

Brandingenjörslinjen
Lunds Tekniska Högskola
Lunds Universitet

Flamsläckning, med gasformiga släckmedel i Burner Cup under inverkan av extern värmestrålning



Andersson Magnus BI-95
Skogetun Pontus BI-94

Report 5048, Lund 1999

Projektet har delfinansierats
av BRANDFORSK

För innehållet i denna rapport ansvarar författarna. Den som på något sätt använder innehållet i denna rapport får så göra på egen risk

Författarna

Institutionen för brandteknik
Lunds tekniska högskola
Box 118
221 00 Lund

Department of Fire Safety Engineering
Lund Institute of Technology
Lund University
S-221 00 Lund
Sweden

Report 5048
ISSN: 1402-3504
ISRN: LUTVDG/TVBB - 5048 - SE

Number of pages: 139

Flamsläckning, med gasformiga släckmedel i Burner Cup, under inverkan av extern värmestrålning

Flameextinguishing concentrations, of gaseous agents in Burner Cup, under influence of external radiative flux

Andersson, Magnus
Skogetun, Pontus

Brandingenjörsprogrammet vid Lunds tekniska högskola, 1999

ABSTRACT: This report deals with flame extinguishment of liquid and solid fuels in an experiment construction widely known as Burner Cup. The fuels are heptan, methanol and PMMA.

According to a theory called fire point theory developed by Rasbash also further developed by Beyler the extinguish concentration increasing when applied external flux increases. Experiments have earlier been done by Magee and Reitz to measure the critical water application rate as a function of the applied external radiant flux for four thermoplastic materials. No earlier experiments have been done to investigate gaseous agents concentration as a function of the applied external radiant flux.

This report describes experiments done to investigate if any changes in agent concentration are necessary to attain extinction when external radiant flux is applied. The flame extinguishing agents used is gasiform (Halon, two Halon alternative N_2 , CO_2). The agents are mixed with torrid air before assaulting the flames. (Swedish)

KEYWORDS: Fire, Halon alternative, Halon, Burner Cup, external radiant flux, the Cone Calorimeter, toxic spices, PMMA, heptane, methanol, blackbody radiation

Sammanfattning

Rapporten är resultatet av ett elevarbete på brandingenjörsprogrammet, vid Lunds tekniska högskola. Arbetet motsvarar 15 högskolepoäng och är utfört av två elever på uppdrag av Institutionen för Brandteknik.

Amerikanska forskare har på senare år presenterat teoretiska modeller vilka visar att ett brinnande material som utsätts för extern värmestrålning kräver en högre släckmedelskoncentration för att släckas, jämfört med ett brinnande material utan extern värmestrålning. Huvudsyftet med elevarbetet har varit att undersöka validiteten hos dessa teorier och då främst att påvisa trender hos ett antal gasformiga släckmedel som vid släckningsförsök påverkas av extern värmestrålning. Ett annat syfte med elevarbetet har varit att undersöka apparatberoendet för experimentell utrustning, kallad Burner Cup, dock utan inverkan av extern värmestrålning.

Eleverna har tagit hjälp av sponsorer för att möjliggöra arbetet. Sponsorer utgörs av Statens Räddningsverk, Institutionen för Brandteknik vid Lunds universitet, Statens Provnings- och Forskningsinstitut samt BEJARO AB. Teoretiska och praktiska förstudier har genomförts för att inhämta kunskap inom problemområdet. Därefter har eleverna konstruerat experimentell utrustning som sedan använts till drygt hundratalet försök. Utrustningen, som är en sk. Burner Cup, var konstruerad för att fungera vid inverkan av extern värmestrålning. Vid försöken användes gasformiga släckmedel såsom Halon 1301, Halotron 2b, FM 200, koldioxid och kvävgas. De bränslen som användes var heptan, metanol samt plexiglas.

Av de experimentella försöken framkom det resultat som visar att behovet av släckmedel ökar vid inverkan av extern värmestrålning. Beroende på kombinationer av släckmedel och bränsle krävdes ibland en ökning av släckmedelsmängden med en faktor 1,3-2,4, för att flaman skulle slockna. Resultatet i form av faktorer är jämfört släckmedelsbehov utan inverkan av extern värmestrålning.

En upptäckt som gjordes under försöken var att vid släckmedelspåföring av Halotron 2b och FM 200, i kombination med metanol eller plexiglas, ökade den utvecklade förbränningseffekten. Effekttökningen märktes redan initialt vid släckmedelspåföring och ökade därefter, för att strax innan släckögonblicket, generera en fördubbling av registrerad förbränningseffekt.

Arbetet med att undersöka apparatberoendet hos Burner Cup- utrustning kunde inte genomföras på grund av kostsamma investeringsbehov. Vid rapportens skrivande har likvida medel från Brandforsk inkommit, vilket möjliggör fortsatt arbete. Dock utförs inte det arbetet inom ramen för detta projekt.

Resultaten av detta projekt diskuteras av eleverna. Där framkommer det att dagens metod som används för att dimensionera släcksystem, där användande av resultat från Burner Cup- försök gånger en säkerhetsfaktor på 1,2, kan ifrågasättas. Anledningen till att dagens dimensioneringsmetod ifrågasätts är de resultat som framkommit i denna rapport. Resultaten visar att det ibland krävs en säkerhetsfaktor på drygt 1,3-2,4 för att säkerställa släckning. Eleverna diskuterar därefter vilka konsekvenser som skulle kunna uppstå om ett underdimensionerat släcksystem med Halotron 2b eller FM 200 utsätts för brand. Effekten av den önskade släckningen skulle kunna utebli och brandutvecklingen skulle därmed öka, då nämnda släckmedel fungerar som bränsletillskott.

Innehållsförteckning

SAMMANFATTNING	5
1 INLEDNING	13
1.2 SYFTE	13
1.3 METOD	13
1.4 AVGRÄNSNINGAR	13
1.5 UPPDRAGSGIVARE	15
1.6 ERKÄNNANDEN	15
2 RAPPORTEN - ALLMÄNT	17
2.1 GASFORMIGT SLÄCKMEDEL	17
2.2 SLÄCKMEDELS PRESTANDA	17
2.3 FÖRSTUDIER OCH PREEXPERIMENTELLA FÖRSÖK	18
2.4 KÄNSLIGHETSANALYS OCH OSÄKERHETSANALYS	18
2.5 EXPERIMENTELLA FÖRSÖK	19
2.6 SLÄCKMEDEL SOM BRÄNSLETILLSKOTT	20
3 RESULTAT	21
3.1 RESULTAT FLYTANDE BRÄNSLEN	21
3.2 RESULTAT FAST BRÄNSLE	23
3.3 AVVIKANDE RESULTAT	25
3.4 DISKUSSION	26
3.4.1 Dimensionering av släcksystem	26
3.4.2 Jämförelse med Fire Point-teorin	26
3.4.3 Problem med att hantera metanol och heptan	26
3.4.4 Halotron och FM 200 som bränsle	26
3.4.5 Släckresultat jämfört tidigare Burner Cup- försök	27
3.4.6 Plexiglasgeometri	27
3.4.7 Burner Cup Extreme	27
3.4.8 Underlag för vidare forskning	27
3.5 FÖRSLAG PÅ VIDARE STUDIER	28
4 LITTERATURFÖRTECKNING	29
APPENDIX A - TEORETISK FÖRSTUDIE	31
A.1 FÖRBLANDADE OCH DIFFUSIONSFLAMMOR	31
A.2 SLÄCKMEDEL	31
A.3 HALON OCH HALONERSÄTTNING ODP FAKTOR	32
A.4 SLÄCKVERKAN	32
A.5 TOXICITET	32
A.6 BURNER CUP	32
A.7 HUR DIMENSIONERAS SLÄCKSYSTEM IDAG?	33
A.8 KONKALORIMETERN	33
A.9 FIRE POINT TEORIN	34
APPENDIX B - PRAKTISK FÖRSTUDIE	37
B.1 PREEXPERIMENT	37
B.2 PROVELDNING AV FLYTANDE BRÄNSLEN	39

B.3	PROVELDNING AV FAST BRÄNSLE	39
B.4	SLANGAR	40
B.5	KALIBRERING AV RHR- UTRUSTNING	41
B.6	HALOGENERNA OCH DESS ETSNING PÅ KVARTSGLAS	41
B.7	KALIBRERING AV STRÅLNINGSMÄTARE	42
B.8	KÄNSLIGHETSANALYS	43
B.8.1	<i>Mätning i svartugnen</i>	43
B.8.2	<i>Geometrisk känslighet (Gunnars-meter)</i>	43
B.8.3	<i>Apparaturberoende känslighet (Gardon-meter)</i>	44
B.8.4	<i>Slutsats</i>	44
APPENDIX C - KALIBRERING AV STRÅLNINGSMÄTARE		45
APPENDIX D - SÄKERHET I LABBET		47
APPENDIX E - HUVUDKONSTRUKTION BURNER CUP		49
E.1	ALLMÄNT	49
E.2	HUVUDKONSTRUKTION	49
E.2.1	<i>Huvudkonstruktion Burner Cup flytande bränslen</i>	50
E.2.2	<i>Huvudkonstruktion Burner Cup fasta bränslen</i>	51
APPENDIX F - BURNER CUP FLYTANDE BRÄNSLEN		53
APPENDIX G - BURNER CUP FASTA BRÄNSLEN		57
APPENDIX H - FLÖDESMÄTARE		59
H.1	BERÄKNING AV ERFORDLIGT LUFTFLÖDE	59
H.2	ALLMÄNT	59
H.3	TEORETISK BERÄKNING AV LUFTÅTGÅNG	60
H.4	UPPMÄTT MASSAVBRINNING	61
H.5	JÄMFÖRELSE TEORETISK OCH UPPMÄTT MASSAVBRINNING	61
H.6	VAL AV FLÖDESMÄTARE FÖR SLÄCKMEDEL	62
H.7	KALIBRERING AV FLÖDESMÄTARE (ROTAMETER)	62
H.8	LÖSNING AV INLEDNINGSVIS NÄMNDA PROBLEM	63
APPENDIX I - BRÄNNARCUPSTORLEK		65
I.1	FÖRSTA FÖRSÖKSSERIEN (HEPTAN)	65
I.2	FÖRSÖKSSERIE (METANOL)	66
I.3	SAMMANFATTNING	66
I.4	SLUTSATS	67
APPENDIX J - SLÄCKMEDELSPÅFÖRING		69
APPENDIX K - EXPERIMENT		71
K.1	ALLMÄNT	71
K.2	JAPANSKA FÖRSÖK	71
K.3	FÖRSÖK MED VÄTSKEFORMIGA BRÄNSLEN	71
K.3.1	<i>Utblåsning av lågan</i>	72
K.3.2	<i>Låglyftning</i>	72
K.3.3	<i>Svårigheter att släcka vid hög värmeinstrålning</i>	73
K.3.4	<i>Ökning av effekten vid släckögonblicket</i>	73
K.3.5	<i>Ökning av effekt och massavbrinning vid extern värmeinstrålning</i>	73
K.3.6	<i>Jämförelse RHR kontra uppmätt massavbrinning</i>	73

K.4	SAMMANFATTNING FÖR DE VÄTSKEFORMIGA BRÄNSENA.....	73
K.5	FÖRSÖK MED FAST BRÄNSLE	75
K.5.1	Antändning.....	75
K.5.2	Geometriproblem	75
K.5.3	Begränsning av värmestrålningsintensitet	76
K.5.4	Mätning av RHR och massavbrinning	76
K.5.5	Stabilitet plexiglas kontra heptan och metanol	76
K.5.6	Ökning av effekten vid släckögonblicket	76
K.5.7	Ökning av effekt och massavbrinning vid extern värmestrålning	76
K.5.8	Jämförelse RHR kontra uppmätt massavbrinning	76
K.6	SAMMANFATTNING FÖR FAST BRÄNSLE	76
K.7	OSÄKERHETSANALYS	78
K.7.1	RHR- mätning	78
K.7.2	Tryckförhållande	79
K.7.3	Operatörernas inverkan vid släckförsök	79
K.7.4	Brännbara vätskor	79
K.7.5	Strålning genom etsat glas	80
K.7.6	Vågutrustningen vid vätskeformigt bränsle	80
K.7.7	Vågutrustningen vid fast bränsle	80
K.7.8	Varierande brännarcupstorlekar.....	80
K.7.9	Fövärmad utrustning	80
K.7.10	Sot i glas	80
K.7.11	Strålningskällan	80
K.7.12	Brandgasfläkt.....	81
K.7.13	Klimat	81
K.7.14	Fast bränsle	81
K.7.15	Stötkokning	81
K.7.16	Släckmedelspåföring	81
K.7.17	Luftmängd	82
APPENDIX L - BURNER CUP EXTREME (BCE)	83	
L.1	BAKGRUND	83
L.2	FÖRSÖKSPRINCIP	83
L.3	BEFINTLIG UTRUSTNING	83
L.4	PROBLEM OCH FRÅGESTÄLLNINGAR	83
L.5	LÖSNINGAR PÅ PROBLEMSTÄLLNINGEN	84
BILAGA A - RITNINGAR BURNER CUP	85	
BILAGA B - FLÖDESMÄTARE	91	
BILAGA C - BRÄNNARCUPSTORLEK	101	
BILAGA D - EXPERIMENTSERIER FLYTANDE BRÄNSLEN	105	
BILAGA E - EXPERIMENTSERIER FAST MATERIAL	109	
BILAGA F - FÖRSÖKSPROTOKOLL	113	

1 Inledning

Rapporten är ett resultat av ett elevarbete i kursen Problembaserad Brandteknisk Riskhantering vid brandingenjörslinjen vid Lunds Tekniska Högskola. Kursen motsvarar 15 högskolepoäng. Målet för kursen är att eleven skall visa förmåga att tillämpa de kunskaper och färdigheter som förvärvats under utbildningen. Eleven skall självständigt kunna analysera och redovisa en omfattande uppgift på ett vetenskapligt metodiskt sätt.

Rapporten beskriver ett antal fenomen vid användande av gasformiga släckmedel samt deras beteenden vid påverkan av extern värmestrålning. Ett släckmedels släckningsprestanda mäts, sedan många år, i en utrustning som kallas Burner Cup. Elevarbetet har i huvudsak bestått av konstruktion av experimentell utrustning liknande en Burner Cup, avsedd för extern värmestrålning, samt att utföra experimentella försöksserier i denna utrustning.

1.2 Syfte

En ny teori har framförts av några amerikanska släckmedelse experter som visat, via teoretiska modeller, att släckmedelskoncentrationen ökar under inverkan av extern värmestrålning. Syftet med denna rapport har varit att praktiskt undersöka ifall trender kan styrka de teoretiska modellernas validitet.

Ett annat syfte har varit att jämföra släckresultat från konventionella Burner Cup- försök med släckresultat från en relativt stor Burner Cup. Detta för att undersöka i vilken utsträckning som släckresultaten är apparatberoende. Detta syfte har inte uppnåtts då de ekonomiska förutsättningarna visat sig begränsa möjligheterna till att fullfölja konstruktionen av nödvändig utrustning (av eleverna kallad Burner Cup Extreme).

1.3 Metod

Eleverna har utifrån en given problemställning genomfört litteraturstudier, konstruktion av försöksutrustning, utfört försöksserier samt analyserat resultat från försöken.

För att bilda sig en uppfattning om vad som tidigare gjorts inom området för släckmedelsförsök har en mindre litteraturstudie genomförts. Även Internet har använts för informationssökning.

Arbetet har i huvudsak bestått av konstruktion av experimentell utrustning, vilken skulle fungera vid inverkan av extern värmestrålning. Då det i ett tidigt skede framgick att kostnaden, för tillverkning av utrustningen, skulle bli relativt hög kopplades ett antal sponsorer till projektet. Sponsorernas bidrag har bestått av finansiella medel, material och teknisk support. Eleverna har, med hjälp av CAD, framställt ritningsunderlag för tillverkning av den experimentella utrustningen. För tillverkning av mer komplicerad utrustning har mekaniska verkstäder anlåtats medan eleverna själva konstruerat enklare delar av utrustningen. Efter att den experimentella utrustningen provats och justerats har ett antal försöksserier utförts.

Ett mindre omfattande arbete har lagts på att konstruera Burner Cup- Extremeutrustningen, där en befintlig apparatur använts som grund för vidare konstruktion. Eleverna har själva konstruerat det mesta av denna utrustning medan externa verkstadsföretag bidragit med konstruktion av mindre delar.

1.4 Avgränsningar

Arbetet var inriktat på att undersöka hur ett antal gasformiga släckmedels släckande koncentration beror av extern värmestrålning. Avsikten har inte varit att påvisa exakta släckresultat för

varje släckmedel vid olika externa värmestrålningsnivåer, utan endast att påvisa trender. Det har inte gjorts några större jämförelser med den nya ”Fire Point teorin”, och de släckresultat som framkommit i försöken. Släckmedelsteorier avhandlas mycket sparsamt i denna rapport.

Den externa värmestrålningen har applicerats på ett fast brännbart material och på två brännbara vätskor. De bränslen som användes var heptan, metanol och plexiglas (PMMA). De släckmedel som användes var Halon 1301, Halotron 2b, FM 200, koldioxid och kvävgas.

Ett vätskeformigt bränsle, heptan, samt två gasformiga släckmedel, Halotron 2b och kvävgas, var tänkt att användas vid försök med Burner Cup Extreme. Rapporten är i huvudsak inriktad på att beskriva arbetet med gasformiga släckmedel och inverkan av extern värmestrålning. Därför lämnas all beskrivning av Burner Cup Extreme till ett separat appendix i slutet av rapporten.

1.5 Uppdragsgivare

Institutionen för Brandteknik, vid Lunds tekniska högskola har initierat detta projekt. Statens Räddningsverk, Institutionen för Brandteknik och BEJARO AB har bidragit till projektet med finansiella medel respektive material. Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut (SP) har bidragit med teknisk support.

1.6 Erkännanden

Ett stort tack riktas till vår handledare, professor Göran Holmstedt vid Institutionen för Brandteknik, som med sin fantastiska teoretiska och praktiska kunskap samt glödande engagemang gjort arbetet genomförbart. Vi vill också tacka personal vid Institutionen för Brandteknik och där särskilt nämna Sven-Ingvar Granemark för den tekniska rådgivningen. Ett tack riktas även till Jan Andersson i Löddeköpinge (BEJARO AB) som ställt upp med material och kunskap. Ett tack riktas även till Sören Isaksson på Sveriges Provnings- och Forskningsinstitut i Borås för teoretisk support.

Följande personer och institutioner har på bästa sätt bidragit till projektet:

Bo Walter, teknisk chef på Air Liquid, Sverige
Janne med personal på verkstaden Väg och Vatten, LTH Lund
Kjell Håkansson med personal på instrumentverkstaden, Fysikum, LTH Lund
Klaes Wesén på avdelningen för kemisk apparatteknik, LTH Lund
Olle Grundström på Grundströms plåtslageri AB (ventilation), Lund
Personal på Institutionen för Teknisk kemi, LTH Lund
Sigfrid Klein på glasblåserieverkstaden, Kemicentrum LTH Lund
Statens Räddningsverk
Tord på elektronikerservie, LTH Lund

2 Rapporten - Allmänt

Det är inte ovanligt att rapporter är svårlästa. Detta beror ofta på att innehållet i rapporten är omfattande, samt att texten för läsaren, består av ny terminologi. För att underlätta för läsaren av denna rapport har de väsentliga bitarna lyfts ut. Därför redovisas först en allmän del. Därefter redovisas resultaten följt av en diskussionsdel. Slutligen ges förslag på vidare forskning runt ämnet som denna rapport behandlar. Det skall tilläggas att för större förståelse av innehållet krävs att läsaren bekantar sig med rapporten i sin helhet.

2.1 Gasformigt släckmedel

Många bränder släcks ofta med vatten, antingen genom en insats av brandkåren eller genom att ett automatiskt sprinklersystem utlöser och fördröjer brandspridningen. Vatten är ett bra släckmedel men det är inte alltid som det uppfyller de krav som ställs på ett släckmedel. I vissa lokaler förvaras kanske elektronisk utrustning som inte klarar av att utsättas för vatten. Det kan då vara aktuellt att använda ett släckmedel som är rent, dvs inte förstör den utrustning som skall skyddas. I ett sådant fall kan det vara lämpligt att använda sig av ett släckmedel som när det utlöses bildar en gas, som släcker branden.

Exempel på gasformiga släckmedel är Halon 1301, koldioxid, argon, kvävgas och Inergen. Det finns ett stort antal olika gasformiga släckmedel och de har olika effektivitet och användningsområden. Denna typ av släckmedel används ofta i datorrum, ombord på flygplan, i passagerarfärjor och inom industrin. Det finns många fördelar med att använda system med gasformiga släckmedel men det är många gånger kostsamt att installera sådana system.

Vatten har använts som släckmedel i många tusen år medan de gasformiga släckmedlen började användas under detta sekel. Det kan vara en av anledningarna till varför kunskap om hur de gasformiga släckmedlen egentligen släcker en brand inte i detalj är känd. Under senare år har intresset för forskning på detta område ökat men det finns ännu många frågetecken. Detta projekt som utförts av två elever på brandingenjörsprogrammet syftar till att reda ut några av de många frågetecken som finns.

2.2 Släckmedels prestanda

Idag används en standardiserad metod för att fastställa ett gasformigt släckmedels prestanda. Detta görs genom att släcka en brand i en konstruktion som kallas Burner Cup. Det finns en hel del kritik riktad mot denna standardiserade metod, där många menar att metoden ger missvisande resultat. Ett exempel på kritiken är att Burner Cup metoden inte påvisar om det krävs en högre släckmedelkoncentration då en extern värmekälla påverkar en brand. Denna externa värmekälla kan utgöras av en annan brand eller av varma brandgaser som strålar värme mot den primära brandhärden.

Det finns en del praktiska erfarenheter ibland experter i släckmedelsbranchen, som pekar på att det krävs mer släckmedel för att släcka en brand vid närvaro av extern värmestrålning. Under de senaste åren har även olika teoretiska modeller försökt förklara att det krävs en högre släckmedelkoncentration vid närvaro av extern värmestrålning jämfört utan närvaro av extern värmestrålning. I detta projekt försöker eleverna, via praktiska försök utforska om dessa påståenden om ökat släckmedelsbehov är riktigt. Projektet har inte till uppgift att verifiera olika teorier utan snarare att påvisa trender av släckmedelsbehov vid olika externa värmestrålningsnivåer.

Dimensionering av släcksystem görs idag på två olika sätt. Det ena med utgångspunkt från resultat av Burner Cup gånger en säkerhetsfaktor 1,2. Ett annat sätt att dimensionera släcksystem

är att använda den bränsle- och släckmedelsspecifika inerteringsgränsen gånger en faktor 0,8. Inerteringsgränsen eller spetsgränsen är den gräns där ingen flamma kan existera, och ofta är den gränsen i närheten av det stökiometriska området. Med stökiometri menas ett idealt förhållande mellan luft och bränsle. Att dimensionera släcksystem enligt inerteringsgränsen ger en större säkerhetsmarginal på bekostnad av att vissa släckmedel närmar sig eller överstiger tolerabla gränsvärden för påverkan på människor. Frågan om vilket av de två sätten att dimensionera släcksystem som är vanligast är svår att besvara.

2.3 Förstudier och preexperimentella försök

Eleverna har studerat olika släckteorier samt olika släckmedels egenskaper för att skapa sig en grund inför utvecklingen av den experimentella utrustningen. Litteraturstudier samt insamlande av information via Internet gav input i form av tidigare experimentella erfarenheter. Sökandet gav dock att ingen redan befintlig experimentell utrustning fanns för att klara extern värmestrålning. Detta medförde att eleverna själva blev tvungna att konstruera den experimentella utrustningen.

Det blev ganska snart uppenbart att tillverkningen av utrustningen skulle bli relativt kostsam varför sponsorer blev en lösning på det problemet. Efter det att sponsorerna beslutat att stödja projektet med likvida medel, viss utrustning, släckmedel samt teknisk kompetens kunde projektet fortsätta. Med hjälp av ett CAD-program gjordes ett ritningsunderlag för den Burner Cup som skulle klara ändamålet. Grundkonstruktionen till utrustningen tillverkades av två mekaniska verkstäder medan vissa delar tillverkades av eleverna. Problemområdena var många och lösningar på vissa problem fick sökas inom andra kompetensområden. Bland de huvudsakliga problemområden som eleverna stötte på kan nämnas följande:

- Brandsäkerhet vid de experimentella försöken.
- Effektmätning vid förbränningen.
- Flödesmätning av luft och släckmedel.
- Hållfasthet på slangmaterial, vilka skulle vara resistent mot vissa kemikalier.
- Kalibrering av mätutrustning.
- Kylning av värmepåverkad del av utrustningen.
- Etsning av kvartsglas p g a av bildande av biprodukter vid användande av halogenerad gas.
- Loggning av data med hjälp av datorutrustning.
- Mixning av släckmedel och luft.
- Släckmedelsuttag från förvaringsbehållare.
- Val av brännarcupdiameter.
- Val av bränsle och hur de valda bränslena beter sig vid brand.
- Val av släckmedel.
- Viktmätning av bränsle vid förbränningen.

2.4 Känslighetsanalys och osäkerhetsanalys

Vid alla experimentella försök finns en viss osäkerhet inbyggd i systemet. Osäkerheter genererar ofta missvisande resultat. Därför är det viktigt att ringa in de osäkerheter som finns och försöka vidtaga åtgärder för att minimera konsekvenser som uppstår till följd av dessa osäkerheter. Ibland några av de parametrar som innehåller ett visst mått av osäkerhet kan nämnas mätutrustning, kvalitet på material som används, operatörsfel, omgivande luftförhållanden som tryck, temperatur, relativ fuktighet mm. Eleverna har i detta projekt försökt lista tänkbara osäkerhetsparametrar samt beskrivit vilka åtgärder som vidtagits för att minimera dessa osäkerheter.

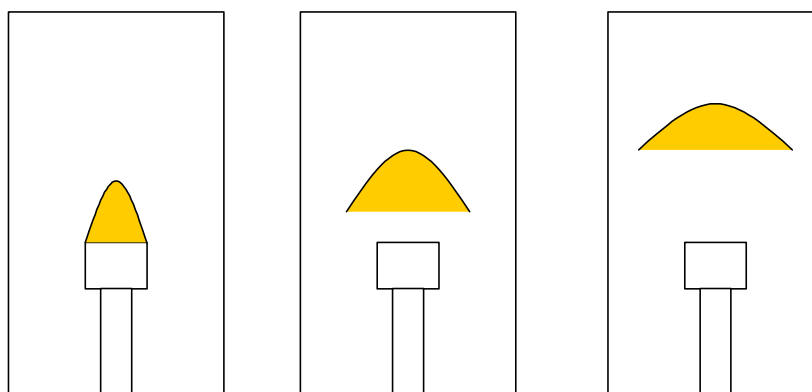
2.5 Experimentiella försök

Resultaten av problemlösningsfasen gav att de bränslen som skulle användas var heptan, metanol och plexiglas. De släckmedel som användes var kvävgas, koldioxid, FM 200, Halon 1301 och Halotron 2b. Anledningen till att dessa släckmedel valdes var att de representerar olika grupper. Dessa grupper var tryckkondenserad gas (Halon 1301, FM 200, Halotron 2b), tryckkomprimerad Inertgas (kvävgas) samt tryckkondenserad Inertgas (koldioxid). Halon 1301 och Halon 1211 är sedan början av 1998 förbjudet att använda i fasta släcksystem i Sverige. Vissa instanser, t ex försvaret, har dock dispens och använder således Halon. Anledningen till att Halon användes i detta projekt var att man ofta refererar till Halon då man jämför olika släckmedels effektivitet. I detta projekt användes Halon endast i liten mängd och i experimentellt syfte.

Som extern värmestrålningskälla användes en sk. konkalorimeter. Denna kan avge värmestrålning från 0-70 kW/m². För att skapa sig en uppfattning om hur mycket 1 kW/m² motsvarar kan nämnas att det är den värmestrålningseffekt som en människa kan utsätta naken hud utan att känna smärta. Om huden utsätts för 9 kW/m² i cirka 20 sekunder uppstår andra gradens brännskador. De flesta trämaterial självantänder vid 20-25 kW/m². I detta projekt valdes 15 kW/m² som den högsta strålningsnivån. Det fanns främst två anledningar till detta, den ena var att ett rum som är utsatt för varma brandgaser övertänds vid 15-20 kW/m², den andra var att vid högre strålningsnivå än 15 kW/m² kan okontrollerbara effektutvecklingar ske vilket skulle kunna utsetta både utrustning och laboranter för fara.

Begreppet ”experimentellt försök” omfattar ett släckmedel, ett bränsle samt en extern värmestrålningsnivå. De värmestrålningsnivåer som de experimentella försöken utförts vid var främst 0, 5, 10, och 15 kW/m². Ett antal experimentella försök utfördes även med andra värmestrålningsnivåer, än de ovan nämnda. Detta för att undersöka vilka släckande koncentrationer som krävdes. Värmestrålningsnivån översteg aldrig 15 kW/m², för de vätskeformiga bränslena, då risken för icke önskvärd brandspridning avsevärt kunde öka. I några försök med plexiglas var strålningen cirka 20 kW/m².

Vid försöken med vätskeformiga bränslen upptäcktes att någonstans mellan 10 och 15 kW/m² fanns det en kritisk strålningsnivå där ett fenomen, av eleverna, kallat flamllyft uppträdde. Detta fenomen uppträdde även vid lägre värmestrålningsnivåer dock inte alls lika omfattande som vid högre värmestrålningsnivåer. Det som var karaktäristiskt för fenomenet var att flambasen, som annars



Figur 2.5.1, Beskriver fenomenet flamllyft. Det gula i figuren simulerar flammen. Från litet flamllyft, vänster i figuren till stort, höger i figuren.

uppträdde strax ovan brännarcupkanten, vid släckmedelspåföring lyftes upp i skorstenen utan att släckas (figur 2.5.1). Då mer släckmedel påfördes lyftes flambasen ytterligare en bit upp i skorstenen. Innan flamllyftning inträffade var flammans färg gulaktig precis som flammen hos ett stearinljus. När flamllyftet inträffade tenderade flammans färgsättning att bli blåaktig. Denna tendens ökade ju mer flammen lyftes, dvs ju mer släckmedel som påfördes.

Vid hög extern värmestrålning höjdes som nämnts flambasen, detta medförde även att höga

släckmedelskoncentrationer i vissa fall krävdes för att släcka flammen. Vid vissa försök krävdes högre släckande koncentrationer än inerteringsgränsen. Varför det krävdes högre släckande koncentrationer än inerteringsgränsen finns det inga bra svar på. Det borde vara en omöjlighet att uppnå en släckande koncentration som överstiger inerteringsgränsen.

Flamlyftning uppträdde för de vätskeformiga bränslena metanol och heptan, dock var det mer framträdande för heptan. Flamlyftning uppträdde även vid försök med plexiglas då högre värmestrålningsnivåer påfördes. Flamlyftning gav sig tillkänna för samtliga släckmedel som användes i detta projekt. Vid vissa försök släcktes flammen vid lägre släckmedelskoncentration än vad som krävdes utan påverkan av extern värmestrålning. Detta anses av eleverna bero på att flammen vid flamlyft blivit instabil och mer känslig för ändringar i luft- och släckmedelsflöden, varför flammen helt enkelt blåstes ut. Det visade sig att detta ofta inträffade vid snabba ändringar av släckmedelsflödet.

För att undvika utblåsning av flammen krävdes det att släckmedlet påfördes försiktigt och stegvis. För att undvika flamlyftning utfördes försök med extern värmestrålning på högst 5 kW/m² för de vätskeformiga bränslena. Försök med plexiglas utfördes med högre värmestrålningsnivåer upp till 15 kW/m².

Det visade sig inte vara helt enkelt att utföra försök med plexiglas då släckresultaten var starkt beroende av den geometri som plexiglasen hade. Till en början användes plexiglas av rundstång, vilket visade sig vara en geometri som inte var tillfredsställande. Senare användes en kvadratisk geometri, men inte heller denna var tillfredsställande då också brinntiden för materialet blev en avgörande faktor för släckresultatet. Efter flera dagars intensivt experimenterande med olika geometrier fann eleverna till slut en lösning på problemet. En kvadratisk plexiglasbit omsluten av en aluminiumlåda visade sig ge bra resultat. Försöken blev relativt tidsberoende och kunde utföras med god repeterbarhet.

2.6 Släckmedel som bränsletillskott

Vid experimentella försök med släckmedlen Halotron 2b och FM 200 gjordes mycket intressanta iakttagelser som förmodligen inte finns dokumenterad i tidigare forskning. Det visade sig att vid påföring av Halotron 2b eller FM 200 ökade den utvecklade förbränningseffekten med ungefär en faktor två ända till släckgränsen. Detta fenomen inträffade endast med metanol och plexiglas som bränsle. Vid användande av heptan förekom ingen noterbar effektökning. En möjlig förklaring till detta fenomen är att då Halotron 2b och FM 200 deltar i förbränningsprocessen frigörs kolatomer som därefter deltar i förbränningen som bränsletillskott. Då släckmedlet passerar förbränningszonen frigörs kolatomerna. Om temperaturen i förbränningszonen, strax ovan bränsleytan, är tillräckligt hög dissocierar de halogenerade kolmolekylerna, där sedan en del kolatomer deltar i förbränningsprocessen.

