprekker i vegger og tak. Dette førte til at varme branngasser lekket ut, noe som igjen medførte noe lavere temperaturer inne i ISO-rommet.

Under forsøkene ble trestenderne som holdt blikkplatene på utsiden av ISO-rommet utsatt for så høy varme at de måtte kjøles ned. De ble kjølt med vann og små mengder vann ble trukket inn i brannrommet og kjølte røyklaget, små mengder vann kom også ned i forbrenningskaret, og forringet kvaliteten på den brennbare væsken.

De nevnte faktorene har antagelig påvirket temperaturene og strålefluksen i liten grad. Hensikten med forsøkene var å utsette duken for en termisk belastning som tilsvarer en reell brannsituasjon. Dermed er toleransegrensen for feilmarginer høyere enn de faktiske feilmarginene.

6.3 Videre arbeid

Forslag til videre arbeid:

- Det bør konstrueres et vann-/sprinklersystem som kjøler duken på optimal måte, og en ordning for oppsamling av overskuddsvann.
- Utvikling av utløsermekanismen til kassetten.
- Gjennomføring av tester i stor skala med ferdigutviklet produkt.

7 Konklusjon

Arbeidet som ble lagt ned i planleggingen av testoppsettet medførte at testene kunne gjennomføres uten større utbedringer. Både etterfyllingssystemet og teststrømmet i halvskalaforsøkene fungerte som forventet. Selv om teststrømmet naturlig nok ble noe medtatt etter en del tester så fungerte det bra gjennom hele testperioden. Gjennomføringen av fullskalaforsøkene gikk som forventet. Her ble det brukt et testrom som var benyttet til forsøk tidligere med en stålvegg på langs i rommet. Dette testrommet og stålveggen ble nokså medtatt etter gjennomføring av noen tester og derfor ble antall tester færre her enn i halvskalaforsøkene.

Fra forsøkene kom det klart fram hvor avgjørende vanntilførselen er. Dersom et område har manglende vannkjøling, kan duken svikte på to måter:

- Duken svikter fullstendig og deltar i brannen med brennende dråper
- Det svikter et hull hvor det vil lekke ut varme branngasser.

Forsøkene viste at en svikt kan holdes på et lite område med rikelig kjøling av punktet. Med et fast, mekanisk vannkjølingssystem, vil det ikke være mulig å øke vannmengden på det aktuelle området. Dette vil trolig resultere i at hullet vokser seg større.

Fra registrerte data, beregninger og observasjoner under forsøkene kan det trekkes følgende konklusjon: Duken var utsatt for temperaturer opp til 1300 °C, strålefluksnivå opp til 160 kW/m² og flere forsøk på over 60 minutter. Temperaturene i rommet lå hele tiden godt over ISO-kurven. Under disse testforutsetningene viste duken ingen synlige svakhetstegn.

8. Litteraturliste

- [1] Drysdale, D. 1999, *An introduction to fire dynamics*, 2nd edn, Wiley, Chichester.
- [2] Hagen, B.C. 2004, *Grunnleggende brannteknikk*, B.C. Hagen, Haugesund.
- [3] Holmstedt, G. & Grahn, E. 2004, *Underventilerad brand*, Lund University, Department of Fire Safety Engineering, Lund.
- [4] Norges standardiseringsforbund 1999, *NS EN 1363-2: Prøving av brannmotstand Del 2: Alternative prosedyrer og tilleggsprosedyrer*, Norges standardiseringsforbund, Oslo.
- [5] International Standards Organisation 1993, *ISO 9705:1993: Fire test - Full-scale room test for surface products*, International Standards Organisation, Geneva.
- [6] Mikron. 1997, Mikron M 300 Blackbody source, *Manual for operation and maintenance*, Mikron Instrument company, inc.

Internettreferanser

- [a] <http://www.statoil.no/> (søk på HMS datablad for *Heptan*)
- [b] <http://www.shell.no/> (søk på Helse, Miljø og Sikkerhet og datablad for drivstoff og fyringsprodukter, *Shell diesel, gassolje og lett fyringsolje*)
- [c] <http://www.markt.no/> (produkter, festemidler, nylonprodukter, gummiplugg, varenummer 809010).
- [d] <http://www.skotselv.no/> (produktkatalog, temperatur, termoelementer, *termoelement med kabel type TK*).
- [e] <http://www.dryppvanning.as/> (søk på varenummer 13540)
- [f] <http://www.egenes.as/> (søk på varenummer *RN 110001* på nettbutikk)
- [g] <http://www.clasohlson.no> (søk på varenummer 31-1757)