Varför detta fenomen inte inträffar då heptan används skulle kunna bero på att temperaturen i flammen inte är tillräckligt hög för att en dissociationsprocess skall påbörjas. Heptan brinner med gul flamma medan metanol brinner med en mer blåaktig flamma. Den gula flammen avger högre värmestrålning och därav förlorar flammen energi som orsakar en lägre flamtemperatur för heptan än för metanol /3/.

Kontentan av detta fenomen, då släckmedlet utgör ett bränsletillskott, är att det är viktigt att ett släcksystem med Halotron 2b eller FM 200 inte är underdimensionerat. Ifall ett släcksystem inte har kapacitet att släcka branden kan släckmedlet motverka sitt ändamål och kan härmed förvärra situationen.

3 Resultat

I detta kapitel presenteras de resultat som framkom från de experimentella försöken. Ett experimentellt försök omfattar ett bränsle, ett släckmedel samt en extern värmestrålningsnivå. Antalet experimentella försök uppgick till 159 stycken varav cirka 100 kan användas för utvärdering. Samtliga försök med vissa undantag finns presenterade i bilaga F. (De försök som inte finns presenterade har eleverna valt att av olika skäl inte presentera. Detta påverkar dock inte rapportens eller resultatens helhet). De försök som gjordes för testkörning och intrimning av den experimentella utrustningen är inte inkluderad i de 159 försöken.

Resultaten presenteras här som tabeller och diagram. I tabellerna förekommer resultat från olika brännarcupstorlekar, luftflöden samt släckmedelsflöden. Även försökstiden varierade mellan de olika resultaten. Resultaten som presenteras i detta kapitel är hämtade från bilaga F och utvalda av eleverna. Släckmedelskoncentrationerna är presenterade i intervaller från lägsta till högsta uppmätta värde. De externa värmestrålningsnivåerna som presenteras är i huvudsak 0, 5, 10, 15 kW/m². Ytterligare ett antal värmestrålningsnivåer presenteras där oväntade resultat uppkommit.

De experimentella resultaten påvisar en trend av ökat släckmedelsbehov vid inverkan av extern värmestrålning. Tydligast framgår detta av resultaten från det fasta materialet plexiglas (tabell 3.2.1 resp. diagram 3.2.1-3.2.2.).

För heptan och metanol kan en liknande trend, som för plexiglas påvisas. Dock har det som poängterats tidigare i rapporten förekommit svårigheter att utföra experiment med dessa bränslen tillsammans med extern värmestrålning. De resultat som anses vara presenterbara redovisas i tabellerna 3.1.1-3.1.2 samt i diagrammen 3.1.1-3.1.2.

Det har dock påvisats under vissa experiment då sk. flamlyftning inträffade för heptan och plexiglas en kraftig ökning av släckmedelsmängden. Ibland har dessa värden överstigit inerteringsgränsen (Avvikande resultat, tabell 3.3.1-3.3.2). Detta kan jämföras med den sk. fire point teorin (Appendix A - Teoretisk förstudie) där teorin förespråkar en stor ökning av släckmedelsmängden. Hur detta sambandet är, och om det överhuvudtaget finns något samband överläts till experter på området att bedöma.

3.1 Resultat flytande bränslen

De streckade markeringarna (-) i tabellerna betyder att inga resultat finns att presentera.

Bränsle: metanol	Extern värmestrålning (kW/m ²)			
	0	5	10	15
Släckmedel (vol %)				
FM 200	10,2	----	----	----
Halon 1301	6,3-6,5	7,2	----	----
Halotron 2b	12,5	----	----	----
Kvävgas	41,0-41,8	43,3-43,7	----	----
Koldioxid	28,7-29,4	30,8-31,1	----	----

Tabell 3.1.1, Resultat metanol med extern värmestrålning

Bränsle: heptan	Extern värmestrålning (kW/m ²)			
	0	5	10	15
Släckmedel (vol %)				
FM 200	6,4-6,9	----	----	----
Halon 1301	3,6-3,7	----	----	----
Halotron 2b	8,1-8,4	9,2	----	----
Kvävgas	28,9-29,2	----	----	----
Koldioxid	20,0-20,8	----	----	----

Tabell 3.1.2, Resultat heptan med extern värmestrålning

Släckmedel (vol %)	Bränsle	
	Heptan	Metanol
Halon 1301	3.1, 2.9-3.9, 3.4, 3.5	7.8, 8.0
Halotron 2b	9	12
FM 200	5.8-6.6, 6.6, 6.3, 6.7	9.4, 10.0
Koldioxid	20	29.3
Kvävgas	30, 33.6, 32	43.5

Tabell 3.1.3, Resultat från litteratur /5, 6, 8, 9, 10, 18, 20/

Jämförelser av resultat från experimentserierna i denna rapport och resultat från tidigare Burner Cup- försök visar på en god överensstämmelse, detta i försök utan extern värmestrålning (jämför tabellerna 3.1.1-3.1.3)

För att få en grafisk bild presenteras resultaten för metanol i diagram 3.1.1 nedan. Observera att diagrammen har olika skalor.

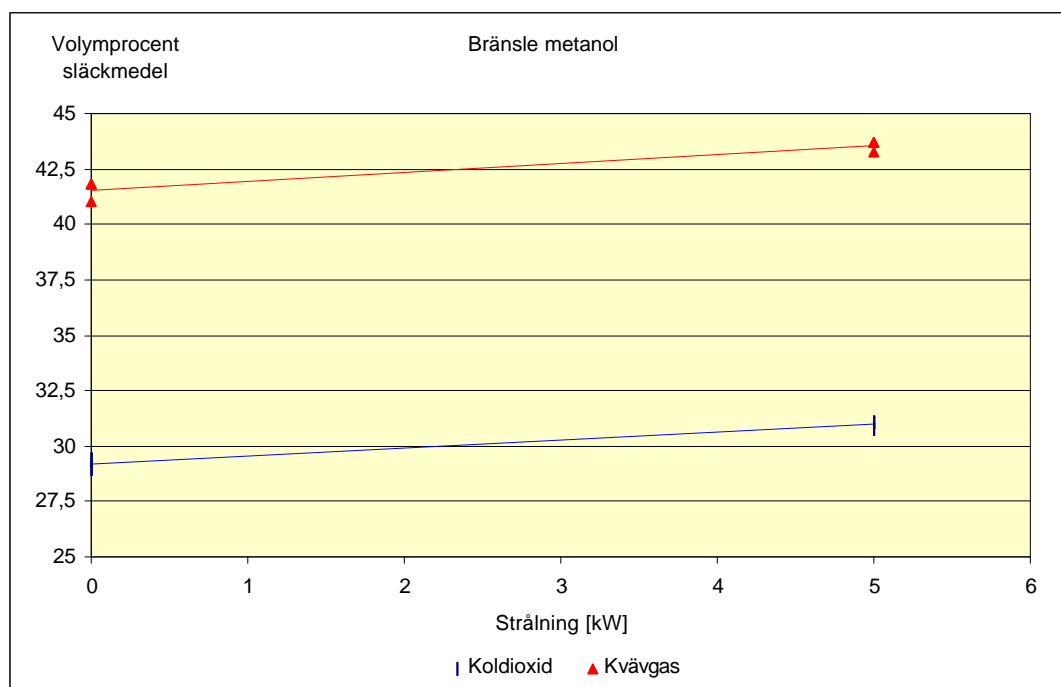


Diagram 3.1.1, Metanols beroende av ökad släckmedelsmängd vid extern värmestrålning för släckmedlen koldioxid och kvävgas.

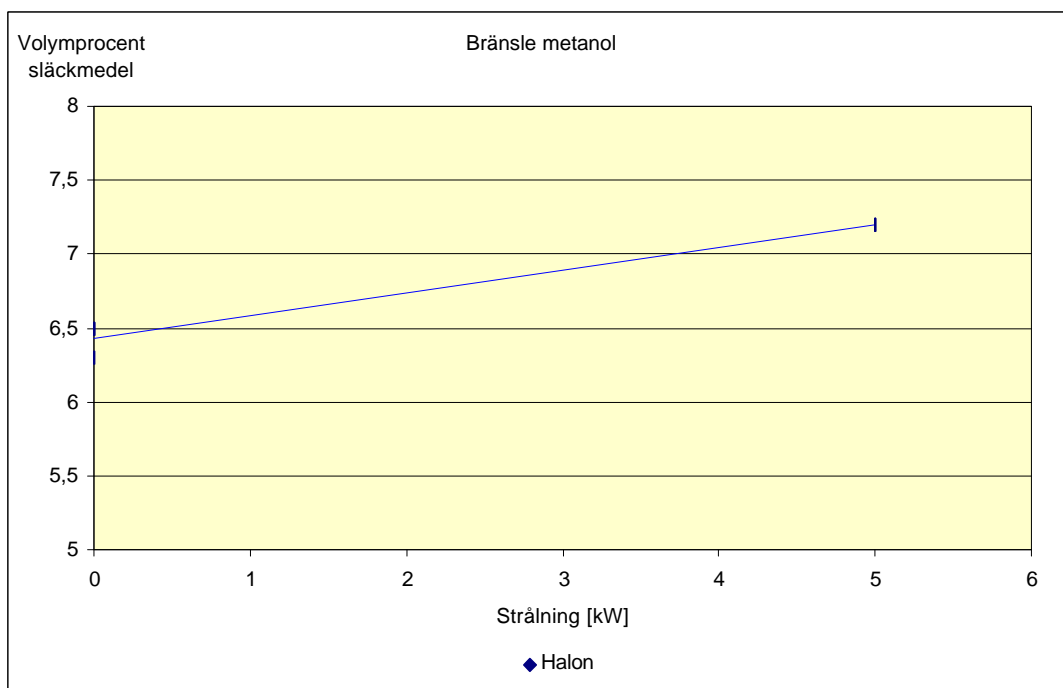


Diagram 3.1.2, metanols beroende av ökad släckmedelsmängd vid extern värmestrålning för släckmedlet Halon 1301.

3.2 Resultat fast bränsle

Resultaten för plexiglas är hämtade från bilaga F och är valda från de försöksserier som gjordes med kvadratisk geometri och aluminiumbehållare applicerad runt plexiglasen.

Bränsle: plexiglas	Extern värmestrålning (kW/m ²)			
	0	5	10	15
Släckmedel (vol %)				
FM 200	6.5	8.2	8.6-8.8	8.9-9.1
Halon 1301	2.7-3.4	5.0	5.8	6.3-6.7
Halotron 2b	9.7-9.9	11.2-12.1	12.1,12.4	12.3-12.6
Kvävgas	27.5-27.9	36.0	39.9-40.6	41.6-44.0
Koldioxid	20.2-20.6	24.7	27.4-28.0	29.9-30.8

Tabell 3.2.1, Resultat plexiglas med extern värmestrålning

I diagram 3.2.1-3.2.2 nästa sida visas resultaten grafiskt. Lagg märke till den relativt höga ökningen av släckmedel upp till strålningsnivån 5 kW/m² för att därefter plana ut. Notera också att det är olika skalor i diagrammen.

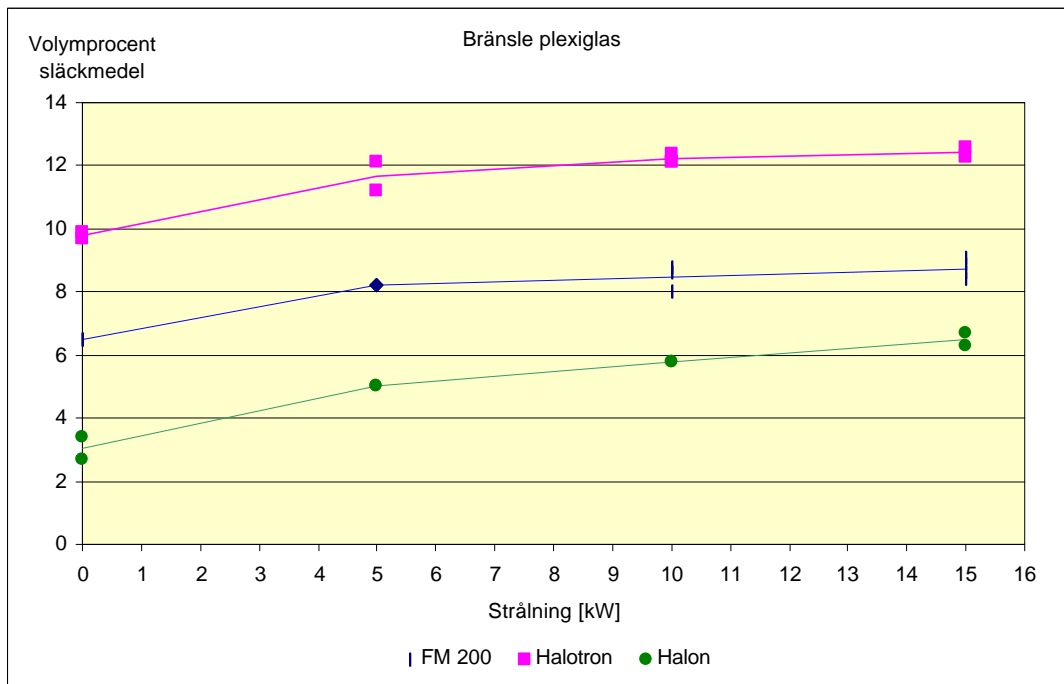


Diagram.3.2.1, Plexiglas beroende av ökad släckmedelsmängd vid extern värmestrålning för släckmedlen FM 200, Halotron 2b samt Halon 1301.

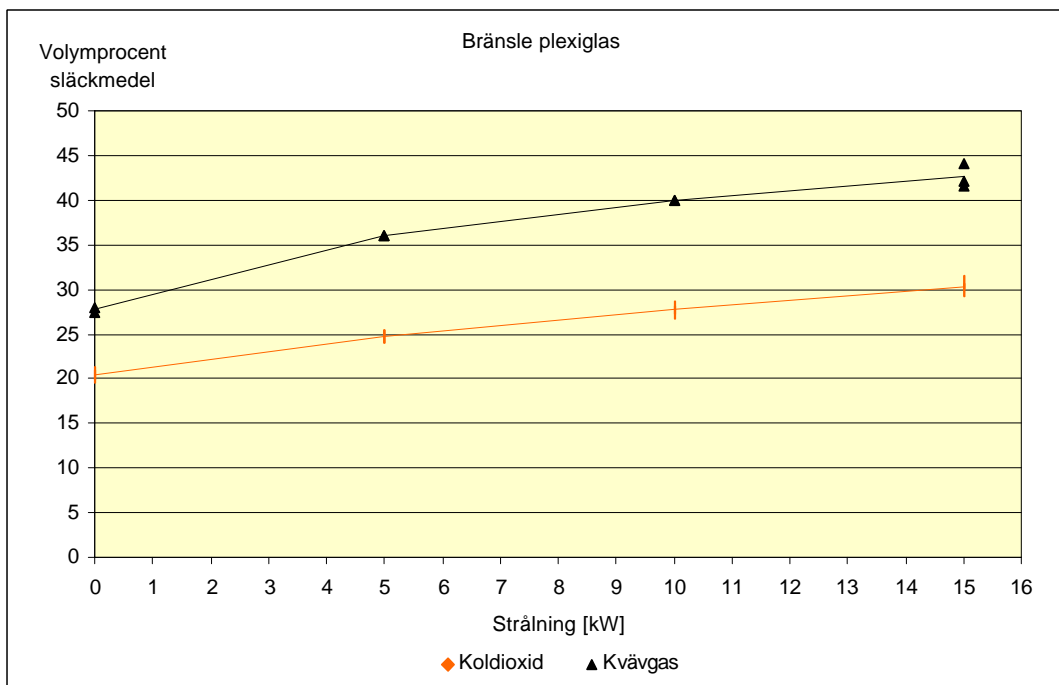


Diagram 3.2.2, Plexiglas beroende av ökad släckmedelsmängd vid extern värmestrålning för släckmedlen koldioxid och kvävgas.

3.3 Avvikande resultat

Några försök gav avvikande resultat där vissa släckresultat översteg inerteringsgränsen. Hur dessa resultat uppstod finns närmare förklarat i Appendix K - experimentserier. Att förklara dessa resultat lämnas åt experter på området. Resultaten redovisas i de två följande tabellerna.

Bränsle: Heptan	Extern värmestrålning (kW/m ²)			
	10.3	11.0	12.5	15.0
Släckmedel (vol %)				
Koldioxid	39.6	48.8	77.3	49.3, 69.9

Tabell 3.3.1, Avvikande resultat för heptan.

Bränsle: Plexiglas	Extern värmestrålning (kW/m ²)			
	20			
Släckmedel (vol %)				
Kvävgas	39.6			

Tabell 3.3.2, Avvikande resultat för plexiglas.

3.4 Diskussion

3.4.1 Dimensionering av släcksystem

Idag använder man sig av resultat från Burner Cup- försök för att dimensionera släcksystem avsedd för rumsskydd (total flooding system). För att vara på den säkra sidan multipliceras detta resultat med en faktor 1,2. Från resultaten i denna rapport framgår att denna säkerhetsmarginal inte är tillräcklig för vissa kombinationer av släckmedel och bränslen, under inverkan av extern värmestrålning. Samtliga släckmedel som användes vid försöken med plexiglas krävde minst en faktor 1,2-1,3 för att släcka flammen vid extern värmestrålning på 5 kW/m². Denna faktor ökade kraftigt med ökad inverkan av extern värmestrålning. Detta visas tydligt med kombinationen Halon 1301 och plexiglas vid extern värmestrålning på 15 kW/m² då faktorn ökade till ca 2,5. Ett annat exempel är kombinationen koldioxid och plexiglas vid motsvarande extern värmestrålning då faktorn ökade till cirka 1,5.

3.4.2 Jämförelse med Fire Point- teorin

Någon vetenskaplig jämförelse med Fire Point- teorin görs inte inom ramen för detta examensarbete. Det kan dock sägas att det exponentiella förhållande mellan extern värmestrålning och massfraktionen släckmedel i figur A.9.2, Appendix A - fire point- teorin kan anses vara rimligt. Om man studerar resultaten i denna rapport kan det utläsas att släckmedelsbehovet ökar mest vid en måttlig ökning av den externa värmestrålningen, dvs upp till 5 kW/m², jämfört när strålningen ökas till 15 kW/m².

En tydlig trend av ökat släckmedelsbehov vid ökning av den externa värmestrålningen kan utläsas för samtliga släckmedel och plexiglas, medan en mindre tydlig trend kan utläsas för samtliga släckmedel och metanol. Trenden för heptan som bränsle är osäker på grund av osäkra resultat vid de experimentella försöken. Denna osäkerhet beror av de svårigheter som uppstod då extern värmestrålning påfördes metanol och framförallt heptan.

3.4.3 Problem att hantera metanol och heptan

Då den externa värmestrålningen ökade blev det problematiskt att utföra försök med heptan och metanol. Förångningen av bränslet blev så stor att flammen troligtvis övergick till att anta den förblandade flammans karaktär. Flammen blev instabil och en reglering av luft- eller släckmedelsflöde orsakade ofta släckning, långt under förväntad släckkoncentration. Situationen blev ibland den omvända då det nästan var omöjligt att släcka flammen. I tabell 3.3.1 - 3.3.2 sidan 25 redovisades några försök då flammen knappt gick att släcka. Den metod som fick tillgripas var att sänka luftflödet till ett närmast obefintligt flöde medan släckmedel påfördes i den mån flödesmätarna hade kapacitet till. Att förklara detta ambivalenta fenomen överlämnas till någon sakkunnig.

3.4.4 Halotron och FM 200 som bränsle

Den märkliga upptäckt som gjordes i samband med påföring av Halotron 2b och FM 200 har skapat frågetecken. Då dessa släckmedel påfördes brinnande metanol och plexiglas registrerade RHR- utrustningen en ökad effektutveckling. Denna effektutveckling var även okulärt märkbar då flammen ökade i längd och omfång. Effekten ökade ända fram till släckgränsen och var därmed dubblerad för Halotron 2b (bilaga D, E). Effekttökningen för FM 200 visade sig vara ännu större (bilaga D, E). Det sker förmodligen en dissociation av de molekyler som har kolatomer, där kolatomerna frigörs och deltar i förbränningsprocessen. Det som var märkligt var att detta fenomen inte uppträdde då heptan användes som bränsle. Kanske har detta sin förklaring i att heptan med sin gulaktiga flamma inte uppnår lika hög temperatur som metanol- och

plexiglasflammorna. Det skall förresten vara osagt om plexiglasflamman har en högre temperatur än heptanflamman.

Ett släcksystem med Halotron 2b eller FM 200 som är underdimensionerat skulle kunna ge motsatt verkan än den önskade vid händelse av brand. Låt säga att släckmedlet inte klarar att släcka branden utan istället bidrar som bränsle, då kan man snabbt räkna ut att det förvärrar situationen. Det krävs förmodligen vidare forskning kring denna problematik.

3.4.5 Släckresultat jämfört med tidigare Burner Cup försök

De resultat som framkommit i denna rapport och som jämförts med resultat från annan litteratur visar att den Burner Cup som konstruerats inte nämnvärt ger avvikande försöksresultat. Syftet med projektet har inte varit att jämföra resultat men det ger ändå en fingervisning om att försöken kan anses vara väl utförda.

3.4.6 Plexiglasgeometri

Det krävdes ett antal dagars experimenterande innan problemet med plexiglasets repeterbarhet löstes. Den aluminiumlåda som blev lösningen på problemet gav försöksserierna med plexiglas en framträdande roll i detta examensarbete.

3.4.7 Burner Cup Extreme

Det har tidigare nämnts att arbetet med Burner Cup Extreme- utrustningen stoppats på grund av relativt kostsamma investeringar. Då denna rapport är under skrivande meddelas att likvida medel inkommit från Brandforsk. Detta är ett positivt besked och det talar för att intresset av att vidare studera apparatberoende hos Burner Cup finns. Det finns dock ingen möjlighet att i inom ramen för detta projekt färdigställa konstruktionen av Burner Cup Extreme, utan det får avhandlas i ett annat projekt.

3.4.8 Underlag för vidare forskning

För den intresserade kan de resultat, diagram och erfarenheter från detta arbete användas för vidare forskning. Det är förmodligen möjligt att närmare studera de derivator som kan utläsas i diagrammen för att utröna om det finns en kritisk massavbrinning hos ett bränsle vid släckögonblicket. Resultat från våg, dvs viktninskning, samt resultat från RHR- plottingen kan jämföras och eventuellt analyseras vidare.

3.5 Förslag på vidare studier

Under arbetets gång har det uppstått några tankar om vad som skulle vara intressant att studera i nya projekt. Nedan nämns förslag på tänkbara studier.

- Att finna släckkoncentration hos gasformiga släckmedel med extern värmestrålningpåverkan vid förbränning av vätskeformigt bränsle i en utrustning med annan utformning än Burner Cup. Detta skulle påvisa hur beroende släckresultaten är av försöksutrustningen.
- Att utforska vilken massavbrinning ($\text{kg}/\text{m}^2\text{s}$) som råder vid släckögonblicket. Det skulle kunna visa om det finns något beroende mellan massavbrinning och släckkoncentration.
- Att utföra släckförsök med extern värmestrålningpåverkan med ett annat fast material än plexiglas. Det är en fördel om det fasta materialet brinner med någorlunda konstant effektutveckling.
- Att närmare undersöka varför den utvecklade förbränningseffekten fördubblas strax innan släckögonblicket vid användande av Halotron 2b samt FM 200.
- Att undersöka orsaken till att den utvecklade förbränningseffekten kraftigt ökar vid användande av Halotron 2b och FM 200 när bränslet är metanol eller plexiglas medan förbränningseffekten inte ökar med samma släckmedel för heptan som bränsle.
- Att undersöka varför, det med vätskeformiga bränslen (heptan, metanol) och hög extern värmestrålningpåverkan ($10\text{-}15 \text{ kW}/\text{m}^2$), ibland behövs släckande koncentrationer långt över inerteringsgränsen.
- Att utföra försök i Burner Cup Extreme för att utreda i vilken utsträckning apparaturens utformning inverkar på släckresultaten.

4 Litteraturförteckning

- /1/ *Brandposten* nr 13, 1995 Sveriges provnings- och forskningsinstitut
- /2/ Delichatsios M.A, Delichatsios M.M, *Critical mass pyrolysis rates for extinction of fires over solid materials*, FMRC Norwood, MA 02062 USA
- /3/ Drysdale Douglas, *An Introduction to Fire Dynamics*, (New York USA 1985), ISBN:0-471-90613-1
- /4/ *Fire safety journal* vol. 26 No 3 April 1996, *Burning rate and flame heat flux for PMMA in a Cone calorimeter*, Rhodes B, Quintiere J ISSN: 0379-7112
- /5/ *Fire Safety Journal* vol.27, 1996, *Flame-extinguishing concentration and peak concentrations of N₂, Ar, CO₂ and their mixtures for hydrocarbon fuels*, Saito N et.al
- /6/ *Fire Technology* First Quarter 1993, *Scale effect of Cup Burner on flame-extinguishing concentration*, Saso Y, Saito N, Iwata Y, Fire Research Institute; Mitaka Tokyo Japan
- /7/ *Fire Technology* Second Quarter Vol. 35 No. 2, 1999, *Uncertainty of heat release rate calculation of the ISO5660-1 Cone calorimeter standard test method*, Enright P, Fleischmann C, Department of civil engineering, New Zealand
- /8/ Holmstedt G, *Kompendium i släckmedel och släckverkan*, Institutionen för brandteknik, LTH, 1998
- /9/ Internet: <http://www.fri.go.jp/shouka2/ecdata.html>
- /10/ Internet: <http://www.fm-200.com/product/cup.htm>
- /11/ Isaksson S, Simonson M, Holmstedt G, *Gasformiga alternativ till halon som släckmedel*, SP rapport 1997:10 ISSN:0284-5172
- /12/ *Journal of fire protection eng.* ,4 1992, *A unified model of fire suppression*, Beyler C
- /13/ Karlsson B, Quintiere J, *Enlosure Fire Dynamics*, LTH Brandteknik, 1998
- /14/ Olsson S, *Calibration of radiant heat flux meters- The development of a water cooled aperture for use with back body cavities*, SP report 1991:58
- /15/ Olsson S, *Calibration of thermal radiometers- the development of a new method*, SP report 1989:04
- /16/ Olsson S, *Mätteknik för brandtekniker- mätning av temperatur, tryck och flöde*, SP rapport 1988:34
- /17/ Persson B, Wetterlund I, *Tentative guidelines for calibration and use of heat flux meters*, SP report 1997:33 ISSN: 0284-5172

- /18/ *The SFPE handbook of fire protection engineering*, 2nd Edition, NFPA 1995 ISBN:0-87765-354-2
- /19/ *Kemiska hälsorisker, toxikologi i kemiskt perspektiv*, Hermods 1983, ISBN: 91-23-925930
- /20/ Jan Andersson BEJARO AB

Appendix A - Teoretisk förstudie

Innan arbetet påbörjades med att konstruera en Burner Cup, som skulle klara av att utsättas för extern värmestrålning, studerade eleverna teorier kring tidigare försök med Burner Cup. Syftet med studierna var att lära av de erfarenheter som redan fanns inom området samt att få ideer och inspiration hur en Burner Cup kan konstrueras. Diverse släckteorier studerades för att bättre förstå släckmedlens olika verkan. Här behandlas dock inte teorier för släckmedel på ett ingående sätt utan endast en mindre orientering görs.

A.1 Förblandade- och diffusionsflammar

Genom att luft och brännbar gas blandas får man förblandade flammar. Huvuddelen av den kunskap som finns idag om detaljerad släckmedelsverkan i gasfas berör förblandade laminära flammar. En diffusionsflamma kan definieras som en flamma i vilken bränslet och syret i början är oblandade. Diffusionsflammar delas in i två kategorier, dels laminära diffusionsflammar, dels turbulenta diffusionsflammar. Vid de flesta bränder är pyrolysgaserna inte blandade med luften utan utgörs till stor del av turbulenta diffusionsflammar /8/. Att överföra släckmedelskoncentrationer från försök med förblandade flammar till diffusionsflammar är behäftad med stor osäkerhet. Det krävs alltid en högre släckmedelskoncentration för att släcka en stökiometrisk förblandad flamma än motsvarande diffusionsflamma.

Det finns mycket information om släckgränser och inverkan av släckmedel på den laminära förbränningshastigheten, för förblandade flammar. Information saknas dock i de flesta fall om hur släckmedlet påverkar flammorna innan de släcks t.ex. förändrad effektutveckling, temperatur, strålning, och sotning mm. Den högsta släckmedelsåtgång som behövs för att släcka en förblandad flamma kallas inerteringsgränsen (spetsgräns) och den infinner sig ofta nära stökiometrisk blandning. En flamma kan inte existera över inerteringsgränsen oberoende av bränsleluftförhållanden. Inerteringsgränsen är beroende av vilket bränsle som används samt vilket släckmedel som tillförs /8/.

Det krävs ofta mindre släckmedel för att i gasfas släcka en diffusionsflamma jämfört en förblandad flamma. Detta beror till största del på att värmeförlusterna är större i en diffusionsflamma. Det kan förklaras med att mer utgående värmestrålning sänds ut från diffusionsflammar samt att de oftare kommer i kontakt med ytor som verkar som värmesänkor. Dock finns det indikationer på att större diffusionsflammar (större än en meter), behöver ökad kylning för att kunna släckas. Kylningen som krävs närmar sig de förhållande som krävs för att släcka en förblandad flamma.

Någon släckgräns för diffusionsflammar motsvarande inerteringsgränsen finns inte. Att dimensionera ett släcksystem för förblandade flammar, då man endast förväntar sig diffusionsflammar blir alldeles för kostsamt.

A.2 Släckmedel

De släckmedel som används i försöken i detta projekt är gasformiga släckmedel. Gasformiga släckmedel används ofta vid rumsskydd sk. total flooding systems, men kan även användas som punktskydd. En stor fördel med gasformiga släckmedel är att de är rena vid utlösning jämfört med vatten eller pulver som kan orsaka stora sekundärskador. Det finns två sätt att lagra gasformiga släckmedel, det är tryckkondenserade gaser och tryckkomprimerade gaser. Bland de tryckkondenserade finns halogenerade gaser och koldioxid. De tryckkondenserade gaserna kallas inertgaser och består av kväve eller argon eller blandningar av dessa. Inergen är handelsnamnet på ett släckmedel som innehåller kväve, argon och lite koldioxid. Detta får ses som ett undantag

till de två huvudgrupperna.

A.3 Halon och halonersättning ODP- faktor

I Sverige har användandet av Halon 1301 och 1211 i fasta installationer varit förbjudet sedan början av 1998, med undantag för vissa objekt som fått dispens. Försäljning av handbrandsläckare och nyinstallation av fasta släcksystem har varit förbjudet sedan juli 1991. Det som föranlett dessa förbud är att Halon har en hög ODP-faktor (Ozon Depletion Potential) som är ett mått på ett ämnes ozonnedbrytande förmåga.

Halon 1301 anses vara det mest effektiva släckmedlet för nästan alla bränder dock inte på bränder med reaktiva metaller, snabba oxidationsmedel och djupa glödbränder. Halon 1301 har dessutom flera andra positiva egenskaper t.ex. elektriskt icke ledande, icke korrosivt vid oönskad aktivering, ofarligt för människor (vid släckande koncentrationer), kostnadseffektivt mm /8/.

För att ersätta Halon 1301 och 1211 har andra halogenerade gaser fått en framträdande position. De har många liknande egenskaper som Halon 1301 har. De är alla icke elektriskt ledande, rena och ofarliga vid släckande koncentrationer mm. De är dock inte lika effektiva per vikt som Halon 1301, samt avger de mer termiska nedbrytningsprodukter (HF) än Halon 1301 vilket inte är bra. Halonersättningsmedlen har ingen ODP- faktor men de påverkar miljön på ett annat sätt genom att bidra till växthuseffekten. Man säger att de har en hög GWP- faktor (Global Warming Potential).

A.4 Släckverkan

Då Halon 1301 och 1211 används som släckmedel är det tre processer som får branden att slockna. Det är via spädning och som termisk ballast, dvs genom kylning, samt genom kemisk verkan där den fria radikalprocessen påverkas. Inertgaserna samt koldioxid släcker genom att verka som termisk ballast samt via spädning.

A.5 Toxicitet

Kvävgas är inte toxiskt i sig men de stora kvantiteter som krävs för släckande koncentration tränger undan luften och kan orsaka asfyxi dvs. syrebrist. Koldioxid är dödligt vid släckande koncentration, vilket medför att en lokal med rumsskydd måste utrymmas innan systemet kan utlösas. Halon 1301 är inte toxiskt i opåverkat tillstånd men då det används i brandsläckning bildas nedbrytningsprodukter som HBr och HF. Denna nedbrytningsprocess börjar vid ca 400°C samt ökar i närvaro av vattenånga. Halotron 2b och FM 200 bildar främst nedbrytningsprodukten HF. Studier av nedbrytningsprodukter har visat på förekomsten av HF, HBr, HCl, HI, Br₂, F₂, I₂, COF₂ och COCl₂.

A.6 Burner Cup

Den internationellt vanligaste metoden att testa olika släckmedels släckeffektivitet på mindre flammor är att använda en Burner Cup /8/. Släckmedlet blandas med luft innan det tillförs branden som skall släckas, se figur A.6.1 nästa sida. Det finns flera anledningar till varför Burner Cup används flitigt. De mest betydande anledningarna är att utrustningen är förhållandevis billig, små mängder släckmedel krävs, utrustningen är lätt hanterbar och metoden har använts i många år och därför blivit accepterad att referera till.

Nackdelen med denna utrustning är att den finns i ett varierande antal modeller som delvis ger olika resultat. Ytterligare en nackdel är att resultaten är svåra att jämföra med fullskaliga anläggningar /8/.

Bränsleflödet för gasformiga bränslen är avgörande för vilka släckresultat som uppnås. För fasta och vätskeformiga bränslen är situationen än mer komplex. Japanska forskare /6/ har utfört ett antal experiment för att undersöka om det finns något beroende mellan olika Burner Cup storlekar och släckande koncentrationer. I dessa undersökningar framkom det att ett antal parametrar har stor betydelse för släckresultaten. De parametrar som visade ha en avgörande betydelse var: brännarcupdiameterns storlek och höjd samt diametern på det yttre röret, kvartsglasets dvs. skorstenen.

Det skall tilläggas att i de japanska försöken justerades luftflödet för att ge samma flödehastighet oavsett diameter på ytterröret. Lufttillförseln har stor betydelse för hur flammans geometriska utbredning påverkas, vilket kan göra en flamma instabil. Denna instabilitet har visat sig vara viktig för hur lätt eller svårt en flamma slocknar. Japanarna använde sig av endast ett släckmedel, Halon 1301, i försöken medan de bränslen som användes var etanol, n-heptan och toluen. Användandet av endast ett släckmedel kan ge att ännu fler parametrar kan vara av betydelse eftersom andra släckmedel främst släcker genom termisk verkan jämfört med Halon 1301 som både släcker genom termisk verkan och påverkan av fria radikalbildningsprocessen i flammorna, dvs kemisk verkan.

Trots att det på senare år blivit känt att resultat från Burner Cup är apparatberoende fortsätter olika branscher att använda sig av dessa. En anledning till detta kan vara att många släcksystem är dimensionerade utifrån Burner Cup och en ändring av befintliga släcksystem skulle vara allt för kostsamt.

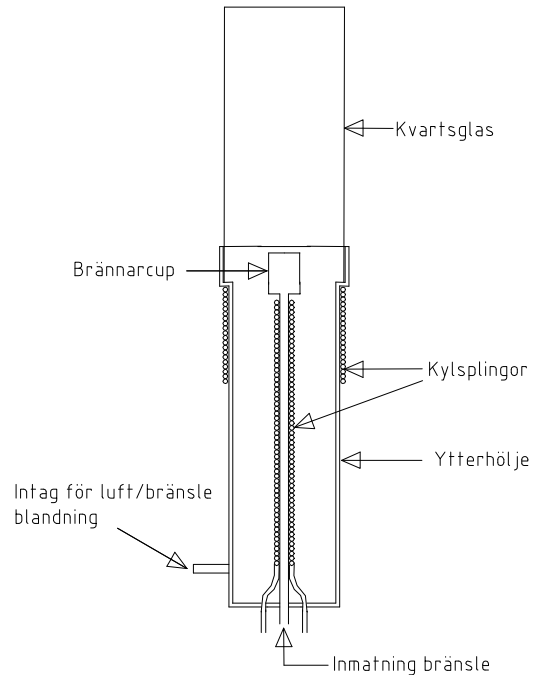
A.7 Hur dimensioneras släcksystem idag?

Dimensionering av släcksystem görs idag på två olika sätt. Det ena med utgångspunkt från resultat av Burner Cup gånger en säkerhetsfaktor 1,2. Ett annat sätt att dimensionera släcksystem är att använda den bränsle- och släckmedelsspecifika inerteringsgränsen gånger en faktor 0,8. Inerteringsgränsen eller spetsgränsen är den gräns där ingen flamma kan existera och ofta är den gränsen i närheten av det stökiometriska området. Med stökiometri menas ett idealt förhållande mellan luft och bränsle. Att dimensionera enligt inerteringsgränsen ger en större säkerhetsmarginal på bekostnad av att vissa släckmedel närmar sig eller överstiger tolerabla gränsvärden för påverkan på människor.

A.8 Konkallorimetern

Konkallorimetern används idag flitigt över hela världen. Det är en accepterad tekniskt apparat som används på många olika sätt, (figur A.8.1 nästa sida) Den kan användas inom många olika områden och här nämns några av dess funktionsområden:

- Effektiv förbränningsvärme
- Massavbrinning



Figur A.6.1, Burner cup

- Antändlighet
- Rök och sotproduktion
- Toxiska gaser

Konkalorimetern består av en horisontellt placerad kon med värmeslingor. Konen är placerad under en öppen huv med en fläktutsugsanordning. Längre in i fläktkanalen kan sedan prov tas på förbränningsgaserna för vidare analys. Konkalorimetern uppfyller de krav som bl.a. ställs inom olika standardiseringsorgan t.ex. ISO 5660, ASTM E 1354 /8/.

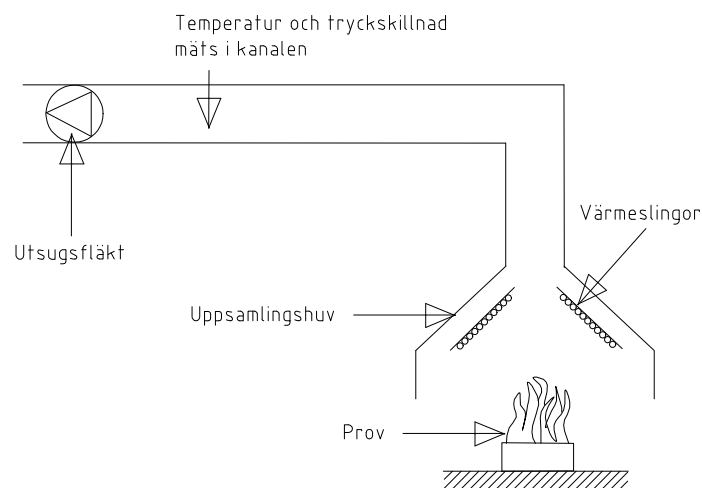


FigurA.8.1, Principskiss för Konkalorimetern

A.9 Fire point teorin

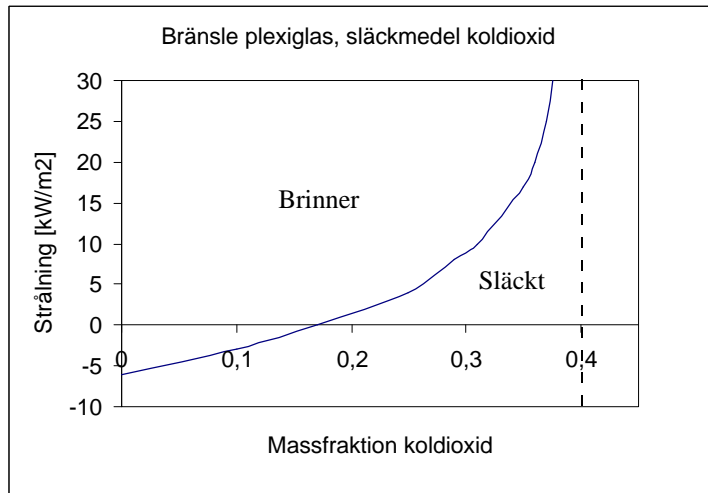
En teoretisk modell som bygger på hur värmebalansen för en yta påverkas under ett släckförlopp har fått namnet *Fire Point teorin*. Denna teori utvecklades av Rasbach samt vidareutvecklades av Beyler /12/. Ytterligare utveckling av Fire Point teorin har Delichatsios /2/ gjort i sina studier kring kritisk massavbrinring. Dessa teorier är komplicerade och därför nämns endast huvuddragen i denna rapport.

Skaparna av Fire Point teorin har utformat ett antal ekvationer som bl a innefattar en ingenjörsmässig metod för att beräkna den omgivande miljö som krävs för att hålla en flamma vid liv samt vad som orsakar släckning av flammen.

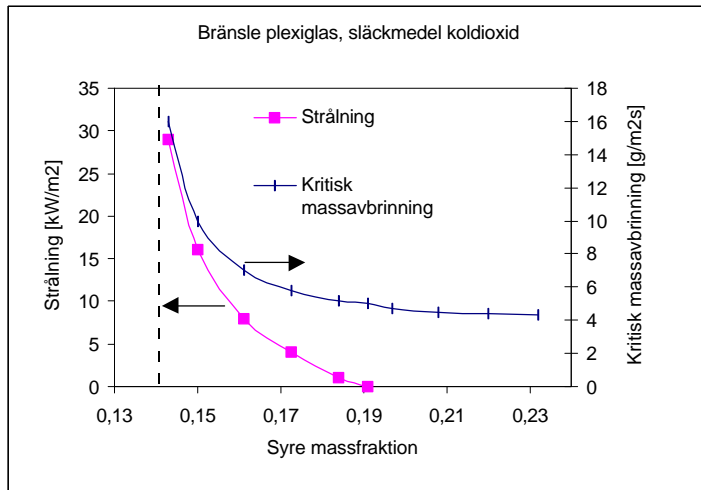
Ekvationen är baserad på en energibalans vid bränsleytan och en modell för släckning av den gasformiga flammen. Ekvationen tar hänsyn till extern värmestrålning, verkan av ett släckmedel samt värmesänkor. Ekvationen är i sin mest användbara form gällande för quasistatiska brandförlopp men kan också generaliseras till att gälla för transienta brandförlopp.

Utan att ytterligare fördjupa sig i dessa teorier kan konstateras att teorierna, *A unified model of*

fire suppression /12/, påvisar att det krävs en ökad släckmedelskoncentration för att släcka en flamma som påverkas av extern värmestrålning än en flamma som inte påverkas av extern värmestrålning, (figur A.9.1). Enligt figuren ger teorin att ett nästan exponentiellt samband mellan mängden släckmedel och inverkan av extern värmestrålning är att vänta.



Figur A.9.1, Visar hur släckmedelsmängden ökar då den externa värmestrålningen ökar.



Figur A.9.2, Visar hur kritisk massavbrinning förhåller sig till extern värmestrålning.

Delichatsios /2/ utvecklar sina teorier till att påvisa att en kritisk massavbrinning för fasta material existerar. Det krävs en viss förångning från ett fast bränsle för att en flamma skall existera. Delichatsios menar att denna teorin bättre förklarar fysikaliska fenomen samt är mer generell än tidigare teorier. Modellen gäller inte enbart kritisk masspyrolys utan även konvektivt värmeflöde till bränsleytan, (figur A.9.2). I figuren framgår att kritiska villkor existerar när bränsleytans energi förlust är tangenten till det konvektiva värmeflödet.

Appendix B - Praktisk förstudie

B.1 Preexperiment

Det är av stor vikt att en transient värmetransport inte uppstår i vätskan eller i brännarcupen. Ett transient förlopp innebär successiv uppvärmning av bränslet vilket medför ökad förångning vilket leder till att massavbrinningen ökar med tiden. Detta skulle kunna resultera i en okontrollerbar förbränning där sk. stötkokning kan äventyra försöken.

För att undersöka hur värmeledningen fortplantar sig, i en liten vätskebehållare utsatt för extern värmestrålning tillverkades en brännarcupprototyp. Brännarcupen tillverkades av rostfritt stål, (bild B.1.1). Fyra termoelement monterades i prototypen för att möjliggöra mätning av värmetransport i vätskan. Två termoelement monterades på utsidan av röret under brännarcupen, dvs på röret. Termoelementen anslöts till en datorlogg där de uppmätta temperaturerna kunde loggas och senare analyseras. För att möjliggöra en konstant vätskenivå i brännarcupen användes ett kommunicerande kärl. Kärlet bestod av en plastdunk samt en armerad tryckluftsslang för kommunikation med brännarcupen (bild B.1.2).

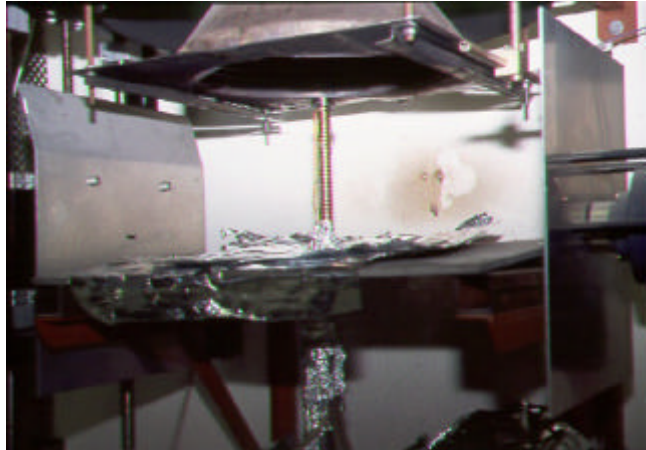


Bild B.1.1, visar brännarcupprototypen installerad under konkalorimeterns huv. Notera kylslingorna av koppar som omger brännarcupen.



Bild B.1.2, visar plastdunken som fungerade som kommunicerande kärl. Lägg märke till termoelementens sladdar och datorns kopplingsplint upp till höger i bild.

Brännarcupen placerades under konkalorimeterns värmeslingor som vid upphettning genererar värmestrålning. Kärlet fylldes med vatten till dess att nivån i brännarcupen var tillfredsställande, vilket i detta fall var ca 3 mm under brännarcupens kant. Därefter startades datorloggen samt konkalorimetern. Det visade sig efter några minuter att värme transporterades i vätskan och i metallen, vilket inte var ett oväntat resultat. Slutsatsen blev att den värme som alstrades måste föras bort på något sätt.

Ett tunt kopparrör lindat som slingor runt brännarröret applicerades under brännarcupen. I kopparröret fick kylvatten strömma med hastigheten 1 liter per minut. Ett nytt försök med extern värmepåföring visade att kylningen gav effekt dvs motverkade värmetransporten, (diagram B.1.1). Det skall tilläggas

att en viss uppvärmning av brännarcupen alltid var närvarande trots att en del av värmen transporteras bort via kopparröret. Anledningen till att inget kopparrör applicerades direkt på brännarcupen var att brännarcupen i en senare konstruktion, skulle kunna bytas mot en annan brännarcupdiameter. I försöken med kylning flyttades termoelementen varför diagrammen inte är helt jämförbara med tidigare diagram.

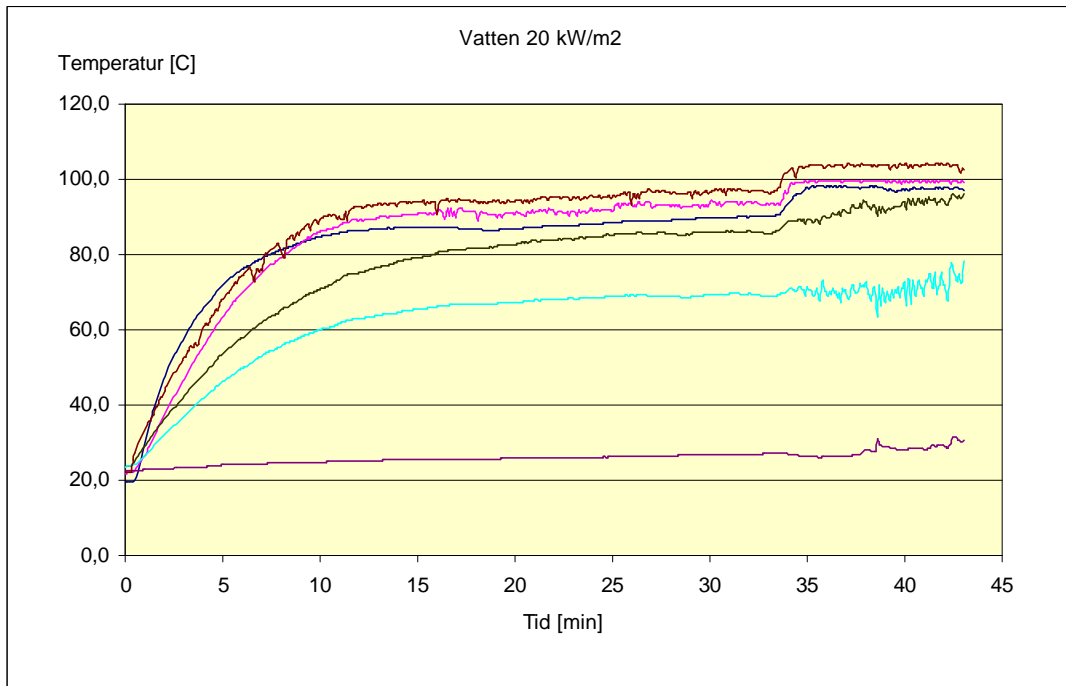


Diagram B.1.1, Försök med vatten. Vattnet utsätts för en strålning på 20 kW/m². Det var totalt 6 stycken termoelement utplacerade i brännarcupen på olika nivåer.

Försök gjordes även med metanol. Metanolen antändes och extern värme­strålning från kon­kalorimetern applicerades. Här visade försöken att kylningen fungerade bra trots tillskottet av värme­strålning från den brinnande metanolen (diagram B.1.2) nedan.

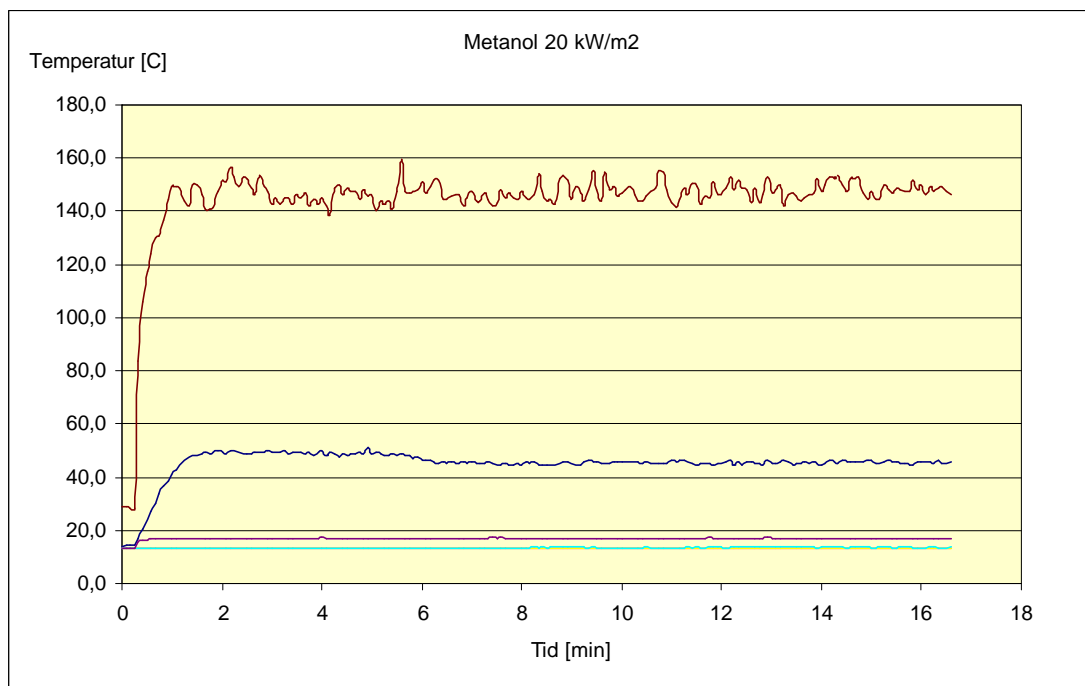


Diagram B.1.2, Försök med metanol. Metanolen utsätts för en värme­strålning på 20 Kw/m². Trots denna höga strålning ser man tydligt att en konstant temperatur kan hållas med vattenkylning i metanolen. Den övre kurvan i diagrammet visar temperaturen strax under ytan. De andra kurvorna visar temperaturen längre ned i brännarcupen samt brännarröret.

Vid försök utan kylning för metanol skedde sk. överkokning. Denna överkokning medförde en mindre brandspridning kring konkalorimetern vid ett försök. Ett snabbt ingripande där det kommunicerande kärlet (plastdunken) sänktes till en lägre nivå över golvet hindrade mer metanol från att koka över. Denna erfarenhet resulterade i ett ökat säkerhetstänkande med inövade brandbekämpningsprocedurer som en del av säkerhetsarbetet.

B.2 Provelldning av flytande bränslen

För att lära sig hur olika brännbara vätskor beter sig då de brinner gjordes ett antal försök. Val av bränsle gjordes utifrån de bränslen som tidigare använts i Burner Cup försök. De bränslen som valdes att undersökas närmare var aceton, heptan, metanol och toulén. Det skall nämnas att det går att lära sig en del om bränslen genom att studera litteratur, men det ger inte den rätta känslan av hur ett bränsle beter sig i verkligheten. Det visuella intrycket ger ofta mer information än vad litteratur kan ge.

Syftet med att studera bränslena var att lära sig med vilken massavbrinningshastighet som bränslena brinner samt vilken mängd brandgasproduktion (sot) som alstras. Även bränslets överkokningstendenser var av intresse. En svarvad, cirkulär ($d=50\text{mm}$, $h=10\text{mm}$), mässingsskål användes som kärl. Kärlet fylldes till bredden och fick sedan brinna under ett fläktutsug. Brinntiden och andra intryck noterades och finns samlade i tabell B.2.1 nedan.

Bränsle	Sotproduktion	Överkokningstendens	Intensitet	Massavbrinning Uppmätta (kg/s)	Massavbrinning Beräknade (kg/s)
Aceton	Stor	Stor	Som bensen	38,8 E-6	7,3 E-6
Heptan	Stor	Stor	Som bensen	36,8 E-6	10,6 E-6
Metanol	Liten	Liten	Blå låga	32,6 E-6	33,4 E-6
Toulén	Mycket stor	Mycket stor	Som bensen	----	----

Tabell B.2.1.

Den slutsats som försöken resulterade i var följande:

- Toulén lämpar sig inte p.g.a. mycket stor sotproduktion (I en japansk undersökning /5, 6/ framkom även där att toulén inte lämpar sig för test p.g.a. stor sotproduktion) vilket skulle kunna orsaka problem för utrustningen men framförallt svårigheten att bemästra den mycket stora överkokningstendensen. Toulén är dessutom giftigt /19/ och till viss del cancerogent då viss mängd bensen kan förekomma i toluenet.
- Aceton, heptan och metanol har hanterbar sotproduktion samt hanterbar överkokningstendens. Metanolen var dock överlägsen de andra i dessa aspekter.
- Beräknad och uppmätt massavbrinning för aceton och heptan avvek till viss del från varandra. Detta beror till stor del på att dessa bränslen är diameterberoende och att de formler som används för beräkning är avsedd för större pöldiametrar än den använda.
- Beräknad och uppmätt massavbrinning för metanol är i stort densamma vilket stämmer med teorin att metanol är i stort oberoende av pöldiametern. Återstrålningen och randeffekter är mindre för blå flammor än för gula flammor.

B.3 Provelldning av fast bränsle

För att inte enbart studera vätskeformiga bränslen gjordes även en förstudie på ett fast brännbart material. Det är viktigt att det fasta materialet inte övergår till vätska då det brinner. Om så vore

fallet skulle det innebära att bränslet skulle bete sig som en vätska. Många fasta bränslen t.ex. trä har ett kraftigt transient brandförlopp. Detta resulterar i svårigheter att utföra repeterbara försök eftersom effektutvecklingen blir mycket tidsberoende. Plexiglas (PMMA) har ofta använts vid tidigare studier av fasta bränslen då det uppfyller kraven på att inte övergå till vätskefas, samt endast har ett litet transient brandförlopp dvs. nästan konstant massavbrinning med tiden.

Vid prov användes plexiglas av rundstång ($d=30\text{mm}$) som antändes med en gasolbrännare, vilken fick förvärma i 5-10 sekunder för att plexiglasen skulle brinna. Det som observerades var att sotbildningen var måttlig samt att plexiglasen brann med jämn och fin låga (kan jämföras med lågan på en marshall). Det fanns inte några tecken på att plexiglasen smälte, dock blev det mjukare av värmen. Två försök utfördes för att mäta massavbrinningen hos plexiglasen. I det ena försöket var massan på bränslet 21,9 gram vilket resulterade i en massavbrinning på $0,0249\text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$. I det andra försöket var massan 4,85 gram vilket resulterade i en massavbrinning på $0,0089\text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$. Den teoretiska massavbrinningen är $0.030\text{ kg}/(\text{m}^2\text{s})$ enligt /13/. Att det blev olika resultat har en naturlig förklaring. Den större plexiglasbiten orsakar en större låga vilket i sin tur ökar återstrålningen mot bränsleytan. En kraftigare återstrålning resulterar i ökad förångning av plexiglasen. Geometrin på plexiglasen har därför betydelse.

De slutsatser som kunde konstateras för plexiglas var följande:

- Liten sotbildning
- Olika massavbrinningshastighet beroende på storleken av plexiglasen
- Fin och stabil låga
- Kräver några sekunders förvärmning med gasolbrännare för att kunna brinna

B.4 Slangar

Eftersom principen kommunicerande kärl användes måste slangarna vara resistent mot respektive bränslen. Slangar till kylvattnet skapade inga problem då de flesta slangar på marknaden klarar vatten som medium. Den slang som skulle utgöra länken mellan det kommunicerande kärlet och Burner Cupen måste klara aceton, heptan och metanol. Tester av olika slangars resistens mot dessa kemikalier utfördes i dragskåp, där slangarna fick ligga i bad med de olika bränslena. Slangarna fick ligga i baden i ca 10-15 timmar innan de kontrollerades. De slangar som användes i testen var silikonslang, luftslang, bensinslang, teflonslang samt olika gummislangar. Ingen av dessa slangar klarade alla tre bränslena. Det som var typiskt för många slangar var att de svällde och blev porösa, dvs hållfastheten blev undermålig. Den slang som klarade sig bäst var bensinslangen. Den tappade till viss del sin hållfasthet då den utsattes för ett acetonbad i cirka 10 timmar.

Det finns med största sannolikhet någon slang på marknaden som är resistent mot alla tre bränslena. Vid kontakt med olika företag som säljer slang framkom dock att ingen hade någon sådan slang. Valet stod mellan att använda alla tre bränslena vid Burner Cup försök med viss risk för en olycka med brusten slang vid användande av aceton eller att begränsa försöken till de två bränslena heptan och metanol. Av de två alternativen valdes det senare, dvs Burner Cup försöken genomfördes utan aceton.

För att kunna tömma Burner Cupens, slang och kommunicerande kärl på bränsle försågs slangen med en avtappningskran. Denna kran visade sig vara bra även då systemet skulle fyllas med ett nytt bränsle. Eftersom luft pressas in i systemet, och ställer till med problem, användes kranen som avluftningsväg för systemet.

B.5 Kalibrering av RHR- utrustning

Att kunna mäta den effektutveckling som ett bränsle alstrar i Burner Cupen kan vara intressant för vidare studier kring släckmedels effektivitet. Genom att mäta viktminskningen av bränslet vid olika tidpunkter kunde effektutveckling vid t ex. släckögonblicket beräknas. Ett annat sätt att mäta effektutvecklingen är med hjälp av en RHR- utrustning (Rate of Heat Release) via datorpodd. Huvudprincipen för en sådan utrustning är att syreatgången mäts i förbränningsgaserna. Det är ett välkänt faktum att de flesta organiska gas- och vätskeformiga bränslen samt fasta bränslen avger en specifik mängd värme per enhet förbrukat syre vid förbränning /18/. Ett värde som ofta används vid beräkningar av detta slag är 13,1 kJ/g förbrukat syre. Här förklaras RHR- utrustningen endast schematiskt och inte i detalj, se /18/ för mer detaljerad beskrivning.

Innan brandgaserna kan analyseras i oxygenmätaren måste de kylas, renas från sot samt torkas. Kylningen görs direkt efter uttaget i brandgaskanalen med hjälp av en kopparrörsslinga nedsänkt i ett isbad med vatten. Därefter används ett filter för att samla upp de största sotpartiklarna. Sedan passerar brandgaserna ett torkmedel som även ackumulerar koldioxid. Slutligen passerar gasen ett finare partikelfilter mot de minsta sotfraktionerna innan brandgaserna går in i oxygenmätaren. Förutom att mäta syrehalten i brandgaserna mäts även brandgasernas temperatur och hastighet. Temperaturen mäts med termoelement och hastigheten mäts med ett pitotrör där skillnaden i totaltryck och statiskt tryck ger det dynamiska trycket varvid hastigheten kan beräknas

Det är viktigt att RHR- utrustningen är inställd för att mäta i det effektområde som man är intresserad av att studera. I vanliga fall mäter man effekten i områden 100kW-1000kW men intresset här var fokuserat på att mäta betydligt lägre effekter såsom 0-3 kW. För att kalibrera utrustningen användes i detta fall gasol, som till större del innehåller propan. Det är känt att gasformig propan har en förbränningseffektivitet nära 1,0 vid god lufttillgång. Det innebär att nästan allt bränsle som går ut genom brännaren förbränns. Genom att väga gasolflaskan, vilken gasen strömmar ut från, får man via en känslig våg viktminskningen per tidsenhet. Därigenom kan effekten beräknas med kännedom om förbränningsvärmets (MJ/kg). Metangas kan också användas vid kalibrering av RHR- utrustningen.

Den beräknade effekten jämfördes sedan med uppmätt effekt från RHR- utrustningen. Om inte de jämförbara värdena ligger nära varandra, vilket det inte gjorde i detta fall, måste man korrigera någon parameter i datorprogrammet som används för att mäta RHR. Lämpligen bör man i första hand korrigera flödesparametern C_d till dess att godtagbara värden uppnås. Vid mätning av små effektutvecklingar är det även viktigt att utsugsfläkten stryps så att en lägre hastighet erhålles i kanalen. Detta medför även att det dynamiska trycket i kanalen blir lågt, vilket i sin tur kräver en speciellt känslig lufttrycksmätare.

Det noterades att det var viktigt att börja dagens RHR- mätningar med att byta ut gammalt torkmedel till ett nytt torrt torkmedel. Torkmedlet torkades över natten i en varmluftsugn. Det torkmedel som användes var av sådan art att det inte "läcker" koldioxid. Grovsotsfiltret byttes även det med samma regelbundenhet som torkmedlet. Skarvar och övergångar tätades med tejp för att hindra tjuvluft, vilken kan ge missvisande mätresultat. Efter att dessa byten och kontroller gjorts kalibrerades RHR- utrustningen med gasolbrännaren för att säkerställa att apparaturen gav acceptabla mätvärden.

B.6 Halogenerna och dess etsning på kvartsglas

Om man vill sända infraröd strålning genom ett glaströr är det viktigt att glaset inte hindrar värmestrålningen. Därför är det lämpligt att använda ett kvartsglas av god kvalitet. Kvartsglaset, som importerades från Tyskland, har den egenskapen att den släpper igenom det mesta av den

strålning med den våglängd som här var aktuell. Kostnaden för denna typ av kvartsglas är relativt högt, varför möjlighet till variation av längden på glasrör fick begränsas till två olika längder.

Det är tidigare känt att vid användande av de gasformiga släckmedlen Halon 1301, Halotron 2b och FM 200 för brandsläckning bildas ämnen som etsar glas. Även kvartsglas etsas av de bildade ämnena vätefluorid (HF) av Halotron 2b och FM 200 respektive vätebromid (HBr) av Halon 1301. När glaset etsas av dessa ämnen minskar glasets genomsläpplighet av de infraröda våglängderna. Kontentan av detta är att man inte längre vet vilken värmestrålning (kW/m^2) som då träffar bränsleytan. Låt säga att konkalorimetern är kalibrerad så att vid en viss inställning på apparaturen skall den strålning som bränsleytan mottar uppgå till 15 kW/m^2 . Om glaset, som omsluter bränsleytan, är etsat kanske endast $2/3$ av det kalibrerade värdet dvs 10 kW/m^2 når bränsleytan. Ytterligare ett problem är att vid varje försök där HF eller HBr bildas minskar genomsläppligheten ytterligare, dvs problemet är dynamiskt.

Etsning av glas sker då HF eller HBr i förening med vatten från förbränningsprocessen kommer i kontakt med glaset. Försök gjordes genom att belägga glaset med diverse oljor och fetter för att förhindra etsningsprocessen. Det problematiska var att finna ett ämne med god genomsläpplighet, för att inte hindra värmestrålningen, ämnet måste också ha en hög kokpunkt. Olja till vakuumpumpar har hög kokpunkt men den visade sig inte klara av den värme som uppstod i glaset med en infallande värmestrålning på 15 kW/m^2 .