Vedlegg

VEDLEGG.....	1
VEDLEGG A PROSEDYRER	2
<i>A.1 Forsøksprosedyre ved tester i brannlaboratoriet.....</i>	2
<i>A.2 Forsøksprosedyre ved tester på ResQ Sikkerhetscenter.....</i>	3
<i>A.3 Sikkerhetsrutiner ved bruk av Heptan som brensel.....</i>	4
<i>A.4 Feiltre for søling av n-heptan</i>	5
VEDLEGG B DATABLAD	6
<i>B.1 Datablad for n-heptan.....</i>	6
<i>B.2 Datablad for diesel</i>	8
<i>B.3 Datablad for siporex.....</i>	10
<i>B.4 Datablad for gummipluggen</i>	15
<i>B.5 Datablad for strålefluksmeter</i>	16
<i>B.6 Produktinformasjon om duken</i>	17
<i>B.7 Produktinformasjon for datalogger</i>	17
<i>B.8 Produktinformasjon for termoelement</i>	17
<i>B.9 Produktinformasjon for vekt</i>	17
<i>B.10 Produktinformasjon for vannmåler.....</i>	17
<i>B.11 Produktinformasjon for vannspreder.....</i>	17
<i>B.12 Produktinformasjon for slukkespyd</i>	17
VEDLEGG C UTSTYRSLISTE	18
VEDLEGG D LEVERANDØRLISTE	19
VEDLEGG E LÅNELISTE.....	20
VEDLEGG F FORSØKSRESULTATER.....	21
VEDLEGG G BILDER	24

Vedlegg A Prosedyrer

A.1 Forsøksprosedyre ved tester i brannlaboratoriet

De sikkerhetsrutiner som ble gjennomgått i forkant av laboratorieøvelsene i vårsemesteret 2005 ble også fulgt når testene på brannlaboratoriet skulle gjennomføres.

- Steng av brannalarmen på brannlaboratoriet
- Steng dører og ha slukkeutstyr tilgjengelig
- Koble til termoelementene med riktig høyde/plassering
- Koble til vekten med jerrykanne oppå vekten
- Tørke av sot fra termoelementer og strålefluksmåler
- Start avtrekksviften
- Fyll opp med n-heptan i tilførselskaret
- Sjekk om det er lekkasjer på systemet
- Start logger og PC med LABVIEW
- Tenn på n-heptan
- Etterfyll med n-Heptan for å justere brannens størrelse
- Følg med på brannens oppførsel, masseendring, flammetemperatur og fluksverdier
- Etterfyll med n-heptan så lenge som forsøket skal foregå
- La n-heptan brenne ut
- Stopp LABVIEW
- LABVIEW har nå laget en resultatfil (temp.txt)
- Åpne resultatfilen i Microsoft Excel og lagre filen med et beskrivende navn både på harddisk og diskett
- Bearbeid resultatene og lag grafer for forsøket
- Sjekk at temperaturen i ISO-rommet synker som forventet og at ISO-rommet ikke har tatt skader av forsøket.
- Skru på brannalarmen, og av viften etter avsluttet forsøk

A.2 Forsøksprosedyre ved tester på ResQ Sikkerhetssenter

På ResQ Sikkerhetssenter ble sikkerhetsprosedyrene gjennomgått av Svein Arne Askeland og "operativ håndbok sikkerhetsopplæring" ble gjennomlest av alle medlemmene i gruppen før arbeidet startet.

- Ha slukkeutstyr tilgjengelig
- Ha internradio på, og på riktig kanal
- Koble til termoelementene med riktig høyde/plassering
- Sjekk vindretning
- Start pumpe for dieseltilførsel
- Fukte vegetasjon bak ISO-rommet med vann (unngå skogbrann)
- Tørke av sot fra termoelementer og strålefluksmåler
- Fyll opp med diesel i tilførselskaret
- Sjekk om det er lekkasjer på systemet
- Fyll opp n-heptan i sekundærkaret
- Start logger og PC med LABVIEW
- Tenn på dieselen og n-heptan
- Etterfyll med diesel for å justere brannens størrelse
- Følg med på brannens oppførsel, masseendring, flammetemperatur og fluksverdier
- Etterfyll med diesel så lenge som forsøket skal foregå
- La dieselen brenne ut
- Stopp LABVIEW
- LABVIEW har nå laget en resultatfil (temp.txt)
- Åpne resultatfilen i Microsoft Excel og lagre filen med et beskrivende navn både på harddisk og diskett
- Bearbeid resultatene og lag grafer for forsøket
- Sjekk at temperaturen i ISO-rommet synker som forventet og at ISO-rommet ikke har tatt skader av forsøket.