Då eleverna inte fann någon lösning på problemet undersöktes det om det fanns kunskap och eventuellt en lösning på problemet inom andra kompetensområden. Det fanns, så långt eleverna kunde utröna, ingen direkt lösning på problemet däremot tipsades de av institutionen för teknisk-kemisk apparatteknik att ett specialsilikon kunde vara användbart. Institutionen i fråga bidrog med två olika silikon. Silikonerna benämns SE-54 (methylsilikon 95%, fenylsilikon 5%) samt SE-56 (methylsilikon 100%) och dessa var i ursprungsskicket i fast form. De kunde lösas i diklormetan eller kloroform, vilka är extremt cancerframkallande ämnen. För att lösa silikonet värmdes diklormetan och silikonet i vattenbad, givetvis under ett dragskåp p.g.a. lösningens farlighet.

Då silikonlösningen fått tillräckligt låg viskositet, för att kunna hanteras, applicerades lösningen på ett kvartsglas. Silikonbeläggningen täckte glasytan som en tunn film och därefter utfördes ett test. Kvartsglaset applicerades under konkalorimetern och utsattes för en värmestrålning på ca 25 kW/m^2 i 10 minuter. Det visade sig att silikonet klarade provet. Därefter provades silikonets genomsläpplighet och det visade sig hindra ungefär 1-3% av infallande värmestrålning jämfört ett glas utan silikonbeläggning. Detta resultat var fullt godtagbart.

B.7 Kalibrering av strålningsmätare

Vid Burner Cup- försök med extern värmestrålningspåverkan är det viktigt att veta att rätt strålning träffar den brinnande ytan av bränsle. Därför kalibrerades strålningsmätaren i en svartkroppsuugn och därefter mättes strålningen i konkalorimetern för olika temperaturer.

Tillvägagångssättet för kalibrering var följande:

Två typer av strålningsmätare, Gunners- meter och Gardon- meter, kalibreras gentemot en ugn. Ugnen bestod av en sfärisk kropp med elvärmare. Ugnen var helt slutet så när som på ett 50 mm stort hål i botten. I det hålet fördes strålningsmätaren in till ett visst läge. Strålningsmätaren kylades med vatten och klarade därför höga temperaturer. Ugnen reglerades med en regulator

som kunde ställas in på 100, 200, 300.....900 grader Celsius. Via regulatoren kopplades en voltmeter. Till regulatoren var en temperaturgivare kopplad som angav ugnens temperatur. Detta gjorde att ugnens temperatur kunde avläsas i form av mVolt. Strålningsmätaren kopplades även den till regulatoren och därigenom kunde strålningsmätarens resistansändring avläsas på voltmetern i mVolt.

När ett flertal mätpunkter registrerades användes ett datorprogram som översätter mV till ugnens temperatur i Celsiusgrader. Strålningsformeln som gäller för svartkropp ger sedan strålningen på strålningsmätaren och därmed kan ett samband mellan voltmeterutslag och strålningsspåverkan framtas.

Nästa steg var uppmätning av strålningsnivåer i konkalorimetern. Strålningsmätaren placerades under konen på lämpligt avstånd (30mm). Kylningen, dvs vattentemperaturen och vattenflödet, var ungefär detsamma som vid den tidigare svartugnskalibreringen. Strålningselementen på konen var i korthet uppbyggd på följande sätt: Ett kraftaggregat levererar ström till elslingor i konen som värms upp till en förutbestämd temperatur. Temperaturen ställs in på en digital regulator med möjlighet till förändring på en grad Celsius. Efter några minuter ställer regulatoren och strömförsörjaren in sig i ett jämviktsläge och därmed hålls temperaturen konstant.

Temperaturen på slingorna varierades från 100 (125, 150, 175, 200) grader till 850 grader. Mätvärden från strålningsmätaren loggades via voltmeter mot temperaturen. Med hjälp av ett Exceldiagram tas en kurva fram, där y-axeln är strålningen (kW/m^2) och x-axeln är spänningen (mV). Enligt minsta kvadratmetoden och regressionsanalys tas ett uttryck fram i form av räta-linjensekvation och polynomekvation av grad 3-5. De ekvationer som framkommer ställs emot temperaturen (mätvärden från konen), (se Appendix C - Kalibrering av strålningsmätare) Ett diagram via Excel med y-axel (kW/m^2) och x-axel i (Celsius) tas fram. Ytterligare en regression-sanalys görs och därmed fås ett polynom av femte graden. Detta ger slutligen ett uttryck där varje temperursteg (en grad) motsvarar en strålningsnivå, hos konen.

B.8 Känslighetsanalys:

Känslighetsanalysen beror bl. a. av apparatur, kylvattentemp, kylvattenhastighet, vinkelberoende och fläkthastighet

B.8.1 Mätning i svartugnen

(vattenflöde ca 1 liter/15 sek, temperatur ca 12-13° Celsius) Det kunde variera 1,0 mV beroende på om man hade ett stort eller litet vattenflöde till kylningen av strålningsmätaren. Därför var det viktigt att hålla temperaturen och flöde lika vid kalibrering och mätning. Det var viktigt att strålningsmätaren skruvades fast i ugnen vid kalibreringen. Det visade sig att två mätningar efter varandra med samma ugnstemperatur, där mätproben tas ut efter varje mätning, gav varierande resultat. Detta berodde troligtvis på att proben placerades på lite olika höjd i ugnen, trots att ett riktmärke användes.

B.8.2 Geometrisk känslighet (Gunnars- meter)

Vid strålningsmätningarna i konkalorimetern utfördes en mindre känslighetsanalys. Strålningsmätaren placerades i centrum av konen cirka 30 mm under ”konbotten”. Detta läge är använt i tidigare försök och kan därför anses som lämpligt basläge. Strålningsmätaren flyttas sedan perifert och då ökar strålningen. Vid sänkning av strålningsmätaren ökar strålningen och vid höjning från ursprungsläget minskar strålningen. Det skall tilläggas att förändringarna är relativt små vid några centimeters förflyttning . Det är förändringar på 0,3 – 1,0 kW/m^2 beroende på tempe-

ratur på elementen. Slutsatsen är att känsligheten är liten i en närhet till basläget och i en sfärisk radie på 1 cm är förändringar försumbara.

B.8.3 Apparaturberoende känslighet (Gardon- meter)

Mätningar utfördes olika dagar med samma kylningstemperatur och kylflöde och utan att strålningsmätarens läge ändrades. Differens mellan mätningarna uppstår dock och dessa var cirka 8,1% i värsta fallet, vilket innebär ca 0,556 kW/m². Mätningar samma dag men med apparaturen avstängd mellan försöken påvisar en differens på ca 4,9 %.

Mätningar utfördes också med avstängd fläkt och då påvisades en differens på 1-5% beroende på temperatur på elementen. Detta gav vid höga strålningsnivåer en differens på ca 0,76 kW/m².

B.8.4 Slutsats:

Förmodligen finns det i själva konkalorimetern ett inbyggt fel, dvs apparaturen har en viss tolerans vilket ger utslag på strålningsmetern. Beroende på ute och innetemperatur samt lufttryck är det troligt att flödet i fläkten varierar något från en dag till en annan. Flödet och temperatur på vattnet kan skilja från dag till dag trots att noggrannhet vid försöken efterlevs. Alla dessa parametrar påverkar känsligheten vid mätförsöken och därför kan differenser påvisas. Noggrannheten är dock i högsta grad tillfredsställande till de försök som denna rapporten behandlar.

Appendix C - Kalibrering av strålningsmätare

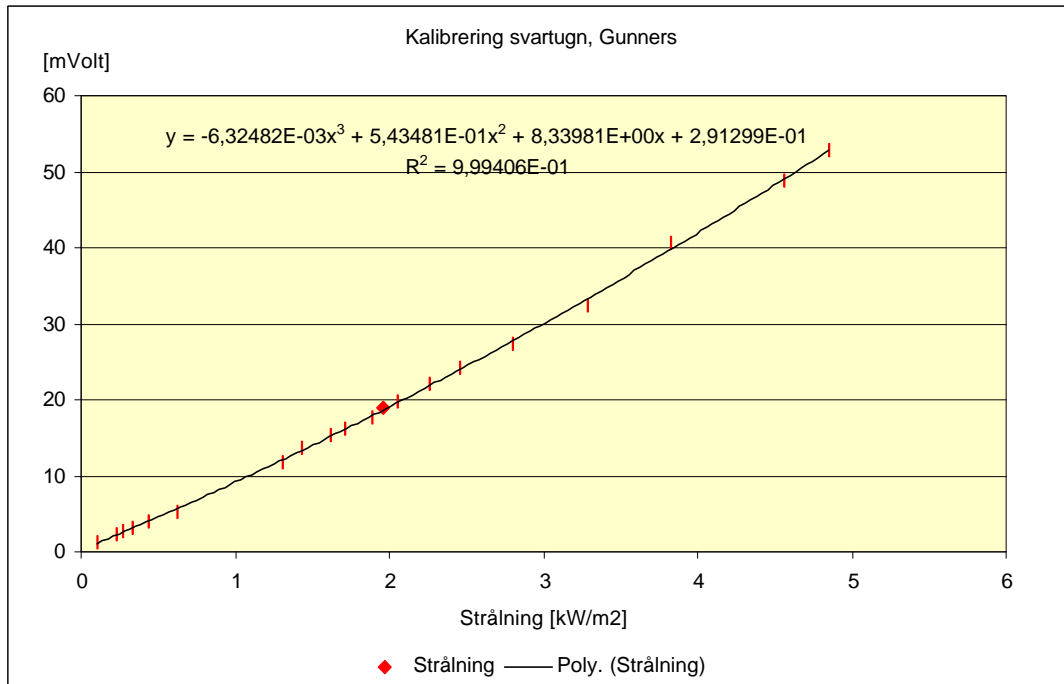


Diagram C1, kalibrering i svartugn Gunners.

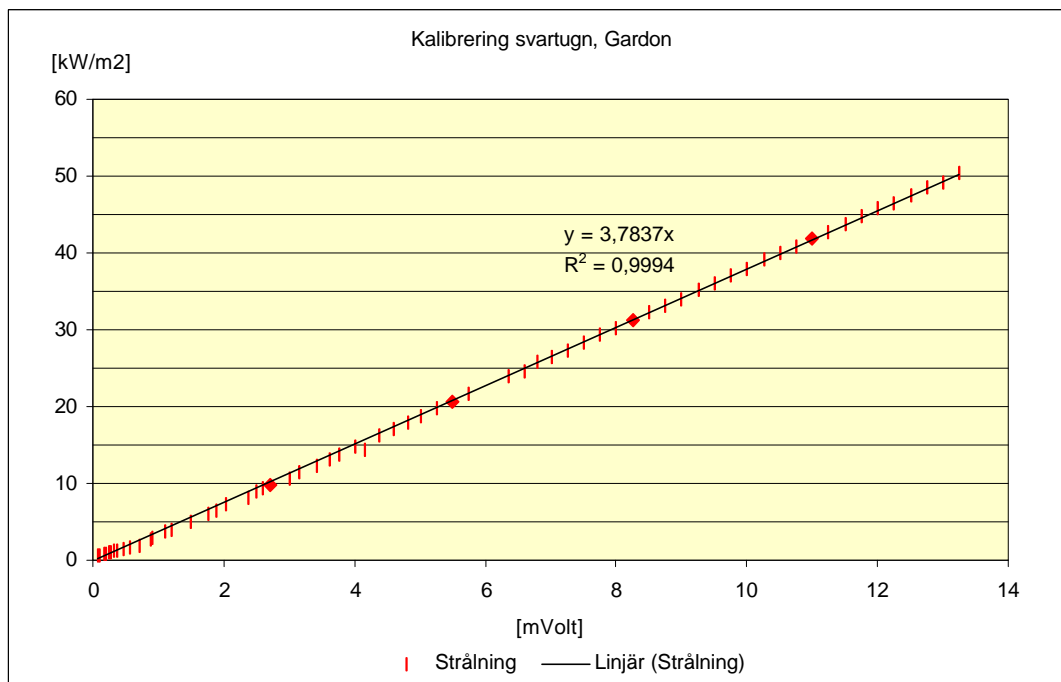


Diagram C2 kalibrering i svartugn Gardon.

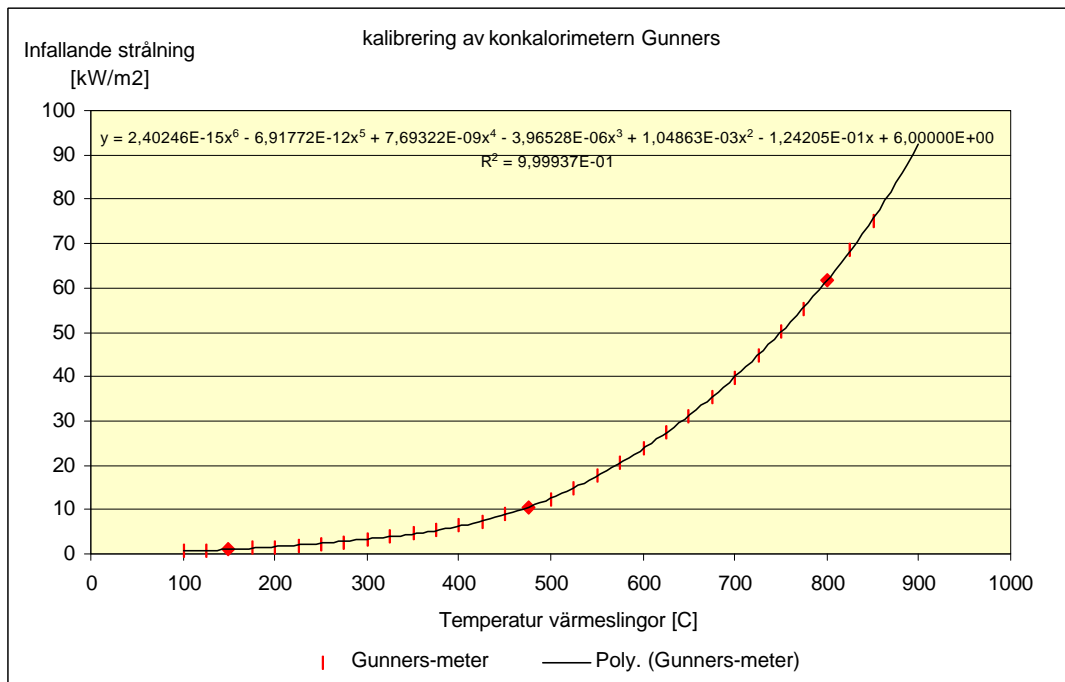


Diagram C3, kalibrering av konkalorimetern Gunners.

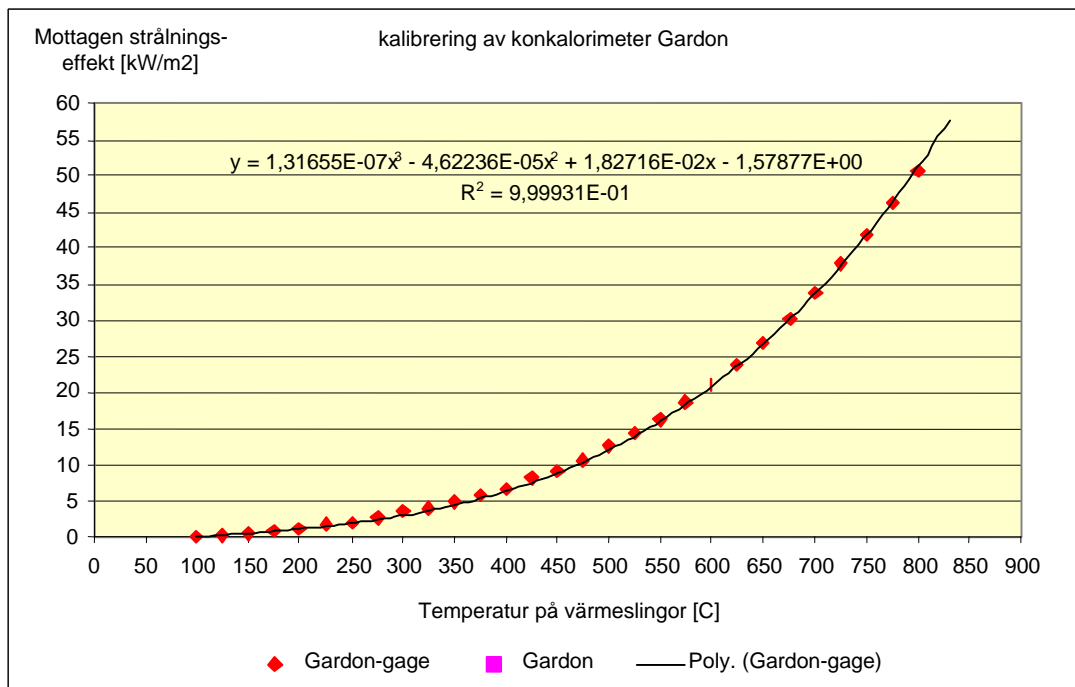


Diagram C4, kalibrering av konkalorimetern Gardon.

Appendix D - Säkerhet i labbet

Mängden av brandfarliga vätskor som använts i försöken har varit ca 1,5 liter per försöksomgång. Spill på golvet av denna mängd skulle med stor sannolikhet orsaka en snabb brandspridning i laborationslokalerna och därmed risk för en utvecklad rumsbrand. Därför har brandsäkerheten prioriterats högt med avseende på släckutrustning, skyddsutrustning och rutiner vid händelse av brand.

Släckutrustningen bestod av kolsyre-, skum-, halon- och pulversläckare. Vid brand skulle släckarna användas i nämnd ordning. Som skyddsutrustning användes skyddshuva och värmetåligena handskar. Viktigast av allt är de rutiner som tillämpades vid försöken. En person hade till uppgift att applicera släckmedel på en eventuell brand samt bistå den andre med personskydd. Den andre hade till uppgift att försöka begränsa brandspridning genom att via olika åtgärder se till att den brandfarliga vätskan inte lämnade den experimentella utrustningen.

Rutinerna övades ett antal gånger och det skapade en viss säkerhet hos eleverna. En gång fick rutinerna prövas i ett skarpt läge då brinnande metanol rann ut på en överkokning. Brandspridningen var snabb trots den ringa mängd metanol, ca 3 dl, som rann ut. Branden kunde snabbt släckas genom att hindra att mer metanol tillfördes branden. Eleverna fick erfara hur viktigt det är att vara förberedd. Erfarenheten av incidenten förstärkte den redan tidigare uppfattningen om att övade rutiner är oerhört viktiga då brandfarliga vätskor används.

Appendix E - Huvudkonstruktion Burner Cup

E.1 Allmänt

Huvudsyftet med examensarbetet var att undersöka hur gasformiga släckmedel påverkas av extern värmestrålning. En sådan undersökning ställer en hel del krav på försöksutrustningen bl. a. på Burner Cupen. Burner Cupen ska kunna användas för såväl flytande som för fasta bränslen, samt även kunna anpassas för gasformiga bränslen och samtidigt klara av att belastas med extern värmestrålning.

Eftersom institutionen för brandteknik hade en Burner Cup som var tillverkad av glas ställdes frågan om denna kunde användas i kommande experiment. Efter det att denna Burner Cup undersökts kunde det konstateras att den inte skulle kunna uppfylla de krav som ställdes. Den befintliga Burner Cupen kunde inte användas i kommande experiment p g a bland annat följande:

- Den var tillverkad av glas. Glas absorberar mycket av den infallande strålningen, vilket eventuellt kan leda till missvisande mätresultat.
- Säkerheten ansågs inte vara tillfredsställd. Skulle t ex. glaset spricka under ett pågående försök kan detta leda till att brandfarlig vätska läcker ut och antänds. Detta kan leda till skador på labb och/eller människa.
- Den är inte avsedd att bränna fasta material med, och en anpassning till detta ändamål ansågs inte vara tekniskt möjligt.
- Det fanns endast en brännarcup avsedd för vätska eller gas med diametern 25 mm. Att tillverka andra brännarcupar ansågs vara svårt.
- En del av arbetets syfte var att undersöka hur brännarcupdiametern påverkar släckmedels koncentrationen, vilket omöjliggörs enligt punkten ovan.

Med ovanstående som bakgrund ansågs det att alternativet var att konstruera en ny Burner Cup som klarar kraven både mättekniskt och säkerhetsmässigt. En av de faktorer som i huvudsak påverkar Burner Cupen är den externa värmestrålningen. Eftersom t ex. värmestrålningen 15 kW per kvadratmeter producerar mycket värme måste Burner Cupen konstrueras bl a. för att klara av detta krav. Det finns också korrosionsproblem då t ex. vätefluorider bildas från vissa släckmedel som måste beaktas.

Förutom de tekniska krav som ställdes måste verkstaden praktiskt kunna tillverka Burner Cupen och andra tillhörande delar. Mycket av det ovan nämnda påverkar vilket material som ska väljas för ändamålet. Efter diskussion med bl a. verkstaden ansågs det lämpligt att i huvudsak använda rostfritt stål som tillverkningsmaterial.

E.2 Huvudkonstruktion

Som grund för den Burner Cup som konstruerades låg den tidigare nämnda befintliga Burner Cupen av glas. De mått som användes till den nya Burner Cupen anpassades dels efter den befintliga och dels efter ISO standard /18/. Den nya Burner Cupens konstruktion anpassades därefter för att uppfylla de krav som tidigare nämnts.

För att den externa värmestrålningen skulle kunna nå in till brännarcupen beställdes två stycken specialglas från Tyskland. Dessa glas var sk. kvartsglas och hade den egenskapen att värmestrålningen penetrerar kvartsglas betydligt bättre än vanligt glas, vilket tidigare experiment påvisar (Appendix B - Praktisk förstudie). Nackdelen är att kvartsglas är betydligt dyrare än vanligt glas. De två glaserna hade diametern 100 mm och höjden 250 respektive 350 mm. Experiment visade sedermera att denna höjdskillnad saknade betydelse för släckresultaten. Glaset applicerades innanför flänsen på del A. (Bilaga A, ritning 1, samt figur E.2.1)

Huvudkonstruktionen avser de delar som ingår i Ritning 1 (Bilaga A), vilka är del A, B, C samt D. Del A avser den yttre cylindern och är stommen i konstruktionen. Del B är fastsvetsad i del C, som är löstagbar från del A. Mellan del A och C finns en packning i Teflon för att Burner Cupen ska vara gastät i botten. Del C är fastskruvad i del A. Del B som är ett cylindriskt rör hade konstruerats för att uppfylla tre krav, vilka var:

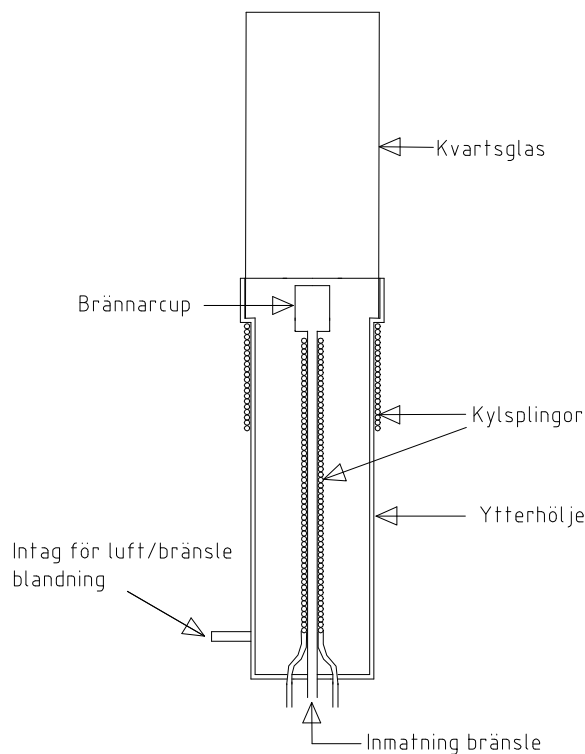
1. I den del som sticker ut 25 mm. i botten ska en slang kunna appliceras, som ska mata flytande bränsle till brännarcupen som ska skruvas fast i den del av B som är gängad. (se vidare kapitel E.2.1 Huvudkonstruktion Burner Cup flytande bränslen)
2. Som punkten ovan men i detta fallet är slangen till för att mata gasformiga bränslen till brännarcupen.
3. Då fasta bränslen ska brännas i Burner Cupen är syftet med del B att del G (Bilaga A, ritning 4) ska kunna "glida" i del B med minsta möjliga friktion. (se vidare kapitel E.2.2 Huvudkonstruktion Burner Cup fasta bränslen).

I del D som är fastsvetsad i del A ska en slang kunna appliceras som ska förse Burner Cupen med luft och släckmedel (Bilaga A, ritning 1).

För att leda bort den värme som den externa värmestrålningen gav upphov till tillverkades kylslingor av kopparrör. Dessa slingor applicerades på del A samt del B. (figur E.2.1) Som kylmedel användes vatten som cirkulerade genom slingorna, med strömningshastigheten cirka 1 liter per minut.

E.2.1 Huvudkonstruktion Burner Cup flytande bränslen

Som tidigare nämnts var ett av arbetets syften att undersöka hur brännarcupens diameter påverkade släckmedelskoncentrationen. För detta ändamål tillverkades det fyra stycken sk. brännarcupar med diametrarna 20, 25, 30 samt 35 mm (Bilaga A, ritning 3, del F). Del F kan



Figur E.2.1, Huvudkonstruktion Burner Cup

appliceras på änden av del B (Bilaga A, ritning 1). Mellan gängen och del B monterades en packning av Teflon för att garantera att inget bränsleläckage kunde uppstå. En annan orsak till att fyra stycken brännarcupar tillverkades var att genom experiment utröna vilken brännarcupdiameter som ansågs vara lämpligast att använda i kommande experiment. (se vidare Appendix H - Brännarcupstorlek)

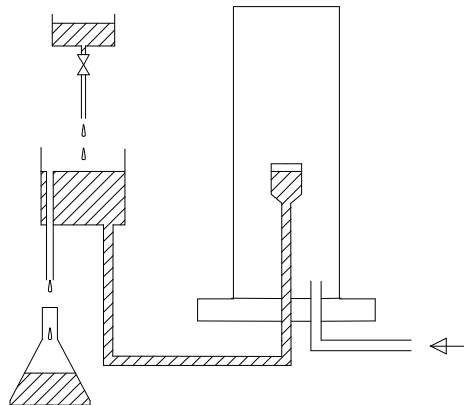
Not. Ovanstående konstruktion Burner Cup avsedd för flytande bränslen kan även användas för gasformiga bränslen. I stället för att vätska transporteras genom slangen byts mediet ut till gas.

E.2.2 Huvudkonstruktion Burner Cup fasta bränslen

För att kunna undersöka släckmedelskoncentrationen för fasta material tillverkades del G samt del H (Bilaga A, ritning 4). Del G är en cylindrisk stång och som tidigare nämnts ska denna kunna ”glida” i del B. På toppen av del G kan del H appliceras m h a. gänga. I del H kan det fasta materialet sedan appliceras. Syftet med att del G kan glida i del B är att massavbrinningen kan mätas då den andra änden av del G vilar på en vågplatta, som ställs under hela Burner Cup konstruktionen. Viktigt är att del G och H blir så lätta som möjligt, ty vågens kapacitet är endast 120 gram.

Appendix F - Burner Cup flytande bränslen

För att kunna förbränna vätskeformiga bränslen i Burner Cupen tillverkades det som tidigare nämnts fyra stycken brännarcupar (Appendix E - Huvudkonstruktion Burner Cup). För att en stabil förbränning ska kunna ske är det av yttersta vikt att bränsleytan är densamma i brännarcupen under hela försökets gång. För att kunna hålla bränsleytan konstant erfordras det att nytt bränsle hela tiden fylls på och ersätter det bränsle som förbränts. Denna bränslematning måste då ske från ett sk. yttre kommuniserande kärl. I tidigare försök har bränslematningen lösts m h a ett sk. överfyllnadskärl. Metoden är simpel och bygger på att vätskenivån inställer sig på lika nivå oavsett vätskeytans reella area, då två behållare är sammankopplade med samma medium. I detta fall ersätts den vätska som förbränns med ny genom att hela tiden låta den vätska som inte förbränns "svämma" ned i den undre behållaren (figur F.1) Metoden med överfyllnadskärl har dock sina begränsningar, och en av dessa är att massavbrinningen inte kan mätas.



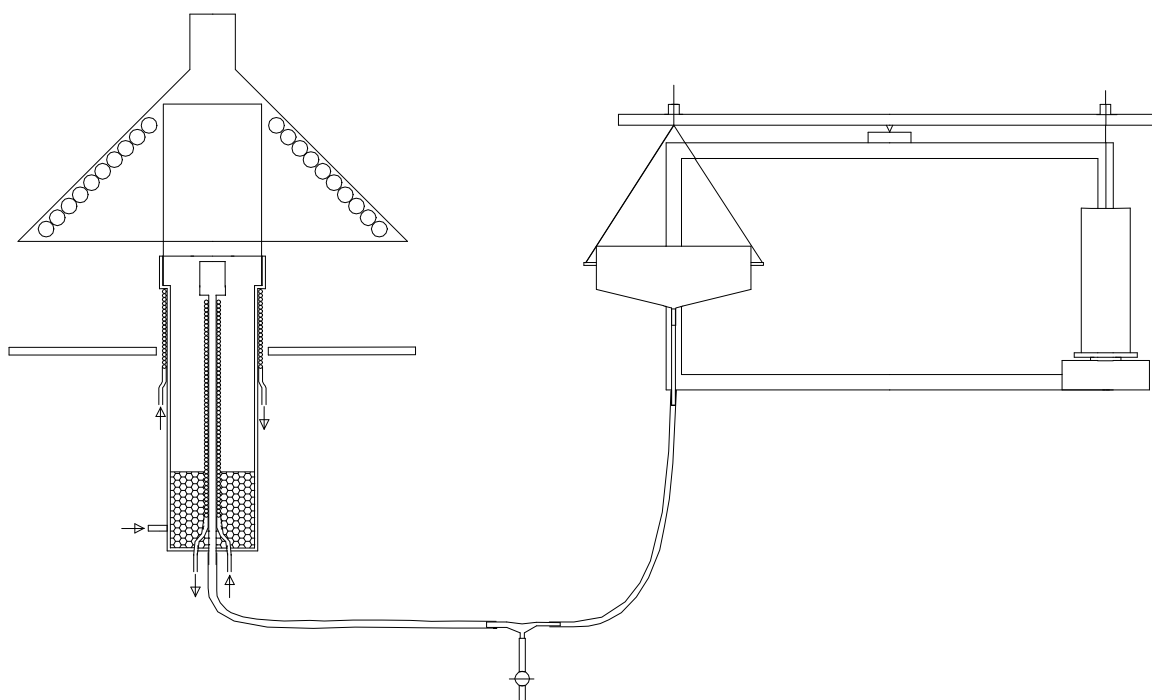
Figur F.1, Vätskeytan hålls konstant m h a ett sk. överfyllnadskärl. Pilen markerar var blandningen luft/släckmedel appliceras.

För att kunna mäta massavbrinningen konstruerades en yttre behållare med diametern 220 mm. (Bilaga A, ritning 5). Genom att denna vätskearea förhåller sig cirka 40 till 120 gånger större beroende på vilket diameter brännarcupen har var tanken att denna stora area kompenserar det bränsle som förbränns i brännarcupen. T ex. då en millimeter vätska förbränns i brännarcupen är minskningen i det yttre kärlet försumbart p g a den större arean. På detta sätt kan en konstant vätskeyta hållas i brännarcupen under hela den tiden försöket tar att utföra. Att detta fungerar praktiskt verifierades i tidigare gjorda försök (Appendix B - Praktisk förstudie).

Eftersom vätskeytan i brännarcupen härmed kan hållas konstant var nästa problem hur massavbrinningen skulle kunna mätas. En möjlighet var att ställa behållaren direkt på en vågplatta. Dock var det så otroligt små mängder av bränslet som kommer att förbrännas under ett försök i brännarcupen att det var högst osannolikt att någon tillgänglig våg kan registrera denna massförändring och samtidigt klara av någon högre belastning. De vågar som fanns tillgängliga mätte med en noggrannhet på 1/10 gram med maxlast 6 kilo respektive noggrannheten 1/10 000 gram med maxlast 120 gram. M a p de små mängder som kommer att förbrännas valdes att den sistnämnda vågen skulle användas vid försöken. Härmed måste avlastning av vågplattan ske, så att maximal belastning inte överstiger 120 gram.

För detta ändamål konstruerades en "ställning" (Bilaga A, ritning 6). M h a denna skedde avlastningen av vågplattan med en hävstång. Hävstången vilade mot en metallplatta på två härdade nålspetsar ovanpå "ställningen". På detta sätt minimerades friktionen mellan hävstång och "ställning". I den ena änden av hävstången applicerades ovan nämnda behållare och i andra ändan en motvikt, båda upphängda med vajer. Motvikten låg an mot vågplattan. Eftersom bränslebehållaren och motvikten var placerade på exakt samma avstånd från centrum på hävstången var den viktnedgång som skedde i bränslebehållaren direkt översättningsbar på vågplattan, dvs momenten tog ut varandra. Vikten på motvikten var anpassad för att ge ett så optimalt tryck på vågplattan som möjligt. Eftersom trycket på vågplattan var beroende på vilket typ av bränsle som användes (bränslena har olika densitet) i behållaren kunde trycket på vågplattan variera. För att optimalt

kunna justera trycket kunde små vikter placeras ut både på motvikten och på behållaren. För att kunna justera vätskeytan i brännarcupen kunde vajern som höll behållaren med bränsle justeras i vertikalled. Detsamma gällde för motvikten. Behållaren med bränsle anslöts till Burner Cupen, och dess brännarcup med en bränsleslang. Slangen var upphängd fritt för att minimera störningar från den yttre omgivningen. För att praktiskt kunna tömma systemet på bränsle monterades en kranventil som skilde Burner Cupen från bränslebehållaren (figur F.2). Denna kranventil hade också två andra syften. Det ena var att den fungerade som en avlastning från de krafter som verkade i slangarna då denna var fastmonterad, och därmed blev systemet stabilare.



Figur F.2, Försöksupställningen Burner Cup avsedd för vätskeformiga bränslen. Figurens vänstra sida visar Burner Cupen och hur denna är placerad under konkalorimetern med dess strålningsslingor. De vertikala pilarna visar var kylvattnet ledes in och ut. Plattorna föreställer de strålningsskydd, som hade som syfte att minimera värmestrålningen ner igenom Burner Cupen. Den horisontella pilen visar var blandningen av luft och släckmedel ledes in. Figurens högra sida visar ovan nämnda "ställning" med bränslebehållare, hävstång, motvikt samt vågplatta. Mellan Burner Cup och "ställning" ses kranventilen med tillhörande slangar se även bild F.1 nedan samt bild F.2 nästa sida

Det andra var att leda ut de termoelement som fanns monterade i brännarcupen genom kranventilens vänstra sida dvs. den sida av slangerna som var ansluten till Burner Cupen, vilket nämns nedan. Bränslebehållaren avskärmades sedermera, då det visade sig att denna kunde komma i svängning av de luftströmmar som bildades t ex. då någon gick förbi (bild F.1).

Vågen anslöts därefter till en dator som loggade den viktminskning per tidsenhet som förbränningen gav upphov till.

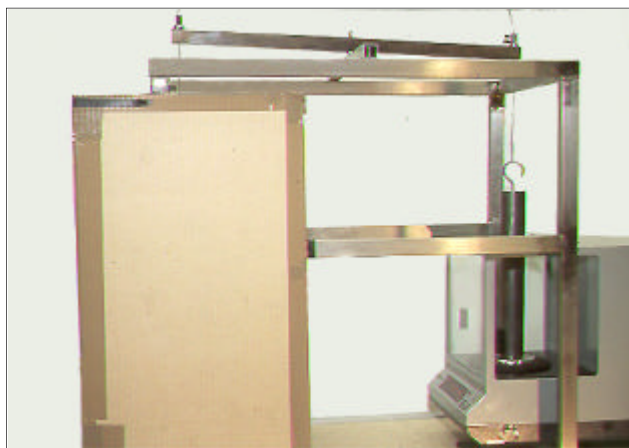


Bild F.1, Visar "ställningen" med motvikt och våg. Här syns också hur bränslebehållaren har skärmats av.

För att mäta bränslets temperatur i brännarcupen applicerades två stycken termoelement i brännarcupen. Termoelementen placerades cirka 7 respektive 15 millimeter under bränsleytan i brännarcupen. Figuren till höger visar hur termoelementen drogs genom bränsleslangen och ut via kranventilen. Dessa sladdar går därefter vidare in till en kopplingsplint och vidare in till en dator (Observera delförstoringen). Mätning av temperaturen hade flera syften vilka förklarades i Appendix B - Praktisk förstudie.

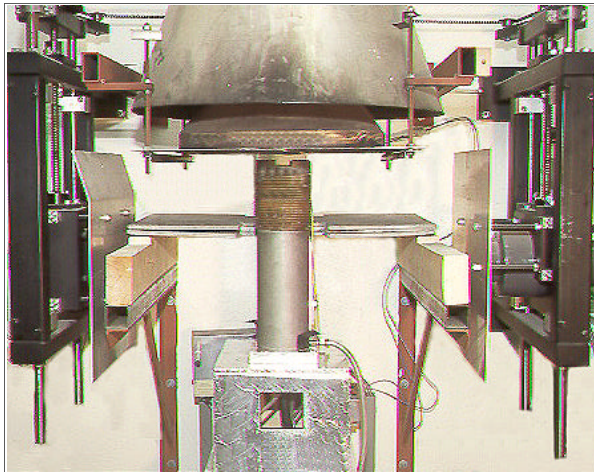
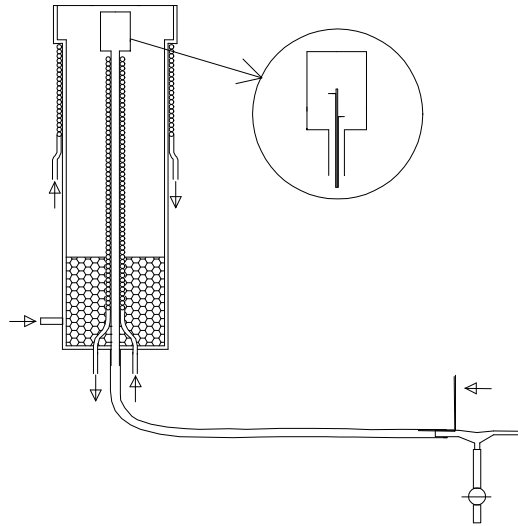
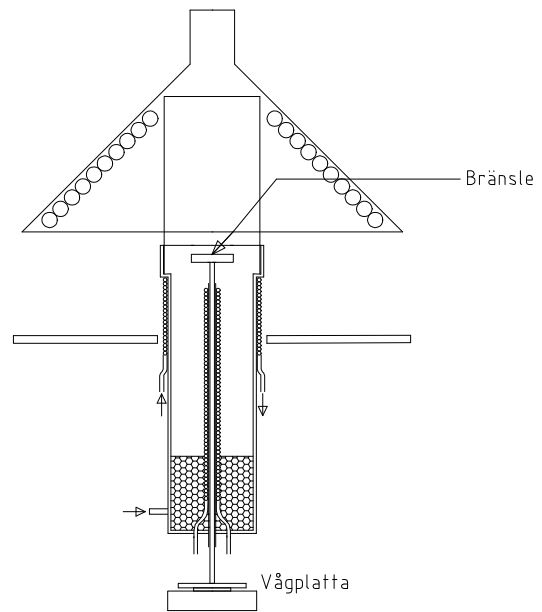


Bild F.2 till vänster visar Burner Cupen avsedd för vätskeformiga bränslen monterad under konkalorimetern. Jämför med figur F.2 föregående sida som visar försöksuppställningen. Den tidigare nämnda ”ställningen” var placerad till höger om denna bild.

Appendix G - Burner Cup fasta bränslen

För att kunna förbränna fasta materiel i Burner Cupen tillverkades det som tidigare nämnts i Appendix B - Huvudkonstruktion Burner Cup en cylindrisk stång med tillhörande plattform i ena änden. På denna plattform applicerades det fasta bränslet. Massavbrinningen kunde mätas genom att den cylindriska stången direkt vilade på vågplattan som var placerad under Burner Cupen (figur G.1) Vågplattan var kopplad till en dator som registrerade viktminskningen.

figur G.1, Visar försöksupställningen som användes vid experimenten för fasta material. Överst syns konkalorimeterns huv och dess värmeslingor. Den horisontella pilen markerar var blandningen luft och släckmedel ledes in. De vertikala pilarna visar var kylvattnet ledes in och ut. Överst på den cylindriska stången visar pilen var bränslet applicerades och underst syns vågplattan.



Appendix H - Flödesmätare

För att kunna beräkna erforderlig släckkoncentration måste den tillförda luften respektive släckmedlet kunna mätas på ett lämpligt sätt. Detta appendix behandlar de flödesmätare som anskaffades och de experiment och beräkningar som gjordes. De problem som skulle lösas var bl. a. följande:

1. Beräkning av erforderligt luftflöde för heptan och metanol.
2. Beräkning av erforderligt släckflöde för de fem släckmedlen.
3. Framtagning av de flödesmätare som klarar punkt 1 och 2 ovan.
4. Kalibrering av flödesmätarna.

De större problem som upptäcktes under arbetets gång var:

1. Vid utströmning av koldioxid fryste regulatort på flaskan, vilket resulterade att isproppar bildades. P.g.a. detta kunde ej konstant gasutflöde hållas.
2. Vid utströmning av (halogenerna) FM 200, Halotron 2b samt Halon 1301 måste trycket från flaskorna till rotameterna sänkas från 3-14 bar (beroende på vilket släckmedel som användes då de har olika ångtryck) ned till cirka 0.5-1 bar.

Hur ovanstående problem löstes beskrivs sedermera längre fram i detta appendix.

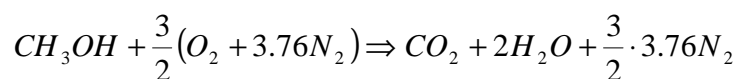
H.1 Beräkning av erforderligt luftflöde

För att kunna få fram en lämplig flödesmätare för luft måste man veta hur mycket luft som kommer att behövas vid förbränning av heptan respektive metanol i de fyra brännarcuparna. För att ta reda på detta måste man veta hur många gram bränsle per sekund som förbränns i respektive brännarcup.

Två metoder användes, teoretisk och experimentell, där massavbrinningen uppmättes med hjälp av en våg. Därefter användes ekvation (C) och genom de kemiska formlerna kan antal mol luft beräknas. Därefter beräknas luftflödet enligt ekvation (A) med hjälp av ekvation (B).

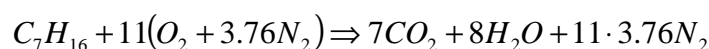
H.2 Allmänt

De kemiska formler som låg till grund för beräkningarna var för metanol (CH_3OH) respektive heptan (C_7H_{16}) följande:



Detta \Rightarrow att 1 mol metanol \Leftrightarrow med 1.5 mol luft

Respektive



Detta \Rightarrow att 1 mol heptan \Leftrightarrow med 11 mol luft

Luftåtgången [l/min] beräknas enligt:

$$(A) \text{ Luftåtgång} = \frac{m_{\text{luft}}}{d_{\text{luft}}} \cdot 60000 \quad d_{\text{luft}} = 1205 \text{ [g/m}^3\text{]} \text{ (Bilaga B)}$$

$$(B) m_{\text{luft}} = n_{\text{luft}} \cdot M_{\text{luft}} \quad M_{\text{luft}} = 137.28 \text{ [g/mol]} \text{ (Bilaga B)}$$

$$(C) n_{\text{bränsle}} = \frac{m_{\text{bränsle}}}{M_{\text{bränsle}}}$$

H.3 Teoretisk beräkning av luftåtgången /12/

$$(D) \dot{m} = \dot{m}_{\infty} \cdot (1 - e^{-kbD}) \cdot A \text{ [kg/s]} \quad A = \frac{p \cdot D^2}{4} \text{ [m}^2\text{]} \text{ (beror av brännarcupens area, tab.H.3.1)}$$

$M_{\text{bränsle}}$ = beror på bränsle (tabellH.4.1)

$m_{\text{bränsle}}$ = beror på bränsle samt storlek på brännarcup (tabellH.4.1)

$kb \text{ [m}^{-1}\text{]}$ och $\dot{m}_{\infty} \text{ [kg/m}^2\text{s]}$ beror av bränsle för heptan är $kb = 1.1$ och $\dot{m}_{\infty} = 0.101$. Metanol är däremot oberoende av diametern och har endast värdet $\dot{m}_{\infty} = 0.017$ /12/

Formel (D) ovan gäller egentligen för $D > 0.2$ m, men med tanke på att metanol är diameteroberoende så anses den i varje fall gälla för detta bränsle. Däremot för heptan får det anses att den inte gäller helt korrekt, men fungerar dock som ett "riktmärke".

Nedan i tabell H.3.1 redovisas den teoretiskt beräknade massavbrinningen enligt ekvation D ovan.

Brännarcup [mm]	Area [m ²]	Massavbrinning heptan [g/s]	Massavbrinning metanol [g/s]
20	3.14*10 ⁻⁴	6.9*10 ⁻⁴	1.15*10 ⁻³
25	4.91*10 ⁻⁴	1.34*10 ⁻³	8.35*10 ⁻³
30	7.07*10 ⁻⁴	2.32*10 ⁻³	12.02*10 ⁻³
35	9.62*10 ⁻⁴	3.67*10 ⁻³	16.35*10 ⁻³

Tabell H.3.1.

Nedan i tabell H.3.2 redovisas molförhållandet mellan heptan/luft samt metanol/luft.

Brännarcup [mm]	Mol heptan	Mol luft	Mol metanol	Mol luft
20	6.9*10 ⁻⁶	7.59*10 ⁻⁵	3.59*10 ⁻⁵	5.39*10 ⁻⁵
25	1.34*10 ⁻⁵	1.47*10 ⁻⁴	2.61*10 ⁻⁴	3.91*10 ⁻⁴
30	2.32*10 ⁻⁵	2.55*10 ⁻⁴	3.76*10 ⁻⁴	5.63*10 ⁻⁴
35	3.37*10 ⁻⁵	4.04*10 ⁻⁴	5.11*10 ⁻⁴	7.66*10 ⁻⁴

Tabell H.3.2

Luftåtgången beräknas enligt formel (A) ovan och redovisas i tabell H.5.1 nedan.

H.4 Uppmätt massavbrinning

Metoden gick här ut på att brännarcuparna pluggades igen i botten och placerades på en våg med mätområde 1/10 gram och fylldes med bränsle. Därefter mättes massavbrinningen per tidsenhet (Bilaga B).

I tabell H.4.1 redovisas den uppmätta massavbrinningen för metanol respektive heptan.

	Heptan	Metanol
Brännarcup [mm]	Massavbrinning $m_{bränsle}$ [g/s]	Massavbrinning $m_{bränsle}$ [g/s]
20	$2.4 \cdot 10^{-3}$	$3.2 \cdot 10^{-3}$
25	$4.4 \cdot 10^{-3}$	$5.4 \cdot 10^{-3}$
30	$7.3 \cdot 10^{-3}$	$7.1 \cdot 10^{-3}$
35	$8.5 \cdot 10^{-3}$	$9.7 \cdot 10^{-3}$
$M_{bränsle}$	100 [g/mol]	32 [g/mol]

Tabell H.4.1

Nedan i tabell H.4.2 redovisas molförhållandet mellan heptan/luft samt metanol/luft

Brännarcup[mm]	Mol heptan	Mol luft	Mol metanol	Mol luft
20	$2.40 \cdot 10^{-5}$	$2.64 \cdot 10^{-4}$	$1.00 \cdot 10^{-4}$	$1.50 \cdot 10^{-4}$
25	$4.40 \cdot 10^{-5}$	$4.84 \cdot 10^{-4}$	$1.69 \cdot 10^{-4}$	$2.54 \cdot 10^{-4}$
30	$7.30 \cdot 10^{-5}$	$8.03 \cdot 10^{-4}$	$2.22 \cdot 10^{-4}$	$3.33 \cdot 10^{-4}$
35	$8.50 \cdot 10^{-5}$	$9.35 \cdot 10^{-4}$	$3.03 \cdot 10^{-4}$	$4.55 \cdot 10^{-4}$

Tabell H.4.2

Beräkning utförs med formel A ovan och resultaten redovisas i tabellerna H.5.1 nedan.

H.5 Jämförelse teoretisk och uppmätt massavbrinning

Beräknad luftåtgång för heptan [l/min]

Brännarcup [mm]	Enligt punkt 1 ovan 1 ggr stöck	Enligt punkt 1 ovan 5 ggr stöck	Enligt punkt 2 ovan 1 ggr stöck	Enligt punkt 2 ovan 5 ggr stöck
20	0.52	2.60	1.81	9.05
25	1.01	5.05	3.32	16.60
30	1.75	8.75	5.51	27.55
35	2.77	13.85	6.42	31.10

Beräknad luftåtgång för metanol [l/min]

Brännarcup [mm]	Enligt punkt 1 ovan 1 ggr stöck	Enligt punkt 1 ovan 5 ggr stöck	Enligt punkt 2 ovan 1 ggr stöck	Enligt punkt 2 ovan 5 ggr stöck
20	0.37	1.85	0.24	1.20
25	2.68	13.4	1.74	8.70
30	3.86	19.3	2.29	11.45
35	5.26	26.3	3.12	15.60

Tabeller H.5.1

Slutsats

Jämförs resultaten för de bägge beräkningarna erhålles den största luftåtgången för heptan till 31.10 [l/min] och för metanol till [26.3 l/min] stökeometri. Således ska flödesmätaren för luft klara av att leverera cirka 35-40 [l/min].

H.6 Val av flödesmätare för släckmedel

För att bestämma vilken storlek som krävdes på flödesmätarna beräknades erforderlig mängd släckmedel i [l/min] för de fem släckmedlen. Genom att se på redan kända släckkoncentrationer [volym %] för heptan och metanol /5, 8, 9, 10, 17/ kan ungefärlig mängd släckmedel i liter per minut beräknas enligt formel (E) nedan.

$$(E) X = 100 \cdot \frac{V_{\text{släckmedel}}}{V_{\text{släckmedel}} + V_{\text{luft}}} \quad \text{Där } V_{\text{släckmedel}} \text{ och } V_{\text{luft}} \text{ är flödet i [l/min] för släckmedel/luft}$$

X = släckkoncentrationen i volym procent (känd).

Genom att skriva om (E) till (F) erhålls $V_{\text{släckmedel}}$ som

$$(F) V_{\text{släckmedel}} = \frac{X \cdot V_{\text{luft}}}{(100 - X)} \text{ [l/min]}$$

Resultaten redovisas i tabell H.6.1 nedan.

Bränsle	Släckmedel	X [volym procent] ^{*1}	V _{luft} [l/min]	V _{släckmedel} [l/min]
Heptan	Koldioxid	20.0	32	8.0
''	Kvävgas	32.0	''	15.1
''	FM 200	6.6	''	2.3
''	Halotron 2b	9.0	''	4.4
''	Halon	3.9	''	1.3
Metanol	Koldioxid	29.3	16	6.6
''	Kvävgas	43.5	''	12.3
''	FM 200	10.0	''	1.8
''	Halotron 2b	12.0	''	2.2
''	Halon	7.8	''	1.4

Tabell H.6.1, X är kända släckresultat från litteraturen. /5, 8, 9, 10, 17, 20/.

Slutsats

Då resultaten studeras från tabell H.6.1 anses det lämpligt att ha två stycken flödesmätare. En för koldioxid och kvävgas som klarar ca 6-16 [l/min], samt en för FM 200, Halotron 2b samt Halon 1301 som klarar ca 1-5 [l/min].

Som redan nämnts ovan behövs totalt tre stycken flödesmätare. De flödesmätare som ansågs lämpliga var så kallade rotametrar. Flödet genom en rotameter bestäms av dess utformning samt densiteten på den kula som ligger inuti glasröret. Genom kombination av dessa båda parametrar kunde tre stycken rotametrar väljas. En för luftflödet, en för koldioxid och kvävgas respektive en för de tre halogenerna.

H.7 Kalibrering av flödesmätare (rotameter)

På rotametern finns en skala. För att kunna använda den skalan dvs. kunna mäta flödet i [l/min] måste en kalibrering göras för varje aktuell gas. Metoden som användes var att med hjälp av en våg och ett tidtagarur mäta viktminskningen som den utströmmande gasen åstadkom. (Metod samt kalibreringsdiagram finns beskrivit i Bilaga B).

H.8 Lösning av inledningsvis nämnda problem

1. Bildning av isproppar vid uttag av koldioxid gas

Då utströmning av koldioxid skedde blev delar av regulatorn så kall att gasen kondenserade och fryste till is. Detta resulterade i att det inte gick att hålla ett konstant utflöde av gas genom rotametern. Problemet löstes genom att en förvärmare placerades mellan manometern och flaskan. Förvärmaren (bild H.8.1) hettade upp gasen så pass mycket att frysning förhindrades och gasflödet kunde hållas konstant.



Bild H.8.1, Visar hur förvärmaren var monterad på en koldioxidflaska.

2. Sänkning av gastryck Halogenerna

För att utrustningen såsom rotametrar och tillhörande lågtrycksslang ska hålla för det inkommande trycket från halogenerna måste det utgående gastrycket reduceras. Gastrycket för halogenerna varierade beroende på respektive släckmedels ångtryck. Variationen var cirka 3-14 bars utgångstryck. För att få ned detta tryck till ett lämpligt arbetstryck byggdes m h a nipplar och slangar en anslutning så att en tryckreduceringsventil kunde monteras på flaskan/flaskorna. (bild H.8.2) Med denna tryckreduceringsventil kunde det utgående trycket ställas från 0-1 bar, och lämpligt arbetstryck kunde härmed väljas.



Bild H.8.2, Visar hur den nämnda tryckreduceringsventilen var monterad på en av flaskorna.

Appendix I - Brännarcupstorlek

De fyra brännarcuparna som tillverkades till Burner Cupen avsedda för flytande bränslen hade som nämnts tidigare diametrarna 20, 25, 30 samt 35 mm (Appendix E - Huvudkonstruktion Burner Cup). Detta appendix beskriver vilka brännarcupar som valdes att användas för respektive bränsle (heptan och metanol), och varför. De problem och visuella observationer som gjordes under försökens gång behandlas också.

En jämförelse med verklig massavbrinning dvs. uppmätt med uppriggad utrustning (Appendix K - Experiment) och den tidigare teoretiskt beräknade (Appendix H - Flödesmätare) görs i Bilaga C. Härur erhöles det ”verkliga” luftflöde som behövdes vid förbränningen. Detta luftflöde jämförs sedan med tidigare beräknat luftflöde. Slutligen sammanfattas ovanstående och EN storlek på brännarcup väljs för att användas i kommande experiment för respektive bränsle.

Observera att alla försök i detta appendix utförs utan extern värmestrålning.

I.1 Första försöksserierna (heptan)

Vid det första försöket i den färdiga utrustningen valdes brännarcupstorleken till 25 mm. Bränslet som användes var heptan, och släckmedlet koldioxid.

Direkt observerades att heptan brann mycket häftigare i utrustningen än vad det gjorde under försökseldningen tidigare. (Appendix H - Flödesmätare). Detta berodde bl. a. av att försöket pågick betydligt längre än vid försökseldningen, samt att bränsle konstant matades in till brännarcupen. Återstrålningen och därmed yttemperaturen blev högre, vilket medförde en häftigare förångning från bränsletan som resulterade i en häftigare massavbrinning.

Därefter gjordes ytterligare försök med diametrarna 20, 30 och 35 mm på brännarcuparna. Här observerades att desto större brännarcup desto häftigare brand (bild I.1.1).

Försöken upprepades två gånger, förutom det första som upprepades tre gånger. Nedan i tabell I.1.1 redovisas vilket luftflöde som användes vid respektive brännarcupstorlek samt den uppmätta släckkoncentrationen. I den sista kolumnen redovisas tidigare kända släckkoncentrationer från litteratur /5, 6, 9, 10, 18/.



Bild I.1.1, Försökseldning i Burner Cup. Observera den relativt häftiga flammen.

Brännarcup [mm]	Luftflöde [l/min]	Släckflöde [l/min]	Uppmätt släckkoncentration CO ₂ [vol %]	Släckkoncentration CO ₂ [vol %]
25	27.79	7.07	20.3	20.0
25	27.79	7.07	20.3	”
25	32.00	8.13	20.3	”
20	20.53	4.96	19.5	”
20	20.53	4.96	19.5	”
30	30.70	7.78	20.2	”
30	30.70	7.78	20.2	”
35	33.60	8.83	20.8	”
35	33.60	8.83	20.8	”

Tabell I.1.1, Jämförelse uppmätt släckflöde med tidigare kända från litteraturen

Hur släckkoncentrationen beräknas redovisas i Appendix H - Flödesmätare.

Jämförelse luftflöde (heptan)

Vid valet av brännarcupstorlek var den mest avgörande parametern luftflödet in i Burner Cupen. Som tidigare nämnts i Appendix H - Flödesmätare, bör luftmängden in ligga på cirka 5 gånger stökeometri. Nedan i tabell I.1.2 Görs en jämförelse mellan de luftmängder som beräknades i Appendix H - Flödesmätare, med den ”verkliga luftmängden” som behövdes. (beräkningsgången redovisas i bilaga C).

Brännarcup [mm]	Luftflöde beräknat [l/min] (tab. H.5.1 Appendix H 5 ggr. stökeometri)	Luftflöde beräknat [l/min] (tab. H.5.1 Appendix H 5 ggr stökeometri)	Luftflöde[l/min] uppmätt massavbrinning. 5 ggr stökeometri. (Bilaga C)
20	2.60	9.05	40.00
25	5.05	16.60	58.65
30	8.75	27.55	68.40
35	13.85	31.10	90.60

Tabell I.1.2, Jämförelse mellan luftflödet enligt Appendix H.4 uppmätt massavbrinning och beräknat enligt uppmätt massavbrinning i Burner Cup, bilaga C, tabell C3.

I.2 Försöksserie metanol

Vid det första försöket med metanol bestämdes det att en brännarcup med diametern 30 mm skulle användas. Anledningen till detta baserades på tidigare observationer bl. a. att metanol brann betydligt stabilare och lugnare än heptan. Tillvägagångssättet vid försöken med metanol följer ovanstående som för heptan. Nedan sammanfattas resultaten i tabellform. Försöket upprepades två gånger. (beräkningsgången redovisas i bilaga C)

Brännarcup [mm]	Luftflöde [l/min]	Släckflöde [l/min]	Uppmätt släckkoncentration CO ₂ [vol %]	Släckkoncentration litteratur CO ₂ [vol %]
30	16.17	6.72	29.4	29.3
30	16.17	6.72	29.4	”

Tabell I.2.1, Försök med metanol

Jämförelse luftflöde (metanol)

Brännarcup [mm]	Luftflöde [l/min] (enligt tabell H.5.1 Appendix H 5ggr. stökeometri)	Luftflöde [l/min] (enligt tabell H.5.1 Appendix H 5ggr. stökeometri)	Luftflöde [l/min] uppmätt massavbrinning 5 ggr. Stökeometri (Bilaga C)
30	19.30	11.45	16.00

Tabell I.2.2, Jämförelse luftflöde metanol

I.3 Sammanfattning**heptan**

Jämförs de tidigare uppmätta och beräknade resultaten för luftåtgången för heptan med de som baserades på de verkligt uppmätta i Burner Cupen skiljer det en faktor 2,5-4,4 för lite luft för att förbränningen ska kunna ske med en faktor 5 gånger stökeometrisk luftförbrukning. Jämförs släckkoncentrationerna från ”våra” experiment med kända källor /5, 6, 8, 9, 10, 18/ är dessa så gott som identiska. Dock kan det observeras att om den minsta brännarcupen (diameter 20 mm) används avviker resultaten lite mer än för de andra brännarcupstorlekarna. Det observerades också att det ”brann” lite sämre i denna brännarcupstorlek än i övriga. Då även apparaturen som mätte massavbrinningen registrerade lite sämre, valdes därför den minsta brännarcupstorlek bort.

De båda större brännarcupstorlekarna (30 och 35 mm) valdes bort p g a att förbränningen krävde mer luft än för övriga brännarcupar.

Den kvarstående brännarcupen (diameter 25 mm) valdes som den brännarcup som skulle användas vid försöken med heptan. Dock var ovanstående luftflöde in till Burner Cupen för lågt det skiljer en faktor 3,5 med tidigare beräknat och verkligt uppmätt. Det ingående luftflödet ökades därför i senare experiment till 30,69 liter per minut, vilket är den övre gränsen för vad rotametern för luft klarade. Detta gav en faktor 1,9 för lite luft. Det visade sig dock att om man laborerade med luftflödet in dvs. ändrade på detta genom att minska och öka luftflödet samtidigt som förbränningen observeras med m h a RHR (effektmetning), och visuellt observerades det ingen skillnad i förbränningen som var stabil. Att luftmängden för förbränningen låg på cirka 3 gånger stökeometri istället för 5 gånger stökeometri gjorde således ingen skillnad för slutresultatet. Återigen observera ”våra” släckmedelskoncentrationer med tidigare kända, de är så gott som identiska.

Metanol

Erfarenheter från försöken med heptan gjorde att brännarcupen med diametern 30 mm direkt valdes till den brännarcup som skulle användas vid försöken för metanol. Jämförs ”våra” resultat med kända från litteraturen /5, 6, 8, 9, 10, 18/ är dessa så gott som identiska. Jämförs sedan tidigare beräknat luftflöde med verkligt luftflöde stämmer dessa bra överens. Här ligger luftflödet för förbränningen på 5 gånger stökeometri, vid luftflödet 16,17 [l/min]. Även här gjordes försök då luftflödet minskades/ökades och inte heller här observerades någon skillnad i förbränningen. Apparaturen som mätte massavbrinningen registrerade bra vid denna storlek på brännarcup. Härav ansågs det inte intressant att vidare experimentera med andra brännarcupstorlekar.

Att ovanstående luftmängder valdes till 30,69 samt 16,17 [l/min] för heptan respektive metanol, och inte till t ex. 30 och 16 [l/min] kan anses lite märkligt. Detta har dock sin tekniska förklaring då flödesmätaren avläses dvs. skaldel 22 respektive 12 på denna motsvarar nämligen ovan nämnda luftflöde. Det är helt enkelt en avläsningsteknisk detalj.

I.4 Slutsats

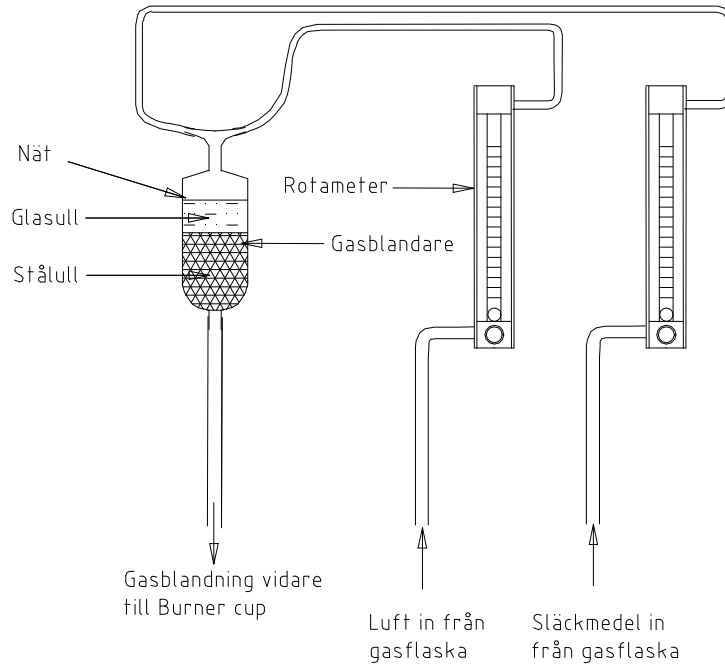
De brännarcupstorlekar som valdes för heptan respektive metanol hade en diameter på 25 samt 30 mm.

Att ”våra” släckmedelskoncentrationer stämmer bra överens med kända släckkoncentrationer från litteraturen visar att kalibreringen av flödesmätarna luft, koldioxid samt kvävgas (Appendix H - Flödesmätare) lyckades.

Släckresultaten påvisar att även om den ingående luftmängden inte är 5 gånger stökeometri erhålles överensstämmande resultat med tidigare utförda experiment från litteraturen. Därför ansågs det inte nödvändigt att så stor luftmängd som 5 gånger stökeometri användes i experimenten.

Appendix J - Släckmedelspåföring

För att släckmedelskoncentrationen skulle kunna mätas krävdes det att släckmedlet uppbländades noggrant med luften. För att detta skulle kunna ske blandades luft/släckmedel i en gasblandare. Denna gasblandare bestod av glas. För att erhålla en god blandning fylldes gasblandaren till 3/4 med lager av glasull och stålull. Ovanför glasullen applicerades ett finmaskigt nät. Efter det att gaserna blandats fördes de vidare in till Burner Cupen (figur J.1).



Figur J.1, Visar hur gaserna omblandades i gasblandaren.

Appendix K - Experiment

K.1 Allmänt

Efter det att allt förarbete omfattande bl. a. konstruktion, preexperiment, val av brännarcup, justering och val av flödesmätare, uppkoppling via dator, justering av våg mm. var det dags att inleda försöksserierna. De följande kapitlen beskriver detaljerat dessa serier. Kapitlen kommer att behandla hur experimenten utfördes för vätskeformiga bränslen (heptan och metanol), och för det fasta bränslet (plexiglas – PMMA). Problem mm. som uppkom kommer att beskrivas. Gemensamt för vätskorna och det fasta bränslet var att försök har utförts med släckmedlen N_2 , CO_2 , Halon 1301, Halotron 2b samt FM 200. I slutet av rapporten finns varje försök noterat i form av ett försöksprotokoll (bilaga F).