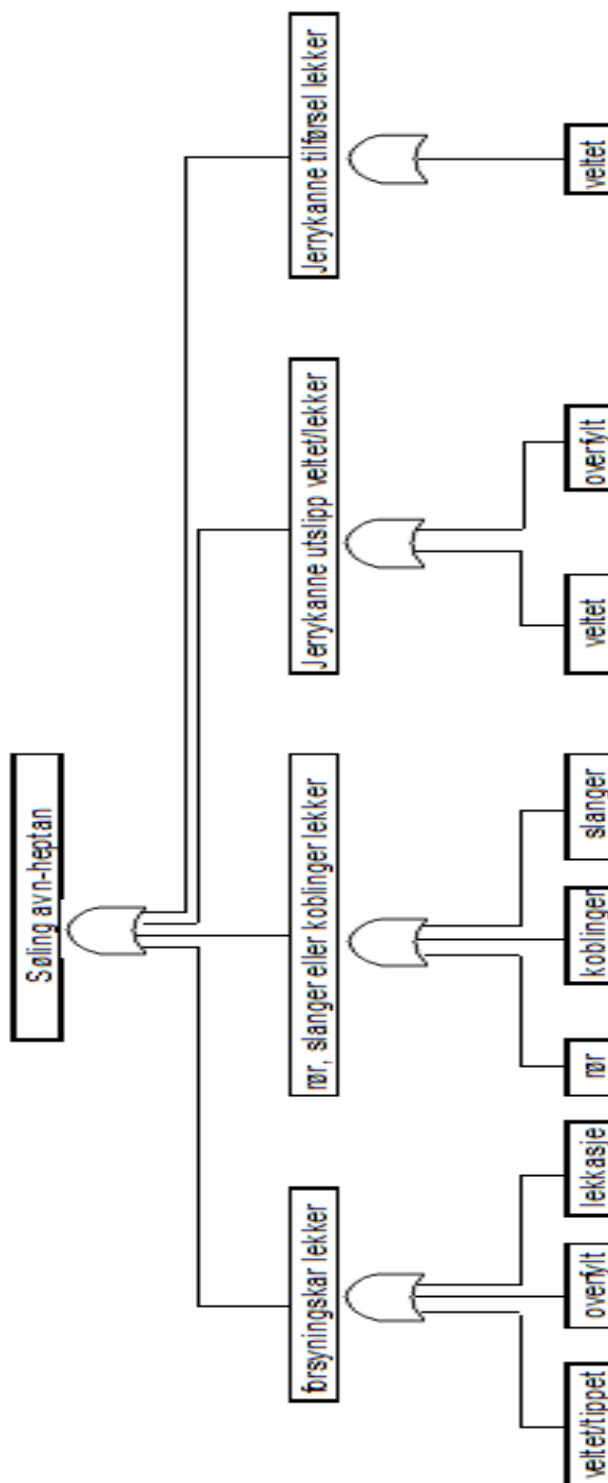
A.3 Sikkerhetsrutiner ved bruk av n-heptan som brensel

Det ble besluttet å benytte n-heptan som brensel da diesel viste seg å ikke være gunstig som brensel.

I forbindelse med overgang fra diesel til heptan som brensel på brannlaboratoriet må følgende tas hensyn til.

- Heptan har lavere fordampningsvarme og damper derfor mer enn diesel. Dette gjør at det må legges et lokk på forsyningskaret som står på brannlaboratoriet.
- Heptan kommer fortere opp til overtenningsfasen og er ikke like stabil som diesel. Derfor må det utvises forsiktighet i forbindelse med overtenning, og tilførselen av heptan må nøye justeres til enhver tid. (se fig. 4.10 for justering av tilførsel).
- Dersom overtenning skulle forekomme i det store ISO-rommet er det to muligheter til å justere / kontrollere dette.
 1. Steng tilførselen fra forsyningskaret og den forholdsvis høye fordampningsraten vil sørge for at overtenning forholdsvis raskt avtar (nivå synker og dermed synker arealet raskt, se fig 4.13 for stenging av tilførsel).
 2. Tapp ut heptan fra karet inne i ½ skala ISO-rommet via tappekran (se fig. 4.14 for tappekran). Her vil ikke heptan i røret kunne brenne fordi temperaturen er så høy at konsentrasjonen av n-heptan befinner seg over øvre brennbarhetsgrense, se kapittel 3 beregninger.
- Det fylles også kaldt vann (20 °C) i jerrykanna som n-heptanet tappes ned til. Dette sørger for at heptanet avkjøles raskt og dermed ikke utgjør større eksplosjonsfare enn det n-heptan normalt gjør ved romtemperatur.

A.4 Feiltre for søling av n-heptan



Figur A.1 Feiltre for n-heptan

Vedlegg B Datablad

B.1 Datablad for n-heptan

Internettreferanse: [a]

Identifikasjon av kjemikaliet

Navn: n-heptan

Kjemisk formel: C_7H_{16}

Gruppe: organisk stoff

Produktets form: væske

Produktets farge: fargeløs

Produktets lukt: svakt aromatisk

Flammepunkt: $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$

Anvendelsesområder: Fortynner, rengjøring, brannforsøk, løsemiddel for maling, lakk, lim etc.