K.2 Japanska försök

I japanska försök, rapporterade av Saito et al /6/, testades blandningar av inertgaser med avseende på släckeffektivitet. I försöken användes en utrustning som kallas *FRI glass cup burner system*. Det är en variant av Burner Cup med en brännarcupdiameter på 30 mm samt en ”skorstens” med diametern 85 mm (innermått). Släckmedelsflöden samt luftflöden reglerades med massflödes regulatorer, vilka var kalibrerade med sk *precision wet gas meters*. Luftflödet var fixerat till 40 liter/minut. Då bränslet hade antänts fick det brinna i 8 minuter innan släckförsöken påbörjades, detta för att flammen skulle anta ett stabilt förbränningsläge. Innan släckmedelspåföringen påbörjades reglerades vätskeytan i brännaren till dess att vätskan nådde upp till bredden av brännaren. Släckmedlet påfördes sedan till flammen med stegvis ökning med 15 sekunders intervall tills släckning uppnåddes.

Vid jämförelse av de japanska försöken och de försök som utförts i detta projekt kan följande konstateras.

- Förhållandet mellan brännarcupdiametern och skorstensdiametern var lägre i de japanska försöken än i dessa försök.
- Den brännbara vätskan låg i detta projekt ca 5-7 mm under brännarcupkanten medan vätskan i de japanska försöken var i bredd med brännarcuphöjden.
- Den tid som flammen fick brinna innan släckmedel påföres var ungefär densamma i de japanska försöken och försöken i detta projekt.
- Tiden för justering av släckmedel var kortare i de japanska försöken än i dessa försök.
- Kylning av försöksutrustningen förekommer inte i de japanska försöken, vilket det gör i dessa försök.

K.3 Försök med vätskeformiga bränslen

Bränslet som användes vid de första försöken var heptan. Storleken på brännarcupens diameter valdes till 25 mm. Släckmedlet som användes var CO_2 . Värmestrålningen sattes till 0 kW/m². Totalt utfördes 10 stycken experiment med varierande luftflöde och brännarcupdiametrar (bilaga F försök 1-10). Experimenten utfördes utan några större problem. Det gick mycket lätt att ställa in luft- och släckmedelsflödet på rotameterna.

Visuellt observerades det att lågan från det brinnande heptanet var relativt lugn och stabil för den minsta brännarcupdiametern 20 mm. Vid större diameter ökade lågan kraftigt för att bli mycket turbulent för den största brännarcupdiametern 35 mm. Förbränning och effekt, samt nedsotning av Burner Cupens kvartsglas ökade kraftigt med större brännarcupdiameter. Risken för sk. Överkokning (Appendix B - Praktisk förstudie) ökade också med ökande brännarcupdiameter.

Huvudsyftet med de första experimenten var bl. a. att kontrollera om all teknisk apparatur fungerade som den skulle, och om tidigare beräkningar och antaganden var rimliga. Resultaten påvisade en mycket god repeterbarhet samt överensstämmelser med kända släckdata från litteraturen /5, 6, 8, 9, 10, 18/ (tabell K.4.1).

(Då bränslet senare byttes till metanol kunde det observeras att metanol brann betydligt lugnare och stabilare än vad heptan gjorde. Lågan var laminär i sin karaktär och hade en ljusblå färg.)

Därefter var det dags att påbörja försök genom att applicera extern värmestrålning över bränslets yta (Bilaga F försök 12-34).

Vid försök med extern värmestrålning uppstod en del märkliga fenomen såsom att lågan tenderade att "blåsas" ut vid värmestrålningspåverkan, att lågan lyfte från brännarcupen sk. låglyftning - ghost flame, svårigheter att släcka vid hög värmestrålningspåverkan. Nedan förklaras dessa fenomen.

K.3.1 Utblåsning av lågan

Då bränslets yta utsattes för värmestrålning (även liten sådan $<5 \text{ kW/m}^2$) tenderade lågan att "lyfta" från brännarcupen och brinna en bit ovanför denna. Detta resulterade i att lågan verkade "blåsas" ut strax innan släckögonblicket av inkommande luftströmmar istället för att släckas av släckmedlet. Detta kan kanske vara en förklaring till att resultaten påvisar en mindre släckmedelkoncentration vid värmestrålning, än de utan i de första försöken med heptan.

För att finna en lösning på detta problemet gjordes försök med att placera ett finmaskigt nät runt brännarcupen för att på så sätt minska turbulensen. Det kunde dock inte påvisas att detta hade någon effekt. Nätet ökade istället risken för överkokning vilket fick erfaras då bränsle stänktes ned på nätet och började brinna. Branden kunde dock snabbt släckas genom att öka släckmedels påföringen.

Metanolen var betydligt "snällare" m a p utblåsning än vad heptanet var. Dock kvarstod problemet även för detta bränsle.

K.3.2 Låglyftning

Låglyftning var ett fenomen som var både vackert och spännande att observera. Det inträffade redan som ovan nämnts vid relativt liten värmestrålningspåverkan, då lågan lyfte och brann tydligt ovanför vätskeytan. Vid högre värmestrålning runt cirka 10 kW/m^2 inträffade kraftig låglyftning. Lågan lämnade i stort brännarcupen och brann istället i hela kvartsglasets från några centimeter ovanför brännarcupen ända upp till toppen av kvartsglasets. Förklaringen till detta fenomen torde vara att då värmestrålningen ökar, påverkas förångningen av bränslet vid ytan. Dvs. förångningen blir så kraftig att gaserna långt ovanför bränslets yta brinner. Detta var precis vad som visuellt kunde observeras. Lågan skiftade också färg från heptanets karakteristiska gulblå till nästan helt blå. Både RHR och vågen registrerade en kraftig ökning av effekt respektive massavbränning då låglyftning inträffade. Även metanolen hade tendens till låglyftning, men var stabilare än heptan i detta avseende.

K.3.3 Svårigheter att släcka vid hög värmestrålning

Då kraftig låglyftning inträffade blev förångningen från bränsleytan så pass kraftig att det blev stora problem med att kunna släcka branden, trots att så gott som all lufttillförsel in till Burner Cupen stängdes av. Oftast fick värmestrålningen stängas av för att på så sätt minska förångningen från bränsleytan. Räknas släckmedelmängden ut vid dessa extremfall för heptan låg det högsta värdet långt över inerteringsgränsen 77.3 volym procent (Bilaga F försök 25, 28, 30-32). Dock anses dessa resultat inte som direkt användbara, då de inte kan refereras till någon fast area då lågan lämnade brännarcupen, men de är värda att nämnas. Resultaten påtalar dock en kraftig ökning av släckmedelmängden vid hög extern värmestrålning, vilken även teorin gör /12/.

Då det ansågs att problem med okända fenomen uppstod vid hög extern värmestrålning bestämdes det att denna skulle begränsas till max 5 kW/m² för heptan och metanol (Bilaga F försök 35-71 samt 149-165 för metanol). Dock utfördes en del experiment med värmestrålningens intensitet över detta även för metanol. Också här kunde ovanstående fenomen observeras. Begränsningen till 5 kW/m² gjordes i första hand för att försöken skulle kunna verifieras till brännarcupens area. Även vid strålningen 5 kW/m² uppstod ovanstående fenomen men inte i samma utsträckning, därför ansågs dessa resultat som godtagbara.

K.3.4 Ökning av effekten vid släckögonblicket

Då släckmedlen FM 200 och Halotron 2b användes för att släcka metanolbranden kunde en tydlig effektökning observeras både visuellt och på RHR mätningen (Bilaga D). Men då heptan användes tillsammans med dessa släckmedlen erhöles ingen effektökning. Varför effektökning endast sker med vissa bränslen och inte andra borde studeras vidare. Dock är det inget som kommer att behandlas vidare i denna rapporten.

K.3.5 Ökning av effekt och massavbrinning vid extern värmestrålning

Då den externa värmestrålningen ökade, ökade också effekten och massavbrinningen från bränslet. Hur stor denna ökning var i förhållande till storleken på den pålagda värmestrålningen är inget som behandlas närmare i denna rapport. Det har bara konstaterats att så är fallet (Bilaga D).

K.3.6 Jämförelse RHR kontra uppmätt massavbrinning

Det kan vara av intresse att veta massavbrinningen precis vid släckögonblicket (se vidare experimentserier fast material). Mätningen av denna skedde som tidigare nämnts med en våg. Sådana undersökningar behandlas inte heller dem vidare i denna rapport. Dock ska det påvisas att möjligheten i att forska vidare inom detta området finns med de mätresultat som framtagits genom experimenten. I bilaga D görs en jämförelse av effekten som RHR registrerade kontra den massavbrinning som vågen registrerade. Denna jämförelse påvisar en ganska god överensstämmelse. Således bör därför vissa av resultaten kunna användas vidare för fortsatt forskning.

K.4 Sammanfattning för de vätskeformiga bränslena.

Sammanfattas ovanstående försök för bränslena heptan och metanol kan följande nämnas:

- Den utrustning som användes ansågs vara av god kvalitet då de resultat som denna kunde prestera avseende på släckkoncentrationer utan extern värmestrålning stämmer väl överens med tidigare kända släckresultat från litteraturen (Tabell K.4.1)

Bränsle	Släckmedel	Resultat från experiment [vol %]	Resultat från litteratur [vol %]
Heptan	CO ₂	19.2-20.8	20
Heptan	N ₂	28.9-29.8	30-33.6
Heptan	Halon 1301	3.6-3.7	3.0-4.2
Heptan	Halotron 2b	8.1-8.4	9
Heptan	FM 200	6.4-6.9	5.8-6.6, 6.7
Metanol	CO ₂	28.7-29.4	29.3
Metanol	N ₂	40.6-41.8	43.5
Metanol	Halon 1301	6.3-6.5	7.8
Metanol	Halotron 2b	12.5	12
Metanol	FM 200	10.2	9.4, 10.0

Tabell K.4.1, Jämförelse mellan släckdata från experiment och kända data från litteraturen.

- Den externa värmestrålningen begränsades till max 5 kW/m² för heptan och metanol. Detta för att kunna referera resultaten till brännarens area.
- En ökad släckmedelskoncentration kan påvisas vid extern värmestrålning.
- Beräkningar och jämförelser med RHR visar att massavbrinningen kan mätas m h a vågkonstruktionen.
- Effekt och massavbrinning från bränslena ökar med tilltagande extern värmestrålning.
- Vissa bränslen ger upphov till en ökning av effekten då släckmedlen FM 200 och Halotron 2b används. I detta fallet tillsammans med metanol.
- Vid hög värmestrålningsintensitet ökar risken för sk. låglyftning. Vissa resultat härav påvisade en mycket stor ökning av släckmedelsmängden då låglyftning inträffade.
- Högre värmestrålningsintensitet än cirka 5 kW/m² ökar risken för missvisande resultat. Lågan tenderade då att ”blåsas” ut av de inkommande luftströmmarna strax innan det att släckning skedde.
- Metanol är ”snällare” att arbeta med än vad heptan är. Metanolen brinner stabilare medan heptan har en betydligt längre och turbulent låga.

K.5 Försök med fast bränsle

Då försök med plexiglas (PMMA) inleddes var förväntningarna att dessa skulle fortlöpa utan några större problem. Plexiglas används ofta i experimentsyfte då det har en stabil avbrinningshastighet. Det visade sig dessvärre att plexiglas var mycket svårt att hantera. Vid släckögonblicket var plexiglas extremt geometriberoende. Dvs släckresultatet berode på den geometri som plexiglas fick då det brann. Att i förväg kunna förutse denna geometri är i stort sett omöjligt. Att kunna veta hur stor area som är brandpåverkad på plexiglasbiten precis i släckögonblicket är mycket svårt att bedöma. Ska en sådan area kunna bestämmas bör varje försök exempelvis videofilmas med kända avståndspunkter som kan användas som referens. Då skulle man i detalj kunna analysera filmen och på så sätt få en area som ligger ganska nära sanningen att referera till. Att utföra en sådan analys är mycket tidskrävande och inte heller syftet med experimenten och behandlas därför inte vidare i rapporten.

K.5.1 Antändning

Det var inte lätt att få plexiglas att antändas. Ska detta sedan ske i en Burner Cup med all kringutrustning samtidigt som provbiten ligger i en aluminiumlåda ökar svårigheterna ytterligare. Problemet löstes genom operatörskoordination. En fick till uppgift att förvärma och tända plexiglasbiten med en gaslåga, medan den andre lyfte in provbiten med en specialkonstruerad tång, samtidigt som kvartsglaset lyftes upp. Bild K.5.1 visar hur provbiten antändes.



Bild K.5.1, Visar hur provbiten antänds med en gaslåga. Observera aluminiumlådan som omger provbiten.

K.5.2 Geometriproblem

Som nämnts ovan var plexiglas extremt geometriberoende. Kunde geometrin inte hållas någorlunda ”konstant” då det brann erhöles felaktiga släckmedelsresultat. För att erhålla en ”konstant” geometri vid brandpåverkan gjordes diverse försök med olika geometrier på provbitarna (Bilaga F försök 74-98). De första provbitarna bestod av en rundstav plexiglas med diametern 30 mm. Denna kapades i lagom längder cirka 30-40 mm. Provbitarna hade en tendens att bilda en konliknande topp då de brunnit ett tag. Eftersom denna ”topp” alltid varierade i storlek blev sällan släckresultaten lika. Därför borrades ett hål genom plexiglasstången för att på så sätt försöka att få bort denna ”topp”. Dock utan någon framgång.

Därefter provades provbitar med kvadratisk utseende i diverse utföranden. Försök gjordes med hål borrade, biten liggande, stående på högkant och diverse andra olika utföranden. Problemet kvarstod, hur man än vände och vred på provbiten bildades det alltid en ”topp” av något slag. Varför bildades denna ”topp”? Då plexiglas brinner ”vandrar” lågan efter ett tag ned på plexiglasets kanter som tenderar till att brinna bort snabbare än vad toppen gör (härav försök genom att borra hål). Någon mer vetenskaplig förklaring ges inte utan bara det som har observerats i experimenten. För att förhindra att lågan ”vandrade” ned på plexiglasets kanter tillverkades en aluminiumlåda som provbiten kunde läggas i. På detta sätt hindrades lågan att sprida sig ned på plexiglasets kanter och tvingades härmed att brinna över ytan. Detta visade sig ha god effekt med någorlunda stabila släckkoncentrationer som resultat (Bilaga F försök 99-133).

K.5.3 Begränsning av värmestrålningsintensitet

Värmestrålningen begränsades av praktiska skäl till 15 kW/m². Användes en högre värmestrålning än så riskerades sk. låglyftning. Dock kunde låglyftning ske även vid denna värmestrålningsstyrka, men låglyftningen bedömdes som acceptabel och kontrollerad. Ett annat skäl var att om värmestrålningen var högre, skedde förbränningsförloppet så snabbt att provbiten försvann bort. Detta medförde att det var svårt att hinna med att utföra experimentet.

K.5.4 Mätning av RHR och massavbrinning

Mätning av RHR och massavbrinning utfördes även för plexiglas. RHR kalibrerades med samma noggrannhet som för vätskorna. Massavbrinningen var dock betydligt noggrannare för fasta material än för vätskorna. Detta berodde på att för fasta material belastades vågplattan direkt av en stång medan det för vätskorna krävdes en annan utrustning (Appendix E - Huvudkonstruktion Burner Cup). Att så var fallet kan observeras i diagrammen för plexiglas där det tydligt påvisas betydligt mindre fluktuation för den uppmätta massavbrinningen än för de vätskeformiga bränslena (Bilaga E).

K.5.5 Stabilitet plexiglas kontra heptan och metanol

Då plexiglas hade sina speciella fenomen liksom heptan och metanol hade sina kan det sägas att plexiglas var betydligt stabilare att arbeta med än vad vätskorna var. Trots att sk. låglyftning även skedde för plexiglas, men då vid betydligt högre värmestrålning, var plexiglas generellt stabilare i andra avseenden såsom utblåsning av lågan, svårigheter att släcka mm.

K.5.6 Ökning av effekten vid släckögonblicket

Precis som för metanol skedde det en ökning av effekten då släckmedlen Halotron 2b och FM 200 användes på plexiglas (Bilaga E). Varför ökningen skedde vid just dessa släckmedlen tillsammans med plexiglas som bränsle behandlas inte vidare i rapporten.

K.5.7 Ökning av effekt och massavbrinning vid extern värmestrålning

Att både effekt och massavbrinning ökade vid extern värmestrålning är lika självklart för plexiglas (Bilaga E) som det var för heptan och metanol. Och precis som för heptan och metanol behandlas inte detta vidare i rapporten.

K.5.8 Jämförelse RHR kontra uppmätt massavbrinning

En sådan jämförelse ligger som tidigare nämnts utanför experimentens syfte och behandlas därför inte vidare i rapporten. För den som har intresse av att göra en sådan jämförelse finns det data att tillgå.

K.6 Sammanfattning för det fasta bränslet

- Utrustningen ansågs vara av god kvalitet för att kunna användas även för fasta bränslen.
- Den externa värmestrålningen begränsades till max 15 kW/m² för plexiglas.
- Plexiglas var extremt geometriberoende då det brann, vilket påverkar släckresultaten.
- Plexiglas var ”snällare” att arbeta med än vätskorna heptan och metanol.
- Släckmedlen Halotron 2b och FM 200 gav effektökning då de användes tillsammans med

plexiglas som bränsle.

- En ökad släckmedelskoncentration kan påvisas vid extern strålning (se vidare kap. resultat).

K.7 Osäkerhetsanalys

Vid experimentella försök förekommer det ofta parametrar som innehåller ett visst mått av osäkerheter. Det kan vara mätutrustning, kvalitet på det material som används, operatörsfel mm. Eleverna har här försökt att sammanfatta de parametrar som kan tänkas innehålla varierande grad av osäkerheter, samt beskrivit vilka åtgärder som vidtagits för att minimera osäkerheterna. Någon mer grundlig osäkerhetsanalys har dock inte genomförts.

K 7.1 RHR- mätning

I en nyligen utgiven artikel, "Fire Technology, Second Quarter 1999" /7/, beskrivs en osäkerhetsanalys på RHR- mätning baserad på oxygenkonsumtionskalorimetern, dvs konkalorimetern (ISO 5660-1). Författarna till artikeln har närmare studerat instrument- och antaganden, osäkerheter som uppkommer vid användande av konkalorimetern. Slumpmässiga fel och operatörsfel utelämnades i studierna. Osäkerheter i mätinstrument och om man överhuvudtaget kan lita på de utdata som erhålls har bearbetats i analysen. Även antagna fysiska konstanter har inneboende osäkerhet menar författarna. Nedan sammanfattas, fritt översatt, vad författarna kom fram till för slutsatser.

- Osäkerhetsanalys av de RHR- beräkningar som används i mjukvaran är inte utförd på ett betryggande sätt.
- Osäkerheterna i beräkningarna är starkt kopplade till antagen effektiv förbränningsterm. Denna osäkerhet kan reduceras om kompositionen av bränslet är känd och ytterligare reduceras om de additiva gaserna H_2O , CO_2 och CO mäts.
- Osäkerheterna hos beräkningarna är starkt kopplad med någon antagen förbränningsexpansion vid lägre RHR- värden. Dessa osäkerheter kan reduceras om kompositionen på bränslet är känd eller om gaserna H_2O , CO_2 och CO mäts och analyseras.
- Osäkerheterna kring beräkningarna är starkt kopplade till osäkerheter i oxygenanalysapparaten. Mer forskning kring denna analysapparat är nödvändig.
- I ekvationerna för att beräkna RHR antas vattenångan i omgivningsluften vara obetydlig för en given temperatur och relativ luftfuktighet. Denna förenkling ger fel på 1-2% vid hög temperatur och hög relativ luftfuktighet. Dessa fel ger genomgående ett ökat RHR- värde.
- Ansträngningar bör göras för att bestämma flödeskoefficienten för varje konkalorimeter och från denna låta det verkliga massflödets konstant vara kalibreringskonstant.

I denna summering framgår att det går att minska osäkerheterna i konkalorimetern genom ett antal åtgärder. Konkalorimetern är ju utgångspunkten för många ingenjörsmässiga beräkningar och bör därför inte innehålla alltför många osäkerhetsfaktorer.

Vid mätning av RHR i konkalorimetern finns flera felkällor som kan orsaka osäkerheter i mätresultaten. Fysikaliska konstanter i mjukvaruprogrammet, som kan ändras av användaren t ex kontraktionsfaktorn C_d , är en parameter vilken kan ge upphov till mätfel. Den anordning som kontinuerligt samplar prov från brandgaserna dvs isbadskylningen, sotpartikelfiltren, torkmedelsbehållarna och sugpumpen kan vara orsak till missvisande oxygenkonsumtion. Detta kan bero på dålig kylning av brandgaser, blockerande sotpartiklar, inläckande luft, trasiga pumpmembran, vattenmättat torkmedel samt att torkmedel avger koldioxid. För att undvika fel i senast nämnda utrustning byttes torkmedel och grovpartikelfilter varje dag. Skarvar och dylikt tejpadades för att

undvika oönskad luft att läcka in i systemet. RHR- utrustningen kalibrerades dagligen med propan gas och kylvattnet försågs kontinuerligt med is.

Det visade sig vara viktigt att brandgasfläktens hastighet var konstant, annars ändrades flödet i kanalen vilket genererade variation vid mätning av det dynamiska trycket. Detta gav i sin tur en kraftigt varierande insignal till mjukvaran. Effektmätningen blev då felaktig. Fläktens hastighet skulle vara så låg som möjligt vid mätning av små brandeffekter. Detta kunde annars resultera i att känsligheten hos tryckmätaren inte var tillräcklig, för det dynamiska trycket, och inte klarade av att leverera korrekta värden. Därför var det nödvändigt att tryckmätaren var avsedd för att mäta små tryckskillnader.

En annan tänkbar felkälla var den tidsförskjutning som uppstod mellan en faktisk händelse i brandförloppet och registreringen i mjukvaran av den faktiska händelsen. Vid tidsmätning från händelse till registrering, uppfattades, tidsförskjutningen till ungefär 10 sekunder. Inställning i mjukvaran om hur ofta syrgashalten skall loggas kunde även den väljas av operatören. Eleverna valde att logga syrgashalten var tredje sekund och där fanns en osäkerhetsfaktor som kunde vara av betydelse.

Då de halogenerade släckmedlen användes bildades som tidigare nämnts toxiska ämnen i gasfas. För att eliminera riskerna med dessa gaser användes en fläktutsugsanordning. Utsuget kopplades till de utgående brandgaserna, som passerat oxygenanalysatorn, vilka i annat fall hade samlats i operatörernas omgivning. Denna åtgärd, med utsug, visade sig ha viss påverkan på oxygenanalysatorn som tenderade att visa högre oxygenkonsumtion. För att utsuget inte skulle påverka analysatorn stryptes flödet i utsugskanalen till ett minimum.

K.7.2 Tryckförhållande

Vid kalibrering av RHR- utrustningen visade det sig att ändringar av tryckförhållande i laborationsslokalerna gav ändringar i uppmätt RHR. För att komma till rätta med det problemet öppnades alla rumsdörrar inom laborationsslokalen samt dörrar mot angränsande rum (provningshall med stor rumsvolym). Detta gav ett konstant tryckförhållande och problemet visade sig vara löst.

K.7.3 Operatörernas inverkan vid släckförsök

För att minimera risken för operatörsfel vid försöken har arbetsrutiner framarbetats och följts med stor noggrannhet. Vid försöken har eleverna fördelat arbetsrutinerna mellan varandra och sedan har samma person hela tiden utfört sin del av arbetsrutinerna. Detta visade sig vara bra eftersom risken för operatörsfel minskade.

K.7.4 Brännbara vätskor

En osäkerhetsparameter som förmodligen påverkade släckresultaten var hur länge bränslet brann innan släckmedel tillfördes. Det är svårt för att inte säga omöjligt att utföra en försökserie där brinntiden alltid är densamma. Det kan istället vara intressant att se om resultaten är brinntidsberoende, dvs om det är skillnad i släckkoncentration beroende av brinntiden. Eleverna har inte funnit att brinntiden är en väsentligt avgörande faktor för släckresultatet vad gäller vätskeformiga bränslen. Kanske beror detta på att de flesta försök utfördes med en någorlunda lång brinntid innan släckmedel påfördes.

Bränslets renhet är troligtvis en parameter som har stor betydelse för släckresultaten. Om bränslet innehåller vatten eller andra föroreningar förändras bränslets egenskaper. Eleverna har inte analyserat renheten på de bränslen som använts. En förändring av släckresultat märktes då Halo-

tron 2b användes för att släcka heptan. Efter några försök löstes någon av förbränningsprodukterna i bränslet och gav sig till känna som en svart sörja i heptanet. Gnistliknande förbränning indikerade denna händelse.

K.7.5 Strålning genom etsat glas

Den tidigare beskrivna silikonbeläggningen på kvartsglaset visade sig inte fylla sin funktion då silikonet utsattes för extern värmestrålning och flammen från bränslet. Detta resulterade i att kvartsglasets etsades då de halogenerade släckmedlen användes. Vid varje släckförsök ackumulerades etsningens djup på glasets yta. Viss mån av sot fastnade också på glasets yta, vilken inte gick att ta bort. Denna fortlöpande process medförde att det inte med exakthet gick att förutse vilken extern värmestrålning som därmed träffade bränsleytan.

K.7.6 Vågutrustningen vid vätskeformigt bränsle

Med vågutrustning avses hävstång, vajer, plåtkärl och analysvåg. Analysvågen är oerhört känslig (maxvikt 120 gram, noggrannhet 0,1 mg) för stötar och luft rörelser. För att minska påverkan av luft rörelser monterades kartong runt analysvågen och plåtkärl. För att minska påverkan av golvvibrationer användes gummi som mellanlägg till bordet där vågutrustningen stod. En viss tröghet fanns i vajrar och hävstång. Denna tröghet kan ha påverkat mätresultaten.

K.7.7 Vågutrustningen vid fast bränsle

I denna vägningsprocess minskade förmodligen osäkerheterna, då ingen hävstångsverkan var närvarande. Kraften från bränslet gick rakt ner på analysvågen. En viss friktion, mellan det fasta röret på Burner Cupen och den specialtillverkade stängningen med tillhörande plattform, skulle eventuellt kunna påverka mätresultaten. Det förefaller inte som så vore fallet då friktionen var minimal.

K.7.8 Varierande brännarcupstorlekar

Brännarcupstorlekens diameter var en faktor som påverkade släckresultatet. Det noterades att en liten diameter krävde mindre släckmedel än en större.

K.7.9 Förvärmning

Vid försök med extern värmestrålning påverkan blev Burner Cup-utrustningen varm, dock gjorde vattenkyllingen att värmen inte steg ytterligare. Även konen som håller värmeslingorna på plats samt fläktkonen blev varm. Detta resulterade i att nästa försök utfördes med en viss initialvärme. Denna "förvärmning" har förmodligen inte påverkat försöken nämnvärt.

K.7.10 Sot i glas

Vid förbränning av heptan och plexiglas bildades sotpartiklar. De flesta sotpartiklarna transporterades bort av den termiska stigkraften, som bildades av de varma brandgaserna, för att senare sugas in i fläktkanalen. En liten del av sotpartiklarna fastnade dock på kvartsglasets yta och hindrade därmed i viss mån den externa värmestrålningen att träffa bränsleytan. Detta bidrog till en del av osäkerheten kring hur mycket extern värmestrålning som träffade bränsleytan. Det finns ingen enkel lösning på denna problematik och de åtgärder som vidtogs var att glasets rengjordes mellan varje försök. Detta problem uppstod inte då metanol användes som bränsle p.g.a. dess ringa benägenhet att bilda sotpartiklar.

K.7.11 Strålningskällan

Noggrannheten på den elektroniska styr- och reglerutrustningen som reglerar strömmen (Am-

pere) till värmeslingorna är inte i detalj känd. Under kalibreringen av värmeslingorna med hjälp av strålningsmätarna (Appendix B - Praktisk förstudie) framkom det att en avvikelse på ca 3% troligtvis härrör till den elektroniska styr- och reglerutrustningen. Slingorna sitter inte exakt symmetriskt i konen men det är förmodligen av mindre betydelse.

K.7.12 Brandgasfläkt

Under en av försöksdagarna indikerade tryckmätaren för brandgaskanalen för ojämnt flöde. Det visade sig att en av två fläktremmarna på den motor som driver fläktarna hade brustit, vilket medförde det ojämna flödet. Förutom denna incident var flödet i brandgaskanalen i stort konstant.

K.7.13 Klimat

Med en hygrometer placerad i försöksrummet kunde de dagliga variationerna i lufttryck och luftfuktighet följas. Variationerna noterades och finns med i försöksprotokollen (Bilaga F). Temperatur och relativ luftfuktighet samt lufttryck påverkar med all säkerhet instrumenten /7/. Ingen hänsyn har tagits till detta utan finns med som en osäkerhetsfaktor. Luften som blandades med släckmedel var industriluft, vilken har ett konstant fuktinnehåll.

K.7.14 Fast bränsle

Det fasta bränslet som användes var plexiglas (PMMA). Det visade sig att släckresultaten var mycket beroende av plexiglasets geometri. Till en början provades bitar av rundstång, men det visade på väldigt olika släckresultat beroende på hur länge plexiglaset brann. Av observationerna att döma kunde en trend utläsas, det visade sig att ju längre tid rundstångsbiten fick brinna desto mer antog biten formen av rak cirkulär kon. Trenden påvisade, efter en mängd försök, att det krävdes mer släckmedel ju mer biten antog formen av en rak cirkulär kon. Detta gav inga släckresultat värda för fortsatt bearbetning.

Till slut framkom det att plexiglaset skall ha en kvadratisk form vid försöksstart. Plexiglaset skall ligga i en fixeringsplåt av aluminium, där plåten till viss del hindrar lågan från att endast angripa plexiglasets kanter. Med fixeringsplåten och den kvadratiske formen på plexiglaset kunde släckförsök utföras utan att tidsberoendet påverkade släckresultaten påtagligt.

K.7.15 Stötkokning

Då de vätskeformiga bränslena utsattes för hög extern värmestrålning, 10-15 kW/m², uppstod det ett fenomen som av eleverna kallas stötkokning. Stötkokning uppkom genom att plötsliga rörelser i bränslevätskan orsakade effektpikar, dvs kraftiga effekttökningar. Vid iakttagelser, av vätskan i brännarcupen, kunde en kortvarig kokning observeras. Kokningen medförde att den brännbara vätskan sattes i rörelse och vätska med lägre temperatur, dvs vätska underifrån, kylde vätsketemperaturen varvid kokningen upphörde. Denna kokningsprocess upprepades efter någon minut då vätskan åter värmts upp till kokpunkten.

Eleverna tror att kokningen berodde på att det sammalagda värmeflödet från den egna flamman och den externa värmestrålningen inte kunde kylas bort med hjälp av kylslingorna i Burner Cupen. Med andra ord var gränsen nådd för vad de kylande kopparslingorna klarade av överstigen.

K.7.16 Släckmedelspåföring

Släckmedelspåföringen hade en stor betydelse för vilka släckresultat som uppnådes. Det kunde noteras att en hastig släckmedelspåföring gav lägre behov av släckmedel än en långsam påfö-

ring. Detta kan förklaras med att flamman var instabil just innan släckögonblicket och därigenom kunde släckas vid snabba hastighetsgradienter i flödesfältet /8/. Problemet med flamstabilitet i termer av flash back och blow off är ett känt fenomen /8/.

Ett speciellt fenomen som uppträdde vid hastig släckmedelpåföring var det som eleverna kallas "flamlyft". Detta fenomen uppträdde oftast vid högre extern värmestrålning och då lyftes den synliga flamman upp från brännarcupen. I detta skede blev flamman mer av förblandad karaktär. Två situationer kunde därefter uppstå. I den ena situationen släcktes flamman några sekunder efter "flamlyftet" vid en lägre släckkoncentrationen än utan extern värmestrålning. I den andra situationen kvarstod "flamlyftet" trots ökad släckmedelpåföring. Flamman lyftes högre och högre upp i kvartsglasets vid ökad släckmedelpåföring. Flamman slocknade i vissa fall långt över inerteringsgränsen, vilket är lite av ett mysterium som eleverna inte kan finna någon förklaring till.

K.7.17 Luftmängd

En viktig parameter vid släckförsök är att flamman alltid har optimalt med luft (syre) för att kunna brinna på ett stabilt sätt. Med optimalt avses att det inte får vara för lite eller för mycket luft. Om luftmängden inte är optimal påverkar det släckresultatet. En faktor fem gånger det stökiometriska luftbehovet är ett bra riktvärde för en stabil flamma. Vid för lite eller för stor lufttillgång ändrar flamman sin karaktär. Det optimala luftområdet är ganska brett och eleverna provade att släcka med olika luftflöden för att se var gränserna för det optimala luftområdet låg. Eleverna kom fram till att förbränningen skall vara av välventilerad karaktär, men inte mer än att flamman har ett stabilt läge, dvs inte fladdrar.

Eleverna upptäckte att då lufttillförseln var under det optimala området hade brandgaserna svårigheter att med hjälp av den termiska stignakraften ta sig upp ur kvartsglasets. Detta resulterade efter några minuters brinntid till ett "backdraught"- liknande fenomen.

Appendix L - Burner Cup Extreme

L.1 Bakgrund

Idag används resultat från Burner Cup, vid dimensionering av släcksystem, runt om i världen. Det finns olika uppfattningar om hur bra det är att dimensionera fullskaliga släcksystem med resultat från småskaleförsök (Burner Cup). Tidigare forskning kring Burner Cup- metoden och dess apparaturberoende visar att beroende på hur apparaten är utformad kan olika resultat uppnås. För att undersöka om ett släckmedels släckande koncentration kraftigt beror av avståndet mellan kärl med brinnande bränsle och apparaturens vägg hade eleverna avsikten att utföra försök i en stor Burner Cup. Bristande ekonomiskt stöd satte emellertid stopp för försöken. Här beskrivs vad som gjorts och vilka tekniska problem som uppstod och hur de löstes.

L.2 Försöksprincip

Burner Cup Extreme bygger på samma princip som för en vanlig Burner Cup. Skillnaden jämfört med en vanlig Burner Cup är att brännarcupdiametern är mycket större, samt att avståndet till ytterröret också är större. Försöken skulle utföras på följande sätt. En brännbar vätska i ett runt kärl med en diameter på ca 0,2 meter antänds och får brinna några minuter. Via en fläkt påföres sedan ett gasformigt släckmedel som är förblandad med luft. Den släckmedelsblandade luften stiger sakta upp och passerar branden underifrån. Branden är innesluten i en cylinderformad konstruktion (ytterrör), precis som för den vanliga Burner Cupen.

L.3 Befintlig utrustning

Institutionen för Brandteknik har sedan några år förfogat över en utrustning som internt kallas "Cylindan" (bild L.3.1). Denna har framför allt använts till ett doktorandarbete för mätning av sotfraktioner i flammor, där mätutrustningen bestod av ett arrangemang av laserteknik. Förutom laser består utrustningen av en cylinder med en diameter på tre meter. Cylindern, tillverkad av tunn plåt, står på ett kvadratisk träfundament. Fundamentet är ihåligt och försedd med en tilluftsfläkt med en kapacitet på 3m³/s. Cylindern står på fundamentet eller rättare sagt ett galler av galvaniserad plåt. Gallret är klädd med ett finperforerat tyg för att utjämna och fördela luftflödet från fläkten. Ovanpå cylindern finns en huv kopplad till en utsugsfläkt.



Bild L.3.1, "Cylindan", i cylinderns topp syns huvan som samlar upp rökgaserna. Rören framför och parallellt med golvet visar det monterade spiroröret som ska transportera blandningen av luft och släckmedel. Lägg märke till hur rörets diameter smalnar av vid inloppet.

L.4 Problem och frågeställningar

För att utföra dessa försök fanns ett antal frågeställningar och problemområden som eleverna hade att ta ställning till, samt att reda ut och finna lösning på.

- Vilket bränsle skall användas?

- Vilket/vilka släckmedel skall användas?
- Se till så att den släckmedelsblandade luften inte läcker ut ur Cylindan?
- Omblandning av luft och släckmedel så att den kan appliceras på branden?
- Mätning av luftflöde?
- Mätning av släckmedelsflöde?
- Luftmängd som behövs för att tillgodose branden så att den inte blir påverkad av lufttillförseln?

L.5 Lösningar på problemställningar

Eftersom heptan ofta används vid Burner Cup- försök valdes detta som bränsle, då det finns ett stort antal försöksdata tillgängliga för jämförelse. Valet av släckmedel gjordes godtyckligt men ett halonalternativ samt en inertgas ansågs vara intressanta att studera, varför Halotron 2b samt kvävgas valdes. Det är viktigt att den applicerade mängden släckmedel tillförs branden varför hela den befintliga konstruktionen tätades med silvertejp och byggplast, samt i viss mån isolering bestående av mineralull.

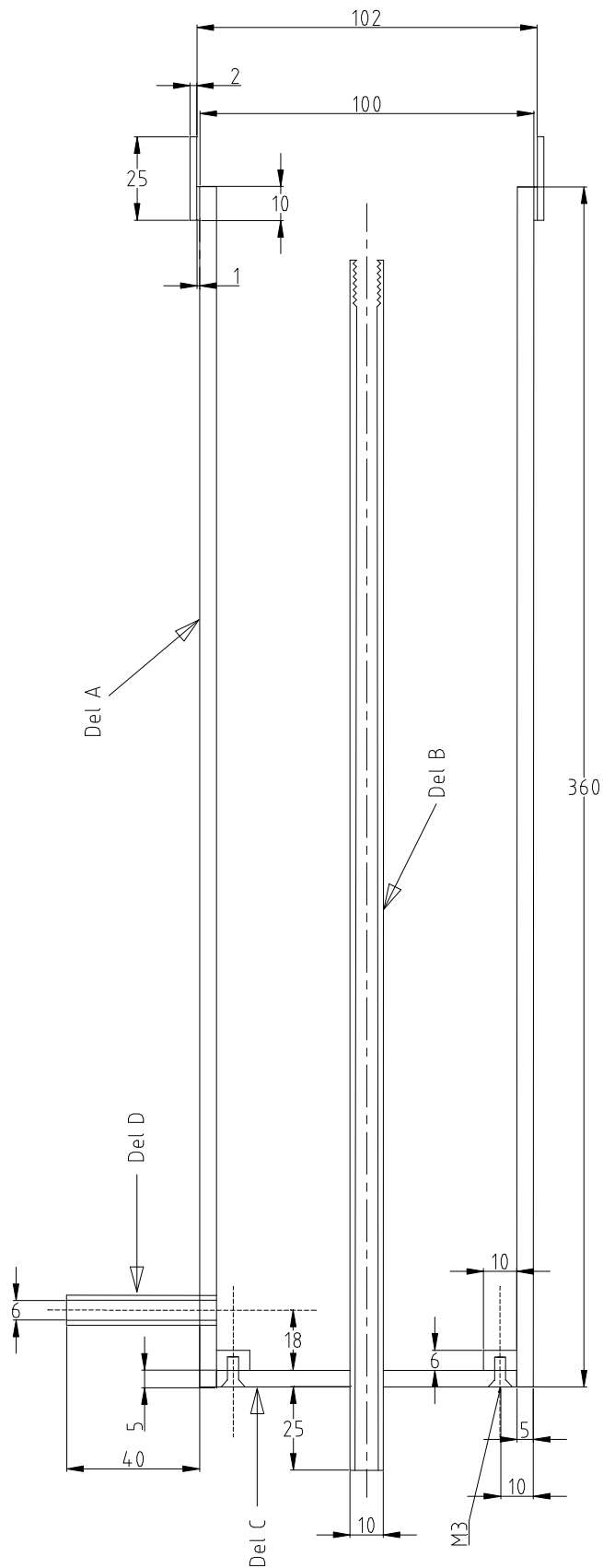
Halotron 2b är en tung gas jämfört luft. Den är tämligen svår att blanda med luft och därför är blandningsfasen viktig. För att lösa blandningsproblematiken monterades ett Spirorör (kanal) innan tilluftsfläkten. Kanalen utgjordes av två sektioner, en sektion med diametern 0,5 meter och en sektion med diametern 0,2 meter. I den sektion med bredare dimension installerades ett filter för att kunna öka omblandningsmöjligheten av luft och släckmedel. Filtret utgjordes av stålull inklämt mellan stålnät. Det var planerat att släckmedlet skulle föras in i luftkanalen via dysor.

För att branden skulle kunna brinna på ett tillfredställande sätt var lufttillförseln viktig att beakta. Lufttillgången bör svara mot vad som behövs vid en stökiometrisk förbränning gånger en faktor fem. Detta är viktigt för att inte lufttillförseln skall påverka släckresultatet. Efter RHR-mätningar samt teoretiska beräkningar framkom det att luftåtgången skulle vara ca 100 liter/s. För att kunna reglera luftflödet monterades en irisbländare i kanalen. Det visade sig dock att det var svårt att mäta luftflödet i kanalen och det berodde till stor del på att kanaldiametern var stor. Enligt ventilationsexperter skall det finnas en sträcka motsvarande sex gånger kanaldiametern på var sida mätpunkten för att en mätning skall kunna ge ett gott resultat. För att kunna uppnå dessa kriterier förlängdes kanalen med ett rör med diametern 0,2 meter och längden 2,5 meter. Ytterligare en irisbländare monterades, men nu på den klenare delen av kanalen. En luftflödesmätare visade efter denna förändring av konstruktionen ett stabilt värde och ett flöde på 100 liter/s.

Ett stort problem visade sig vara att förånga det vätskeformiga släckmedlet från släckmedelsbehållarna till luftkanalen. För Halotron 2b behövs ca 12 volym procent för släckande koncentration. Det innebär att ca 14 liter gasformigt släckmedel per sekund skall påföras till kanalen. Hur detta problem ska lösas är i dagsläget inte klart.

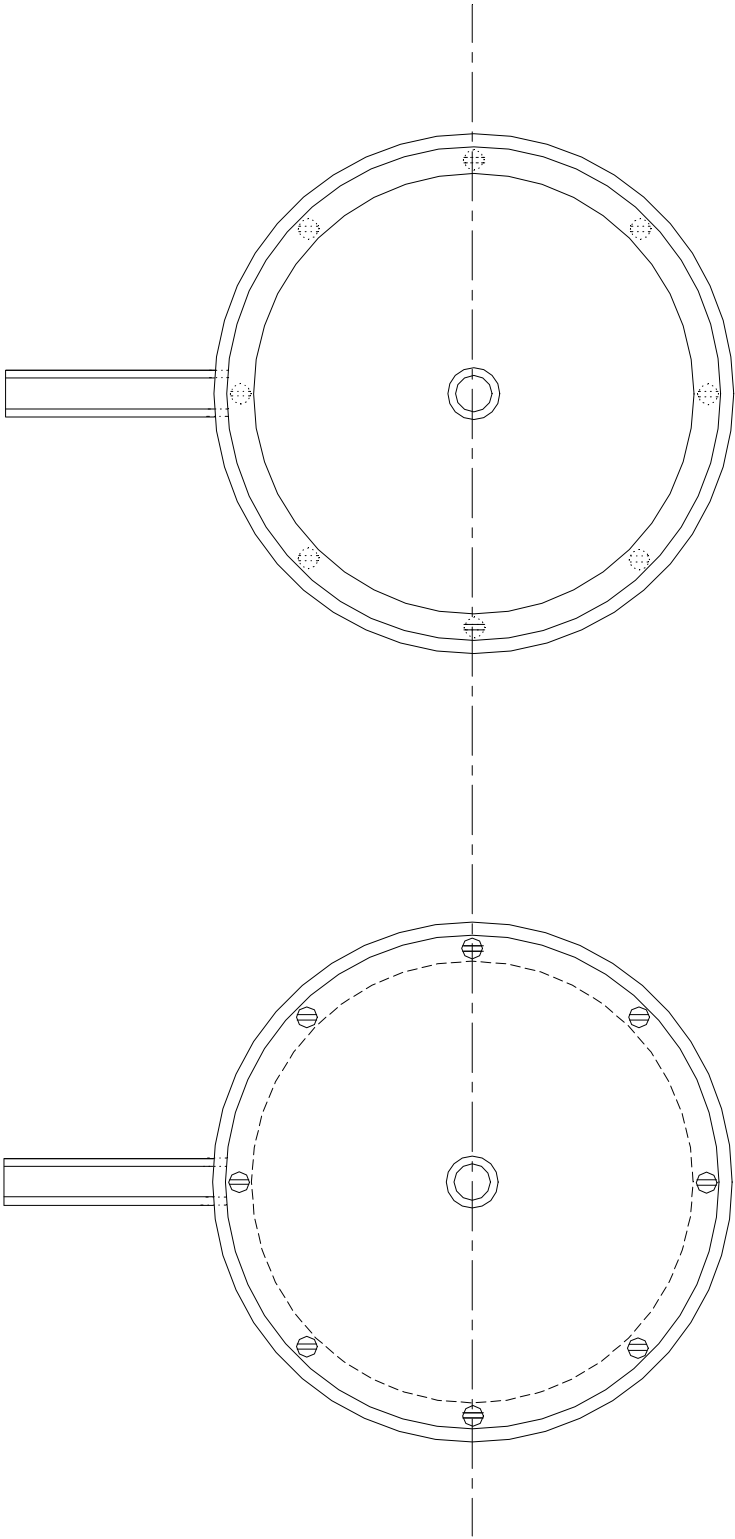
Bilaga A - Ritningar Burner Cup

Observera att ritningarnas skala som är markerad nere till höger inte stämmer i denna bilaga.



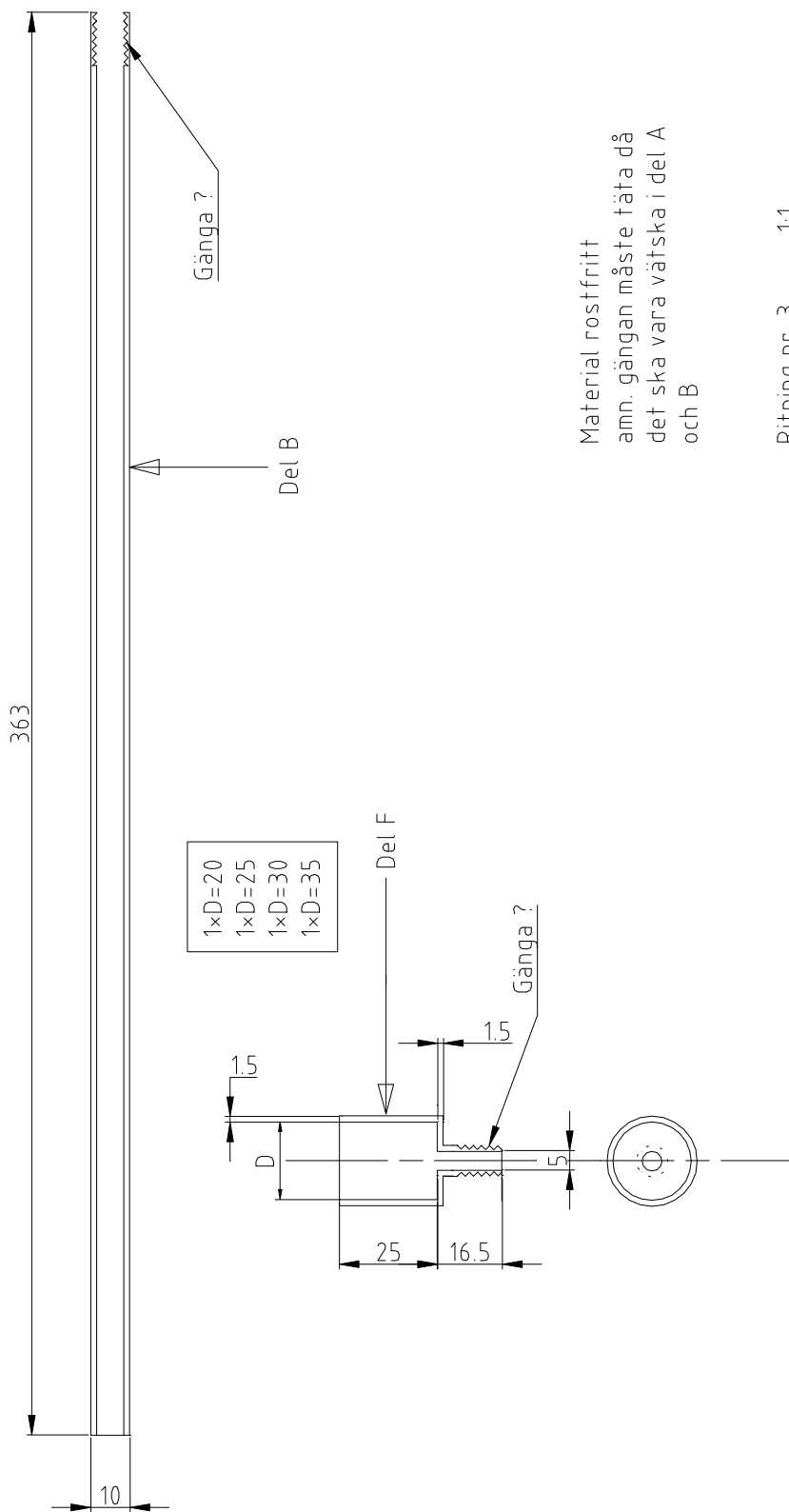
Material rostfrött

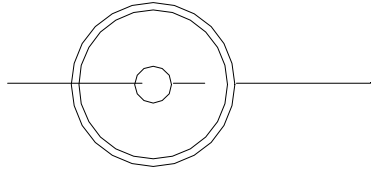
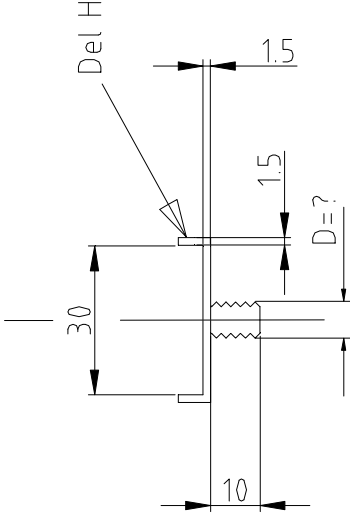
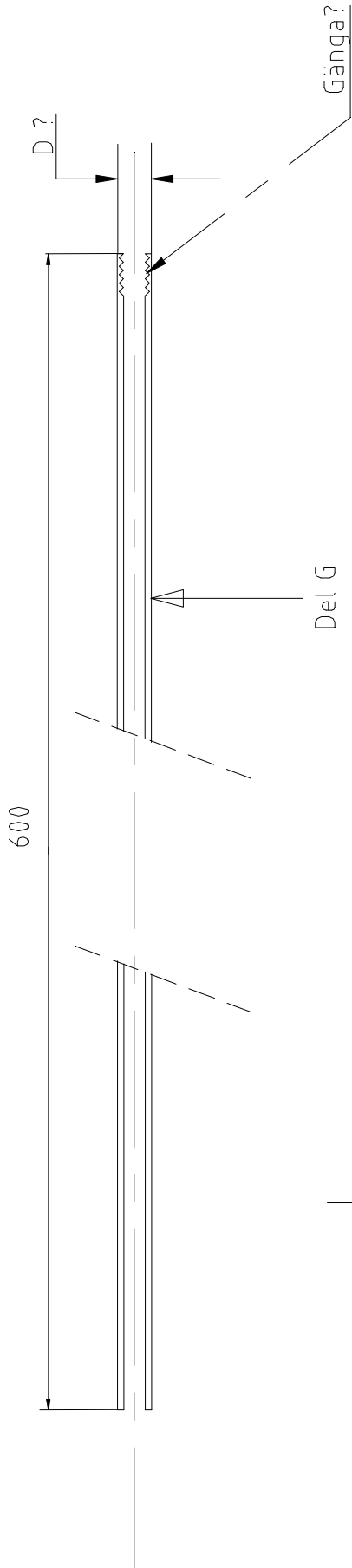
Ritning nr. 1 1:1



Material rostfritt

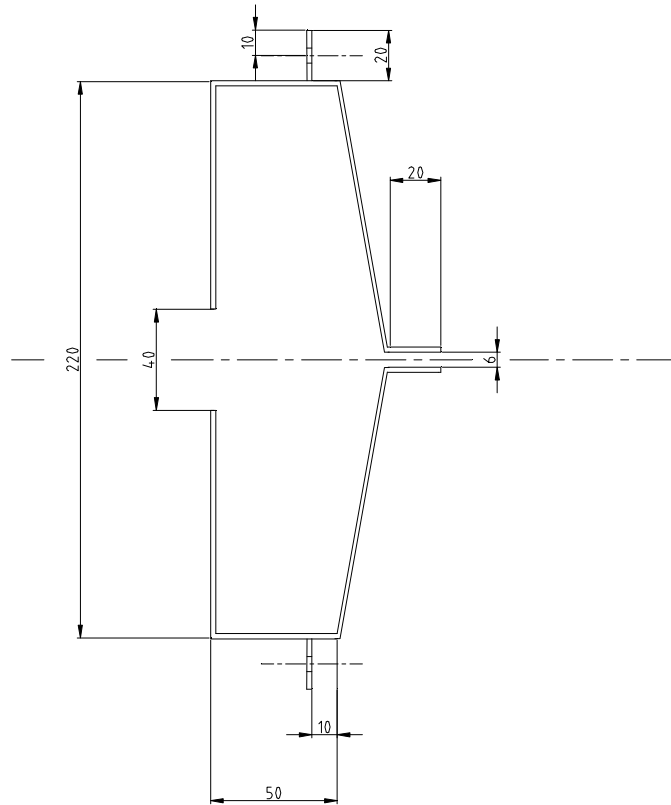
Ritning nr. 2 1:1





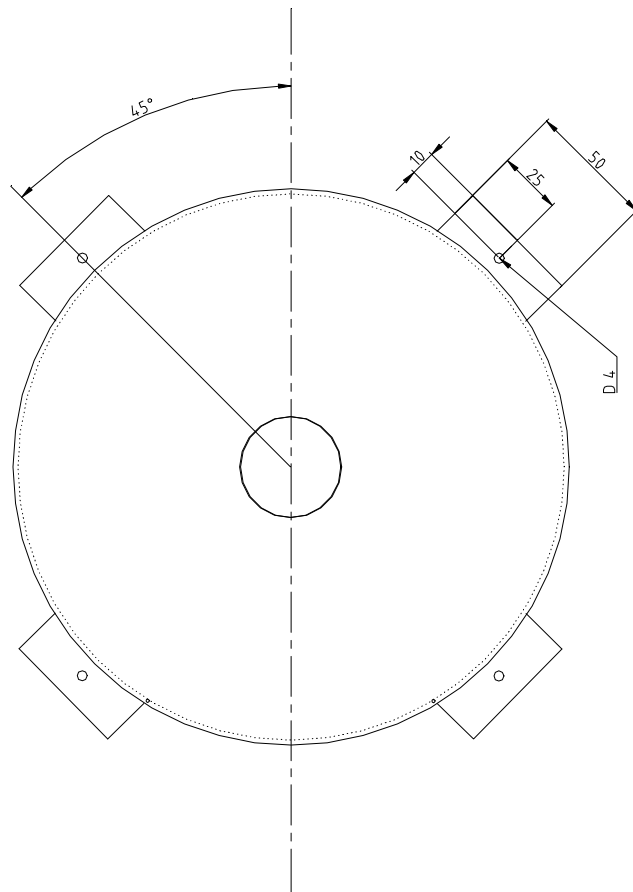
Material aluminium
anm. så lätt konstruktion
som möjligt

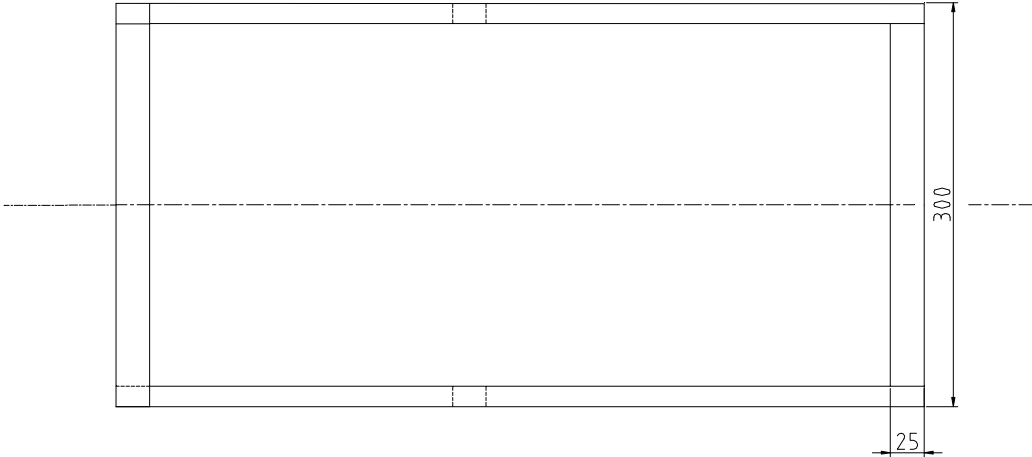
Ritning nr. 4 1:1



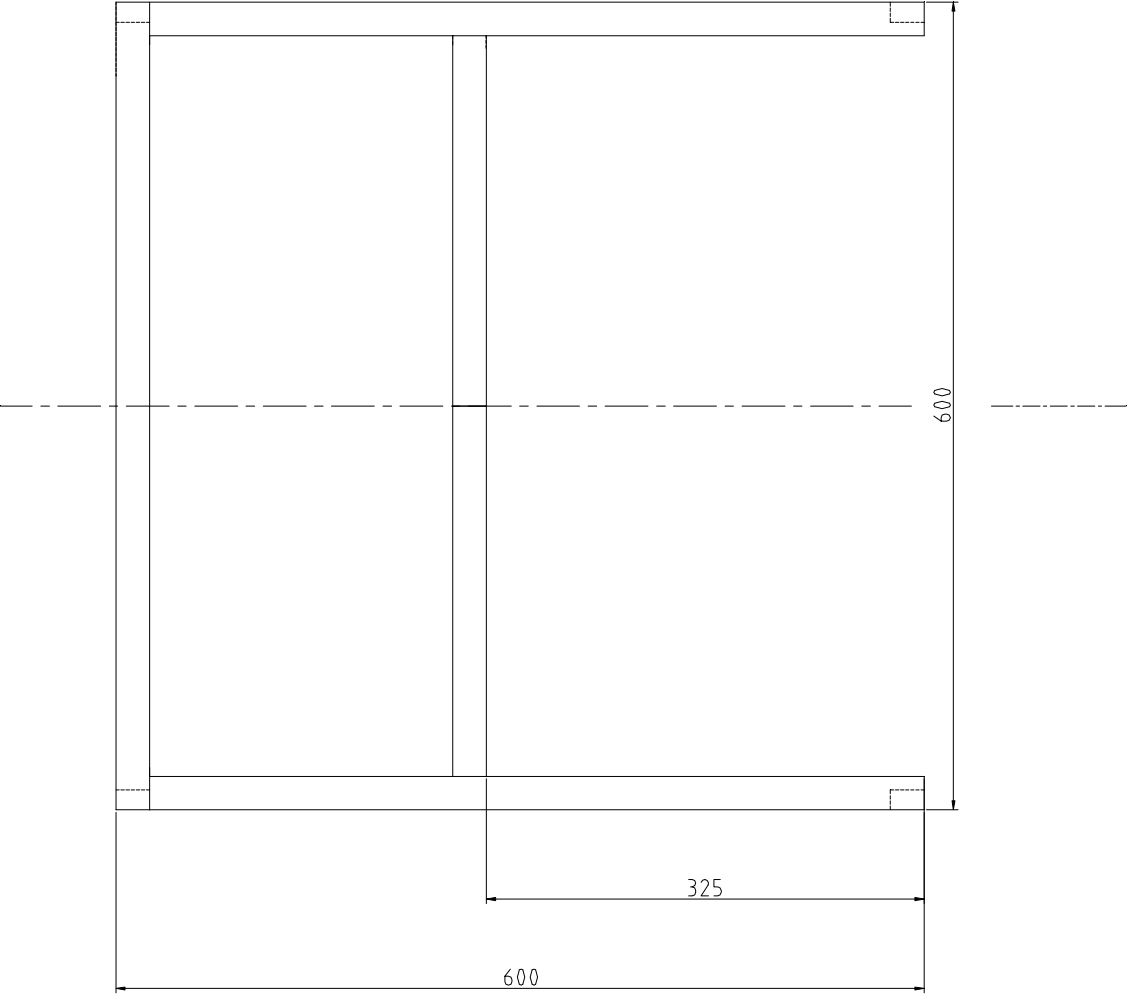
Material rostfrött

Ritning nr. 5 1:1





Material rostfritt rör rektangulärt 25x15
Ritning nr. 6 1:1



Bilaga B - Flödesmätare

Allmänt

För att kunna omforma rotameterens skaldelar till gasflöde i [l/min] användes metoden att mäta viktminskning för utströmmad gas per tidsenhet.

På grund av luft och släckmedelsflaskornas olika storlek och vikt och andra tekniska problem användes två vågar. En våg användes för luft, koldioxid samt kvävgas. Denna våg klarade av att belastas med 200 kg och hade en upplösning på 2 gram. Gemensamt för de tre flaskorna var att de hade en volym på 50 liter. Gasen inuti flaskorna var tryckkomprimerad (200 bar), vilket gav en volym av totalt 10 m³ gas per flaska. Flaskornas vikt var cirka 85 kg per styck.

För FM 200, Halotron 2b och Halon 1301 användes en våg som kunde belastas med 60 kg och hade upplösningen 1 gram. Dessa flaskor var ganska små och vägde cirka 15 kg styck.

Tillvägagång

Flaskan ställdes på vågen och 4-5 lämpliga skaldelar på rotarmeteren valdes (figur B1). Dessa var för t ex. luft 7, 11, 14, 19 samt 23. Därefter hölls gasflödet konstant vid respektive skaldel och tid och viktminskning noterades vid lämpliga tidpunkter (figur B1). Resultaten för respektive gas redovisas i diagramform. Ur diagrammen beräknades räta linjens ekvation m h a en dator. Ur denna ekvation kan derivatan utläsas för respektive skaldel, vilket är lika med viktminskningen per sekund m nedan i formel (G).

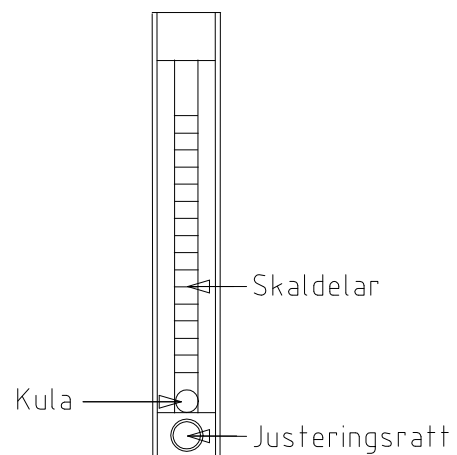
Med hjälp av det uppmätta gasflödet m samt allmänna gaslagen och temperaturen på den utströmmande gasen som uppmättes m h a termoelement till 20°C kunde volymflödet [l/min] beräknas enligt formel (G) nedan vid varje ovan nämnda skaldel. Resultaten presenteras i diagramform för respektive gas/släckmedel.

Lägg också märke till att den räta linje som beskriver volymflödet för de olika skaldelarna redovisas i diagrammen. Denna ekvation beräknas m h a datorn. Denna ekvation används sedan för att beräkna släckkoncentrationen för de olika släckmedlen vid försöken (Ekvation E, Appendix H - Flödesmätare).

$$(G) \quad V_{\text{flöde}} = \frac{m}{d} \cdot 60000 \text{ [l/min]} \text{ där}$$

$$d = \frac{m}{V} = \frac{P \cdot M}{R \cdot T} \text{ [g/m}^3\text{]} \text{ där } P = 101325 \text{ [Pa]} \quad M = \text{molmassa aktuell gas (tabell B1)}$$

$$R = 8.314 \text{ [J} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}\text{]} \quad T = 293 \text{ [K]} \quad V = 1 \text{ [m}^3\text{]}$$



Figur B1., Visar en principskiss av en rotameter. Här syns flödeskulan, skaldelarna samt justeringsratten. Flödet kommer in i rotameteren från baksidan nedanför kulan och ut på baksidan vid rotameterens topp.

Gas/släckmedel	Molmassa M [g/mol]	d [g/m ³]
Luft	28.96 /3/	1204.59
Koldioxid	44.01 /11/	1830.59
Kväve	28.01 /11/	1165.07
FM 200	170.00 /11/	7071.10
Halon	148.90 /11/	6193.50
Halotron 2b	99.49 /11/	4138.30

Tabell B1

Beräkningsexempel, luft

De valda skaldelarna för luft var 7, 11, 14, 19 samt 23. Flaskan ställdes på vågen. Luften sattes på och luftflödet justerades med justeringsratten så att kulan i rotarmetern lyftes upp och hölls konstant på skaldel 7. Därefter togs tiden med ett tidtagarur. Ungefär var 40:e sekund noterades viktminskningen. Dessa punkter plottades därefter i diagram B3. Blå linje markerad som skalstreck 7. Därefter beräknade datorn ut den räta linjens ekvation för dessa punkter (se ekvation i diagrammet $Y = -0.2006x + 134.03$). Deriveras denna ekvation fås bekant $Y = -0.2006$ vilket är lika med viktminskningen luft per sekund dvs 0.2006 gram. Görs nu samma tillvägagångssätt för övriga skaldelar ovan erhålles viktminskningarna, 0.2982, 0.4089, 0.5279 samt 0.6471 för skaldelarna 11, 14, 19 och 23.

Härefter beräknades flödet m h a ekvation G föregående sida. Från denna erhöles flödet 10.0, 14.9, 20.3, 26.3 samt 32.2 [l/min] vid skaldelarna 7, 11, 14, 19 och 23. Härefter plottas detta i ett nytt diagram (diagram B4). Därefter beräknades den räta linjens ekvation för dessa punkter m h a datorn $Y = 1.4518x - 1.2473$, där x = avläst skaldel på rotametern. Detta innebar att luftflödet nu kunde beräknas vid varje aktuell skaldel. Dock ska det poängteras att avläsning vid för låga respektive för höga skaldelar bör undvikas.