Faremomenter



HELSESKADELIG



MEGET
BRANNFARLIG



MILJØSKADELIG

n-heptan er meget brannfarlig. Dampene kan danne eksplosiv blanding med luft. Gassen er tyngre enn luft og kan bre seg langt langs bakken til eventuelle tennkilder. Røyking, bruk av åpen ild eller andre tennkilder i nærheten av n-heptan må ikke forekomme. Stoffet vil ved innånding påvirke sentralnervesystemet og kan ved langvarig bruk medføre løsemiddelskadelignende symptomer. Sørg for god ventilasjon.

Førstehjelpstiltak

Generell informasjon

Den skadede personen(e) bringes snarest mulig bort fra eksponeringskilden. Vanlig førstehjelp: ro, varme og frisk luft. Ved bevisstløshet: løs stramtsittende klær, stabilt sideleie. Ved åndedrettsbesvær: eventuelt oksygentilførsel. Ved åndedrettsstans: kunstig åndedrett. Ved hjertestans: hjertekompresjon. Kontakt lege.

Ved innånding

Lav doser virker lett irriterende. Større konsentrasjoner i inntil 15 min. fører til svimmelhet, uro og beruselse. Svært høye konsentrasjoner i lengre tid, kan føre til bevisstløshet med dødelig utgang.

Hudkontakt

Kroppsdeler som har vært i berøring med væsker, vaskes grundig med såpe og vann, eventuelt dusj. Tilsølte klær fjernes fra kroppen mens man skyller med vann.

Øyekontakt

Skyll umiddelbart med vann fra springen eller øyevaskflaske i minst 15 minutter. Kontakt lege.

Svelging

Ved bevissthet gis vedkommende 30-50 gram medisinsk kull utrørt i et glass vann, og deretter noen spiseskjeer parafinemuljon. Unngå brekninger.

Tiltak ved utilsiktet utslipp

Tett til avløp og lignende, hindre videre spredning med f.eks. sand eller jord. Søl fjernes øyeblikkelig. Mindre mengder tas opp med absorberende materiale. Ved spill av større mengder foretas først oppumping med egnet utstyr, og deretter fjernes rester med absorberende materiale. Unngå oppsamlingskar av gummi. Hold mennesker og dyr unna det forurensede området. Kontakt brannvesenet (Haugesund Brannvesen 52804040) dersom utslippet er stort eller at stoffet har kommet ned i avløp.

Tiltak ved brannslukking

Brann i n-heptan slukkes med vann, skum eller CO₂

Håndtering og oppbevaring

Ved bruk av stoffet må apparatur, rørledninger, emballasje o.l. være jordet eller innbyrdes forbundet for å hindre at det oppstår statisk elektrisitet. Sørg for god ventilasjon ved arbeid med stoffet. n-heptan bør lagres i kjølige og godt ventilerte rom, beskyttet mot varme og direkte sollys. Utstyr som er brukt i forbindelse med stoffet kan vaskes med vann og vanlig vaskemiddel.

Personlig verneutstyr

Bruk alltid syrebestandige hansker og øyevern. Sørg for øyespylingsmuligheter og ha dusj på arbeidsplassen eller i umiddelbar nærhet. Bruk sklisikkert fottøy.

NB!! Dette databladet er et utdrag fra et fullstendig datablad. For fullstendig datablad se internettreferanse [a]

B.2 Datablad for diesel

Internettreferanse: [b]

Identifikasjon av kjemikaliet

Navn: farget diesel

Gruppe: organisk stoff

Produktets form: væske

Produktets farge: rød

Produktets lukt: karakteristisk

Flammepunkt: 62 °C

Anvendelsesområder: destilattolje til dieselmotorer og / eller trykkforstøvningsbrennere.

Faremomenter



HELSEKÅDELIG



MILJØKÅDELIG

Ikke klassifisert som brannfarlig men vil brenne. Væsken er tyngre enn luft og kan bre seg langt langs bakken til eventuelle tennkilder. Langvarig eller gjentatt hudkontakt kan medføre kreft. Aspirasjon til lungene er farlig og kan i verste fall medføre kjemisk lungebetennelse. Giftig for vannlevende organismer. Røyking, bruk av åpen ild eller andre tennkilder i nærheten av diesel må ikke forekomme. Sørg for god ventilasjon.

Førstehjelpstiltak

Generell informasjon

Den skadede personen(e) bringes snarest mulig bort fra eksponeringskilden. Vanlig førstehjelp: ro, varme og frisk luft. Ved bevisstløshet: løs stramtsittende klær, stabilt sideleie. Ved åndedrettsbesvær: eventuelt oksygentilførsel. Ved åndedrettsstans: kunstig åndedrett. Ved hjertestans: hjertekompresjon. Kontakt lege.

Ved innånding

Gi oksygen ved pustevansker

Hudkontakt

Kroppsdeler som har vært i berøring med væsker, vaskes grundig med såpe og vann, eventuelt dusj. Fjern straks tilsølt tøy fra kroppen. Unngå bruk av white spirit eller lignende til å vaske av oljen fra huden.

Øyekontakt

Skyll umiddelbart med vann fra springen eller øyevaskflaske i minst 15 minutter. Kontakt lege dersom ubehag vedvarer etter skylling.

Svelging

Ikke gi noe å drikke og unngå brekninger. Det er viktig at produktet ikke kommer ned i lungene. Kontakt lege.

Tiltak ved utilsiktet utslipp

Tett til avløp og lignende, hindre videre spredning med f.eks. sand eller jord. Søl fjernes øyeblikkelig. Mindre mengder tas opp med fille eller absorberende materiale. Ved spill av større mengder foretas først oppumping med egnet utstyr, og deretter fjernes rester med absorberende materiale. Unngå oppsamlingskar av gummi. Hold mennesker og dyr unna det forurensede området. Kontakt brannvesenet (Haugesund Brannvesen 52804040) dersom utslippet er stort eller at stoffet har kommet ned i avløp.

Tiltak ved brannslukking

Brann i diesel slukkes med skum, vannspray eller -tåke. CO₂, pulver sand eller jord kan benyttes til små branner. Bruk ikke sterk vannstråle.

Håndtering og oppbevaring

Ved bruk av stoffet må apparatur, rørledninger, emballasje o.l. være jordet eller innbyrdes forbundet for å hindre at det oppstår statisk elektrisitet. Sørg for god ventilasjon ved arbeid med stoffet. Diesel bør lagres i kjølige og godt ventilerte rom, beskyttet mot varme og direkte sollys. Utstyr som er brukt i forbindelse med stoffet kan vaskes med vann og vanlig vaskemiddel.

Personlig verneutstyr

Bruk alltid hansker og øyevern. Sørg for øyespylingsmuligheter og ha dusj på arbeidsplassen eller i umiddelbar nærhet. Bruk sklisikkert fottøy.

NB!! Dette databladet er et utdrag fra et fullstendig datablad. For fullstendig datablad se internettreferanse [b]



Efter skärningsproceduren ånghärdas produkterna i autoklaver under hög värme och högt tryck. Efter autoklaveringen har lättbetongen erhållit sin slutgiltiga hållfasthet.

- 0.42 **Miljömärkning**
Nej
- 0.43 **ISO-standard**
Nej
- 0.44 **Varuinformationsblad**
Ja

YTTRE MILJÖ

1 INGÅENDE MATERIAL

1.1 Råvaror

Färdig lättbetongprodukts torrdensitet är 350 - 800 kg/m³. Men över 80% av tillverkningen har torrdensiteten 400-550 kg/m³. Följande angivna värden grundar sig på en medeldensitet på 500 kg/m³.

1.11 Materialförbrukning vid tillverkning av en kubikmeter lättbetong

Sand	250 kg/m ³
Vatten	30 l/m ³
Cement	125 kg/m ³
Kalk	59 kg/m ³
Anhydrit / Gips	22 kg/m ³
Aluminiumpulver	0,3 kg/m ³
Återvunnen lättbetong	25 kg/m ³

1.2 Återvunna material

Gjutmassan som blir över i skärningsproceduren återanvändes i sin helhet i produktionen.

1.3 Ursprung för råvaror

Finmalen sand/sandsten:	egen sandtäkt i Wittenborn i Tyskland
Vatten:	från egen brunn i Wittenborn i Tyskland
Cement:	från leverantör i Tyskland
Kalk:	från täkt i Harz i Tyskland
Gips (Anhydrit):	restprodukt vid rökgasrening i Tyskland
Aluminium-pulver:	från leverantörer i Tyskland

2 PRODUKTION



- 2.1 **Produktionsprosessen**
Vid produktion använda energikällor är el och naturgas.
- 3 **DISTRIBUTION AV FÄRDIG BYGGVARA**
- 3.1 **Produktionsort/Land**
Wittenborn, Schleswig-Holstein Tyskland
Hamm-Uentrop, Nordrhein-Westfalen Tyskland
- 3.2 **Transportsätt**
Alla transporter sker med lastbil.
- 3.3 **Distributionsformer**
Direkt från fabrik alternativt från återförsäljarens lager till byggplats.
- 3.4 **Emballage**
Plastemballage av polyeten.
Returpallar av trä.
Leverantören i Sverige är ansluten till REPA-systemet.
- 4 **BYGGSCHEDET**
- 4.1 **Byggproduktion**
För sammanfogning av block och element användes cementbaserat lim, cementbruk, kalkcementbruk, och mekaniska infästningar. Vid bearbetning av materialet t ex sågning kan det damma.
- 4.2 **Byggvaruanpassning**
Både standard- och specialprodukter.
- 5 **BRUKSSCHEDET**
- 5.1 **Drift**
Inga utsläpp.
- 5.2 **Underhåll**
Litet underhållsbehov: putsade och målade ytor behöver normala underhållsåtgärder i 15-30 års perioder.
Underhåll ger inte upphov till utsläpp.
- 5.3 **Livslängd**
Den väntade livslängden av lättbetongprodukter är normalt minst lika lång som byggnadens brukstid.



- 6 **RIVNING**
- 6.1 **Demontering**
- Vid demontering anvendes vanlige byggmaskiner, normal skyddsutrustning og andningskydd mot damm.
- 7 **RESTPRODUKTER (Avfall)**
- 7.1 **Återanvändning**
- Träpallar kan återanvändas. Demonterade block kan i viss utsträckning återanvändas.
- 7.2 **Materialåtervinning**
- Restprodukter kan krossas och användas för andra ändamål.
- 7.3 **Energiutvinning**
- Ej förekommande, produkten är inte brännbar.
- 7.4 **Deponering**
- På soptipp. Vid långvarig kontakt med vatten är sulfatutfällning möjlig.
- 7.5 **Farligt avfall**
- Ej farliga avfall.
- 8 **INNEMILJÖ**
- 8.1 **Innehåll av hälsofarliga ämnen**
- Inga hälsofarliga ämnen.
Kontaktallergi ej påträffat.
- 8.2 **Byggprocess**
- Produkter skall skyddas mot fukt under lagrings- och byggtid.
- 8.3 **Egenemissioner och lukt**
- Inga kemiska emissioner som överstiger 10 µg/ m³h.
- 8.4 **Krav på omgivande byggvaror**
- Lättbetongprodukter skall skyddas mot fukt från omgivande byggmaterial.
- 8.5 **Referenser till 8.4**
- Fuktdimensionering.
- 8.6 **Drift och underhåll**
- Inga krav



-
- 8,7 **Ljudnivå**
Ej tillämpligt
- 8,8 **Elektriska och magnetiska fält**
Ej tillämpligt

B.4 Datablad for gummiplugg

Internettreferanse: [c]



HMS Datablad GUMMIPLUGG

1. IDENTIFIKASJON AV PRODUKTET:

Handelsnavn: GUMMIPLUGG
Opprinnelsesland: TAIWAN

Leverandør: Markt & Co
Skårersletta 80
1473 Lørenskog
tlf.: 67 92 10 10
faks.: 67 92 10 50

2. PRODUKTDATA

Gummi med påsveiset gjenget messingkonus

3. BRUKSOMRÅDE

Festeelement for lettbetong og plater

4. EGENSKAPER

Mineraloljebestandig

Temperaturbestandig opp til 110°C

Vær og aldriingsbestandig

1. november 2002
MARKT & CO. A/S



Geir Johnsen
Produktgruppesjef



B.5 Datablad for strålefluksmeter

Schmidt-Boelter

NOTES:

- The Model 64EP-XX-20544 is a water cooled, gas purged, ellipsoidal infrared radiometer. The ellipsoidal radiometer does not use a window, eliminating concern for the spectral transmittance characteristics of a window. In a clean laboratory environment the unit may be operated without the inert gas purge. The ellipsoidal radiometer has a view angle of nearly 180° while maintaining a linear output directly proportional to the incident radiant flux entering the Ø125 aperture. The standard nominal output is 10 millivolts at the design heat flux level 'XX' in Btu/ft²sec. Other outputs are available. Each unit is supplied with a certified calibration traceable to NIST.
- The transducer housing is OFHC copper with a Ø125 sensor aperture at one focus of the gold plated highly polished ellipsoidal cavity. At the other focus is a thermal radiation sensor coated with optical black.
- The standard leadwire is 36 inches of 24 AWG stranded nickel plated copper duplex wire with teflon over each conductor (White positive, Black negative), nickel plated copper braid over both.
- To order, specify Model No. by replacing 'XX' with the design heat flux level in Btu/ft²sec. The standard design heat flux level is 10 Btu/ft²sec.

UNLESS OTHERWISE SPECIFIED DIMENSIONS IN INCHES		MEDTHERM CORPORATION POST OFFICE BOX 412 HUNTSVILLE, ALABAMA 35894	
FRACTIONS	DECIMALS	ANGLES	REV
± 1/32	2PL ± 0.1	± 30'	B 20544
	3PL ± .005		
MATERIAL	NOTED	SCALE:	DWG SIZE
		ORIG. DWG. 1/16 / 67	B
FINISH	32 + POLISH	CAD DWG 3 / 9 / 93	
		DR. C/Am	SHEET
		APP. SCS	OF

B.6 Produktinformasjon om duken

For produktinformasjon om duken som ble brukt i forsøkene, kontakt Anders Thømt i THE HUB

Internett: www.thehub.no

B.7 Produktinformasjon for datalogger

Type: Fluke hydra 2620

Leverandør: Instrutek AS

Internett: www.instrutek.no

B.8 Produktinformasjon for termoelement

Type: K mantell 1,5 mm

Leverandør: Teck-Skotselv AS

Internett: www.skotselv.no [d]

B.9 Produktinformasjon for vekt

Type: Mettler Toledo PJ12

Leverandør: Mettler Toledo

Internett: www.mt.com

B.10 Produktinformasjon for vannmåler

Type: Zenner ½ " varenummer 13540

Leverandør: Dryppvanning AS

Internett: www.dryppvanning.as [e]

B.11 Produktinformasjon for vannspreder

Type: Sprinklerpistol produkt nummer 31-1757

Leverandør: Clas Ohlson

Internett: www.ClasOhlson.no [g]

B.12 Produktinformasjon for slukkespyd

Type: Tåkespiker Attack, Artikkel nr. RN 110001

Leverandør: Egenes Brannteknikk AS

Internett: www.egenes.as [f]

Vedlegg C Utstyrliste

Utstyr til tester på brannlaboratoriet

- Vannslange, CO₂ apparat og pulverapparat (sikkerhetsutstyr/slukkeutstyr)
- PC med Programmet LABVIEW
- Vekt med isolasjon (Metler PJ 12, 12 kg)
- 7 termoelementer (type K, 1.6 mm, mantel)
- 1 fluksmåler (type Schmetz-Boelter)
- Datalogger (Fluke Hydra 2620)
- Gassbetongplater (Siporex 100mm)
- Mørtel for fuging/tetting
- Treplanker (diverse, til støtte for vegger, tak og gulv)
- Skruer og universalplugg
- Etterfyllingssystem (se kapittel 4.2.3 samt bilder)
- Brensel i form av n-heptan, C₇H₁₆.
- Bormaskin (med diverse borstørrelser og bits)
- Vinkelsliper
- Sveiseapparat
- Håndverktøy
- 500 Watts arbeidslampe
- Personlig verneutstyr
- Minnebrikke (Usb port)
- 20 meter vannslange med koblinger
- Vannmengdemåler
- Sprederdyse til vannkjøling av duken

Utstyr til tester på ResQ Sikkerhetssenter

- Vannslange (sikkerhetsutstyr/slukkeutstyr)
- PC med Programmet LABVIEW
- 7 termoelementer (type K, 1.6 mm, mantel)
- 1 fluksmåler (type Schmetz-Boelter)
- Datalogger (Fluke Hydra 2620)
- ISO-rom (se kapittel 4 for spesifikasjon)
- Brenselsystem
- Brensel i form av farget diesel og n-heptan
- Bormaskin (med diverse borstørrelser og bits)
- Vinkelsliper
- Håndverktøy
- Personlig verneutstyr
- Minnebrikke (Usb port)
- 40 meter vannslange med koblinger
- Vannmengdemåler
- Sprederdyse til vannkjøling av duken

Vedlegg D Leverandørliste

Navn	Adresse	Tlf	Hva er kjøpt
Røthing AS	Møllerveien 28 5525 Haugesund	52707670	Gassbetongplater, (Siporex 100mm) mørtel
Obs Bygg	Longhammarveien 24 5536Haugesund	52864555	Trevirke, skruer
Maskinforretningen Thv. Cristensen AS	Longhammarveien 25 5536Haugesund	52864900	Plugger og skruer
Jernia Arne Horneland	Sørhauggt 88 5528 Haugesund	52702270	Støvmasker, sag, stifter
Clas Ohlson AS	Oasen Storsenter 5542 Karmsund	52811160	Bor, plugger, sprinklerpistol
Dryppvanning AS	Sivesindsveen 2846 Bøverbru	61194600	Vannmengdemåler 1/2 "
H.R. Sandvold Rørhandel AS	Kirkegaten 183 5501 Haugesund	52702000	Kraner, rør, og slanger etc. til etterfyllingssystemet
Emco verktøy	Kirkegaten 187 5504 haugesund	52716055	Kutteskiver
Expert Brødr.Jacobsen handel AS	Raglamyerveien 3 5536 Haugesund	52703000	Opptakskassett for video

Vedlegg E Låneliste

Hva er lånt	Hvem er det lånt av	Levert tilbake
1`` vannslange m/koblinger	Statsbygg HSH v/ Knut	JA
Stiftemaskin til duken	Driftsavdelingen på HSH v/Oddmund	JA
Skyvelær	Monica Metallinou	JA
Pipesett	Olav på ResQ sikkerhetssenter	JA
Bor, vinkelsliper(stor)	Yaaseen Amith	JA
Verktøysett	Anders Brammer	JA
Skjøteledning (jordet)	Driftsavdelingen på HSH v/Wenke	JA
Lange bor	Arjen Kraaijeveld	JA
Norlås overgang fra 1 til 3 + trykkreduksjonsventil	Olav Vågen på ResQ Sikkerhetssenter	JA

Vedlegg F Forsøksresultater

Innledende forsøk kvartskala

Dette var forsøk som ble gjennomført på brannlaboratorium. Duken ble plassert på en av rommets sidevegger. På grunn av forskjellig emissivitet kan man ikke uten videre sammenlikne disse resultater med de øvrige forsøkene.

Tabell F.1 Oversikt kvartskalaforsøk med duk

Test nr.	Brensel	Makstemp [°C]	Strålefluks [kW/m ²]	Duk
2	n-Heptan	437	6,15	Lite hull
3	n-Heptan	932	68,3	OK
4	n-Heptan	908	63,4	OK

Strålefluksen er beregnede verdier. Under disse beregningene ble det brukt følgende framgangsmåte:

$$q_r = \varphi \varepsilon \sigma (T_g^4 - T_{duk}^4) \quad (2.4)$$

$$\varphi = 1$$

$$\varepsilon = 1e^{-KL}$$

$$K = 2m^{-1}$$

$$L = 0,6m$$

$$\varepsilon = 0,7 \text{ (for kvartskalarom)}$$

$$q_r = 1 * 5,67 * 10^{-8} (673^4 - 373^4)$$

$$q_r \approx 7,36 \text{ kW/m}^2$$

Innledende halvskala forsøk med sirkulære brenselskar

Avsnittet omhandler innledende forsøk i halvskala ISO-rom. Forsøkernes formål var primært å optimalisere brenselforholdene.

Tabell F.2 Oversikt halvskalaforsøk med sirkulære brenselskar

Test nr.	Diameter [cm]	Areal [m ²]	Brensel [dm ³]	Forvarming	Overtenning?	Massetap [g/s]	Makstemp [°C]	Maksvarmeprod [kW]
5	27,5	0,06	heptan: 2	Nei	Nei	2,113	336	65
6	32	0,08	heptan: 2	Nei	Nei	4,323	525	133
7	27,5+32	0,14	heptan: 1,5+1,5	Ja, Test 06	Ja	(uten vekt)	905	(uten vekt)
8	39	0,12	heptan: 4	Nei	Ja, men kortvarig	7,963	880	245
9	39	0,12	heptan: 10,4	Ja	Ja. Begge rom	27,627	1040	850
10	32	0,08	heptan: 4	Ja	Ja. Begge rom	19,014	1030	585
11	27,5	0,06	heptan: 4	Ja, Test 10	Ja. Begge rom	19,989	1020	615
12	-	0,40	Diesel: 3	Ja	Nei	0,57	160	14,022
13	27,5	0,06	Diesel: 3	Ja	Nei	1,9	340	46,74

Innledende halvskala forsøk med etterfyllingssystem

Tabell F.3 Oversikt halvskalaforsøk med etterfyllingssystem

Test nr.	Startareal [m ²]	Starthjelp/forvarming	Overtenning?	Makstemp [°C]	Maksfluks [kW/m ²]	Duk?	Brensel
14	0,06	Heptan i trakt	Nei	360	-	Uten	Diesel
15	0,06	1l diesel i d=31cm	Nei	691,7	-	Uten	Diesel
16	0,029	-	Ja	976	115	Uten	Heptan
17	0,06	-	Ja	968	109	Uten	Heptan

Forsøk halvskala forsøk med etterfyllingssystem

Tabell F.4 Oversikt halvskalaforsøk med etterfyllingssystem med duk

Test nr.	Starthøyde [cm]	Vannforbruk [dm ³ /s m ²]	Varighet [min]	Makstemp [°C]	Maksfluks [kW/m ²]	Duk?
18	6,0	-	2 til 4	992	125	40cm: Sviktet
19	9,0	0,159	10	541	30	40cm: OK
20	10,5	0,039	8	869	89	40cm: Sviktet
21	11,0	0,009	2	914	89	40cm: Sviktet
22	9,0	0,180	43	1024	125	40 cm: OK i 36 min
23	11,0	0,203	47	997	120	40cm: OK i 43 min
24	10,5	0,405	66	1074	129	40cm: OK i 65 min
25	11,0	0,483	67	990	96	100cm: OK i 65 min

Forsøk fullskala på ResQ Sikkerhetssenter med etterfyllingssystem

Tabell F.5 Oversikt fullskalaforsøk på ResQ Sikkerhetssenter med etterfyllingssystem

Test nr.	Varighet [min]	Makstemp [°C]	Maksfluks [kW/m ²]	Duk?	Vannforbruk [dm ³ /s m ²]
26	26	838	43	Uten	-
27	45	1173,9	87	OK	0,38
28	22	1317,3	169	OK	0,81

Vedlegg G Bilder

Halvskalatesting på høgskolen



Figur G. 1



Figur G.2



Figur G.3



Figur G.4



Figur G. 5

Fullskalatesting på ResQ Sikkerhetscenter



Figur G.6



Figur G.7