På liknande sätt erhöles ekvationerna för de resterande släckmedlen. Ekvationerna sammanfattas i tabell B2.

Gas	Ekvation [l/min] vid skaldel=X
Luft	$Y = 1.4518X - 1.2473$
Koldioxid	$Y = 1.175X - 1.155$
Kväve	$Y = 1.5175X - 2.1592$
FM 200	$Y = 0.0212X + 0.0526$
Halon 1301	$Y = 0.2153X - 0.00242$
Halotron 2b	$Y = 0.293X - 0.122$

Tabell B2.

Diagram massavbrinning, heptan och metanol

Nedan redovisas uppmätt massavbrinning för heptan och metanol. Deriveras ekvationerna i diagrammen erhålles massavbrinningen i gram per sekund.

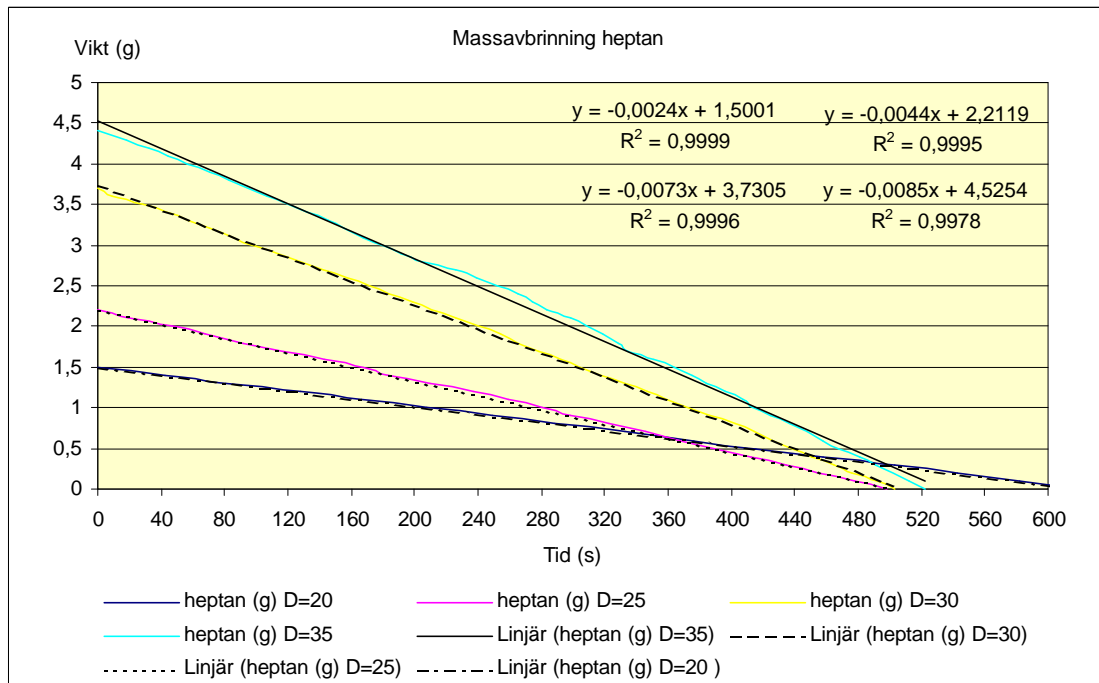


Diagram B1, Uppmätt massavbrinning för heptan med varierande brännarcupstorlek.

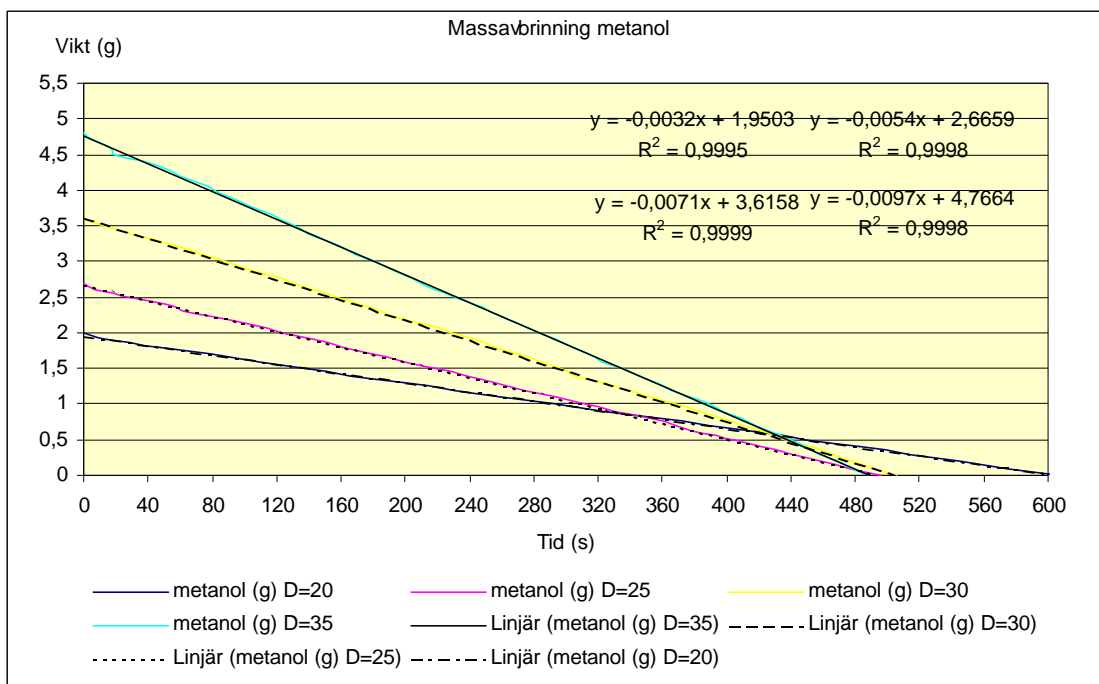


Diagram B2, Uppmätt massavbrinning för metanol med varierande brännarcupstorlek.

Diagram

Luft, koldioxid och kvävgas

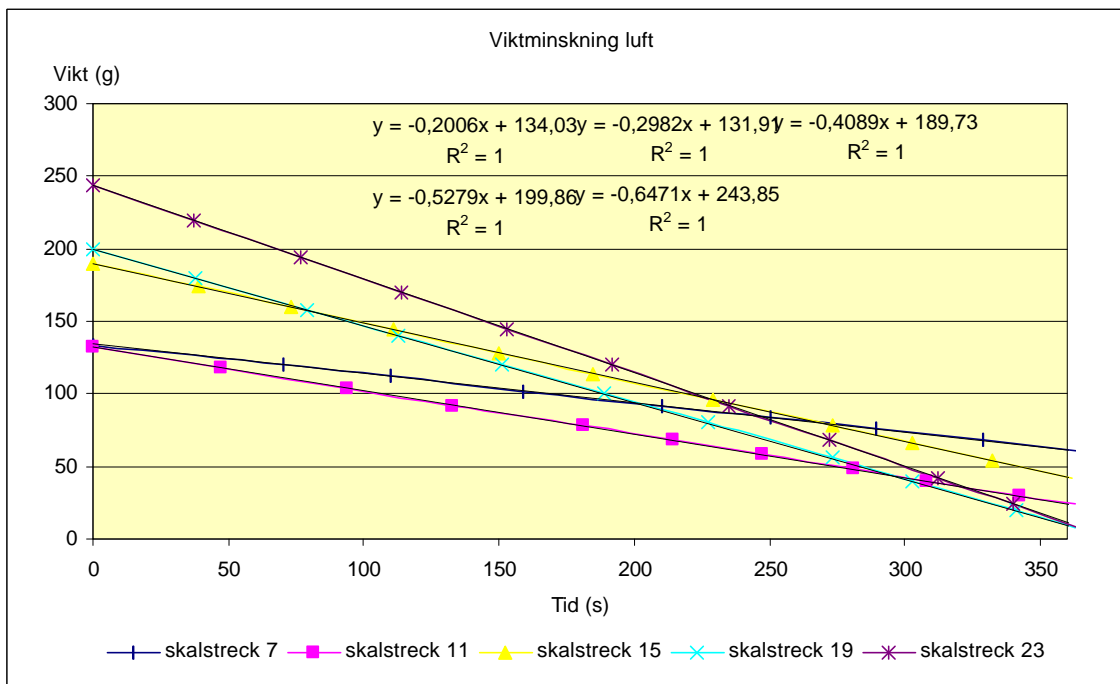


Diagram B3, Viktminskning luft

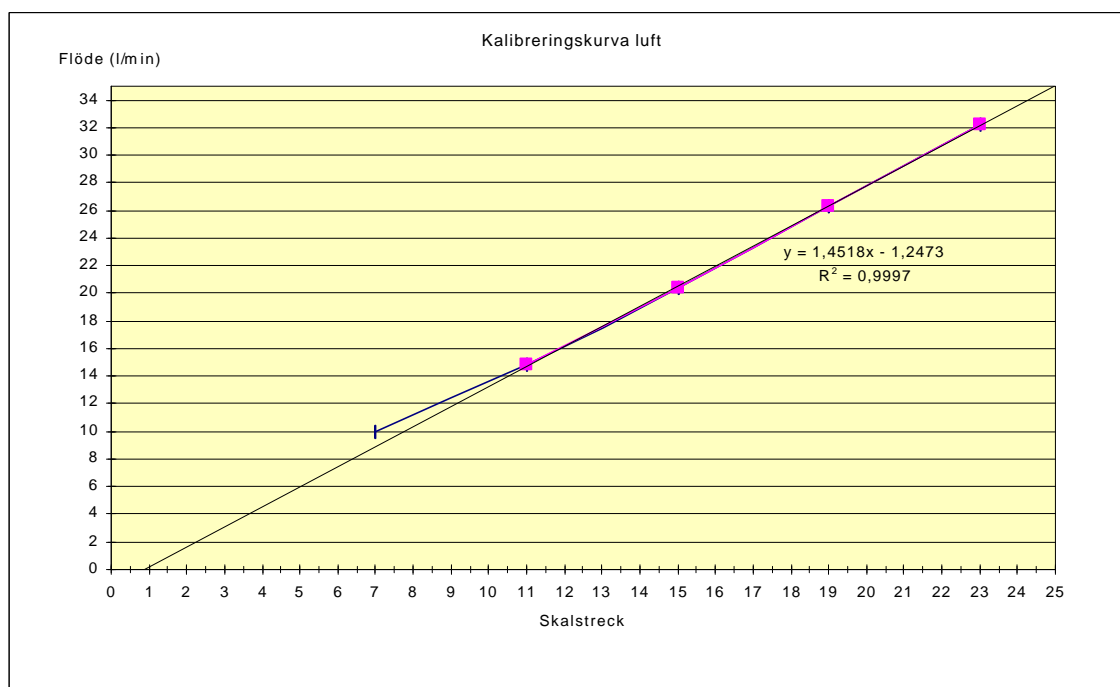


Diagram B4, Kalibreringskurva luft

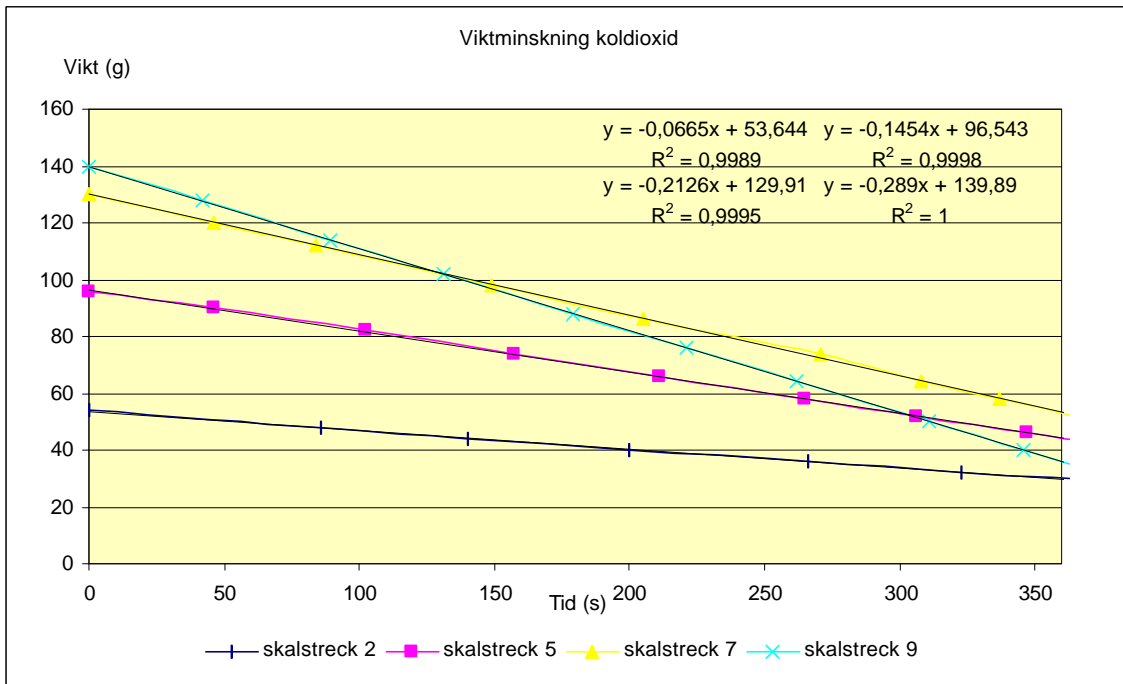


Diagram B5, Viktminskning koldioxid

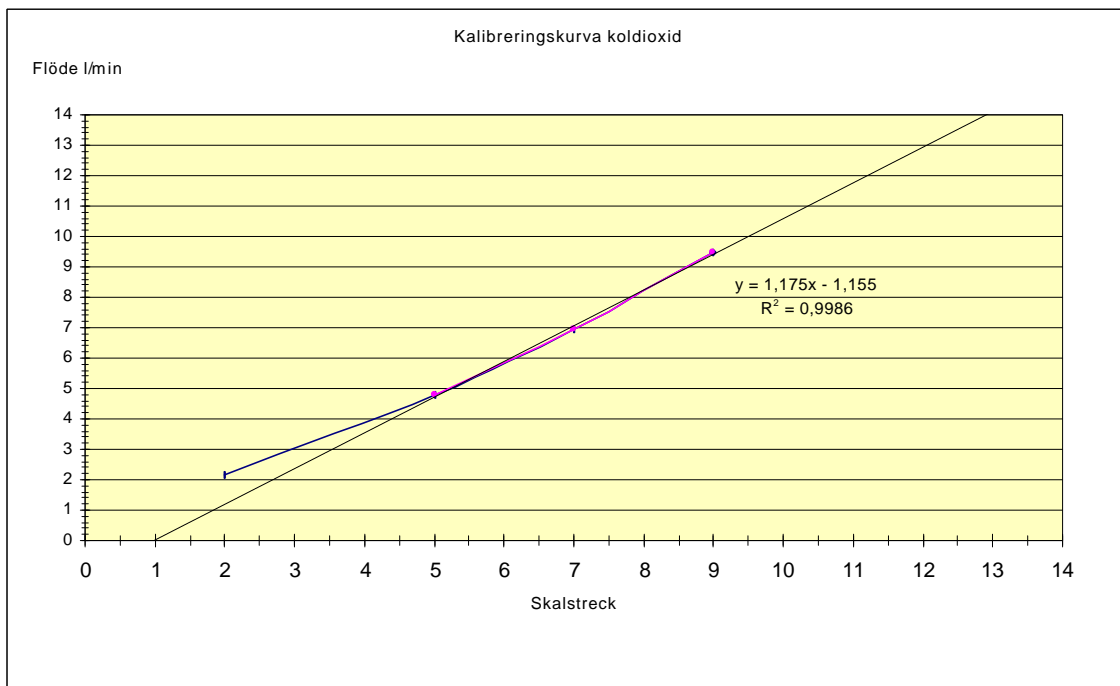


Diagram B6, Kalibreringskurva koldioxid

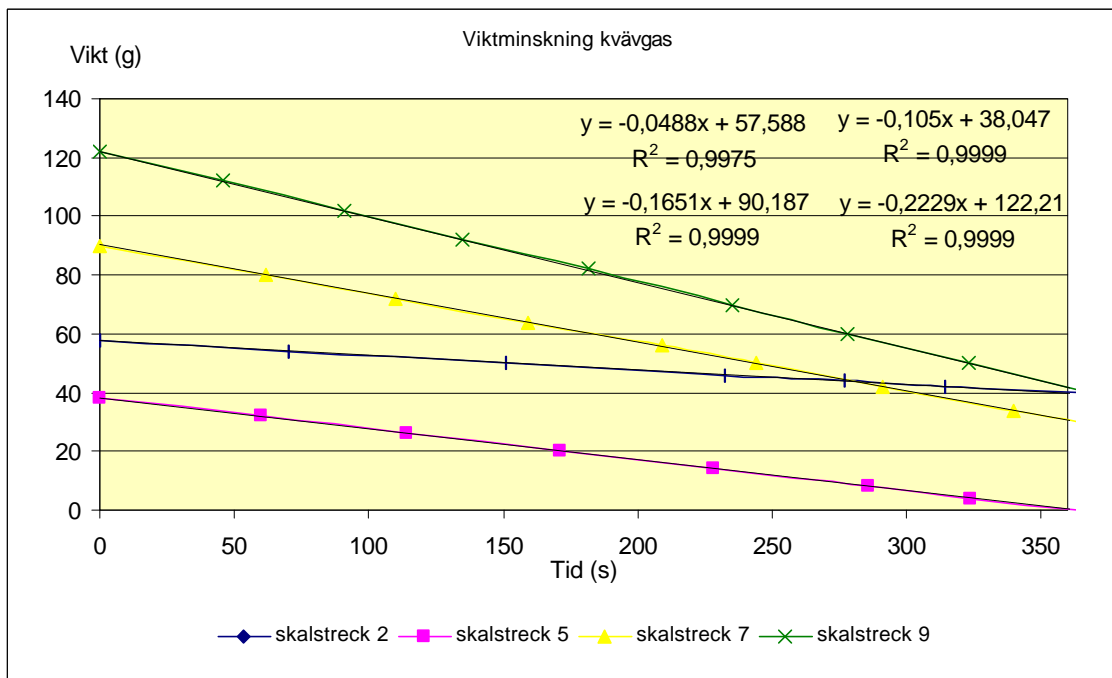


Diagram B7, Viktminskning kvävgas

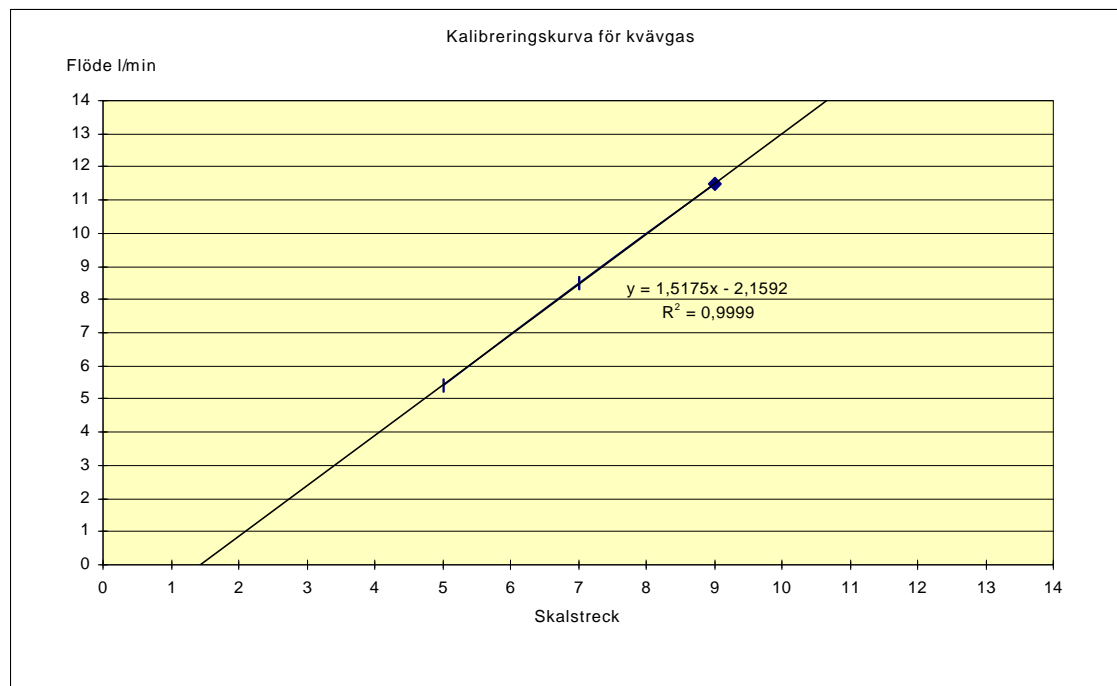


Diagram B8, Kalibreringskurva kvävgas

FM 200, Halon 1301, Halotron 2b

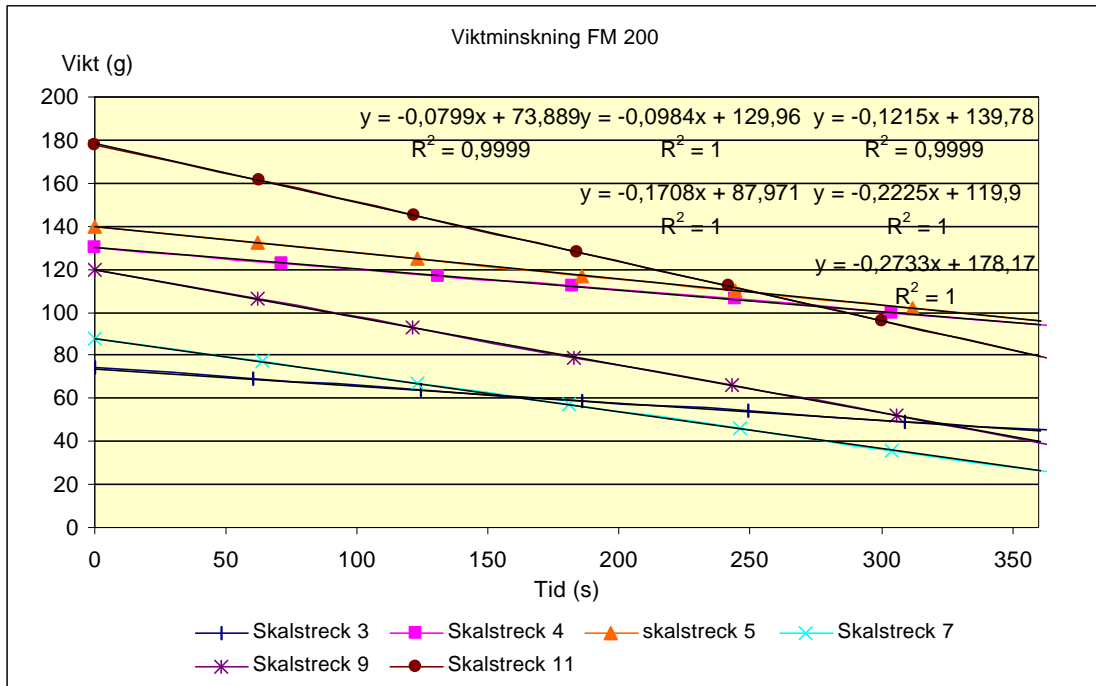


Diagram B9, Viktminskning FM 200

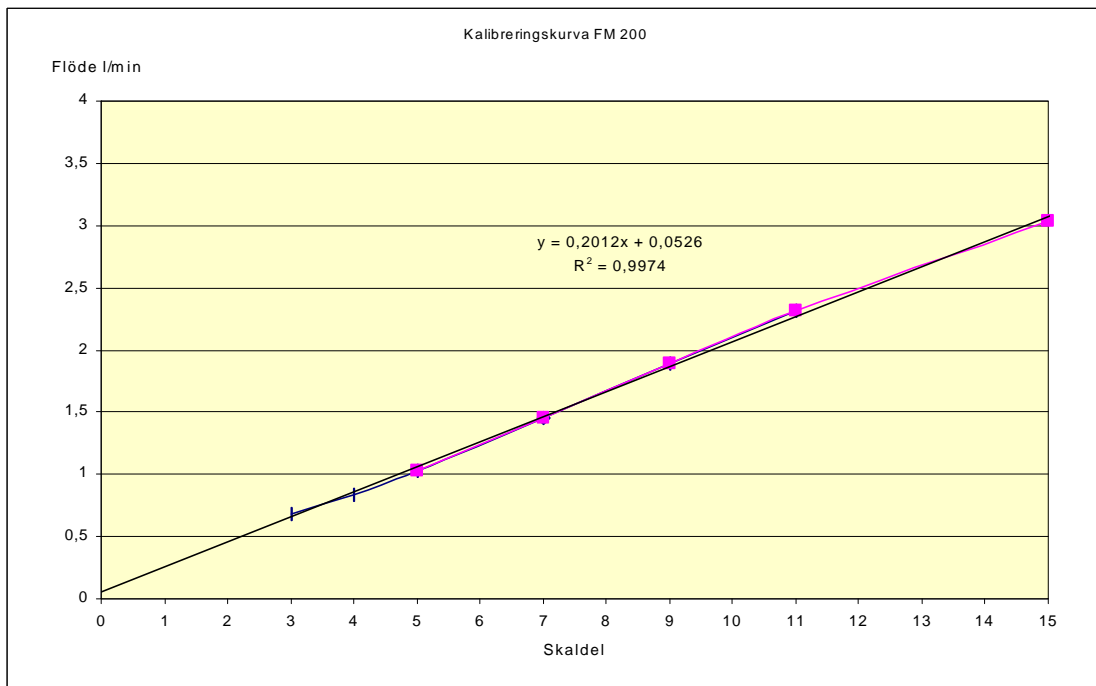


Diagram B10, Kalibreringskurva FM 200

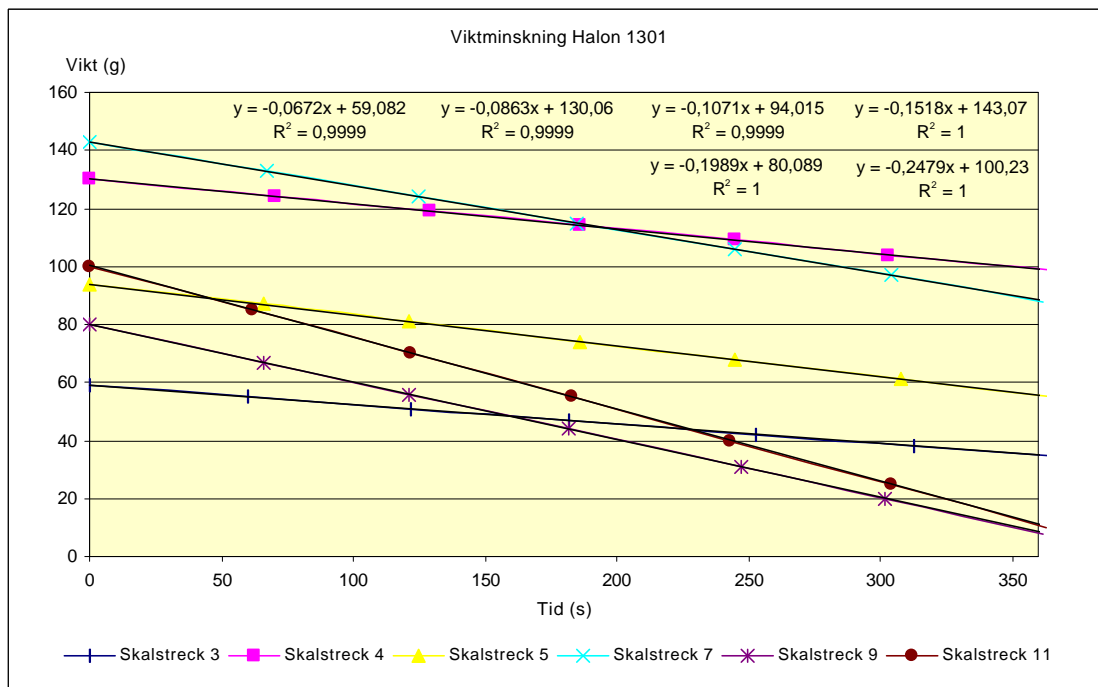


Diagram B11, Viktminskning Halon 1301

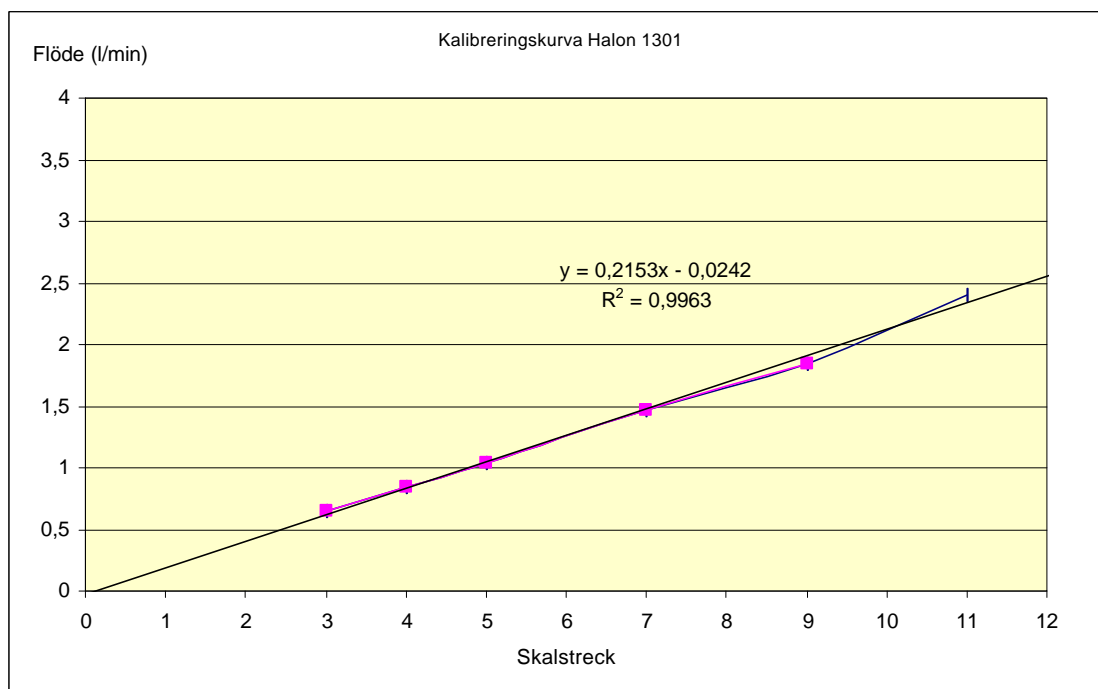


Diagram B12, Kalibreringskurva Halon 1301

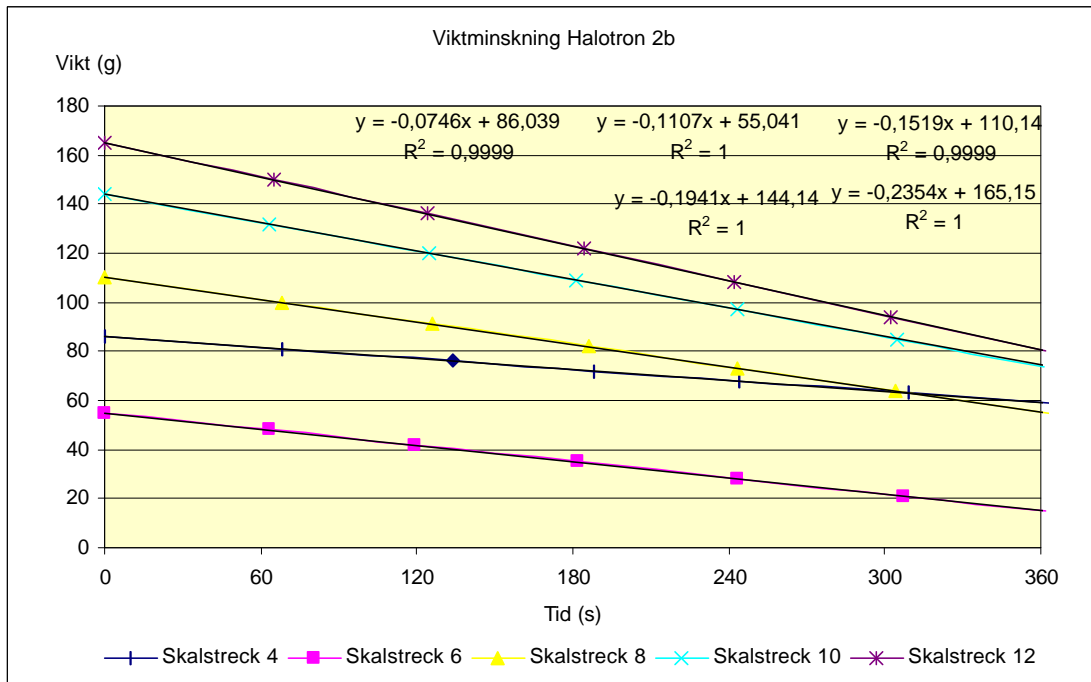


Diagram B13, Viktminskning Halotron 2b

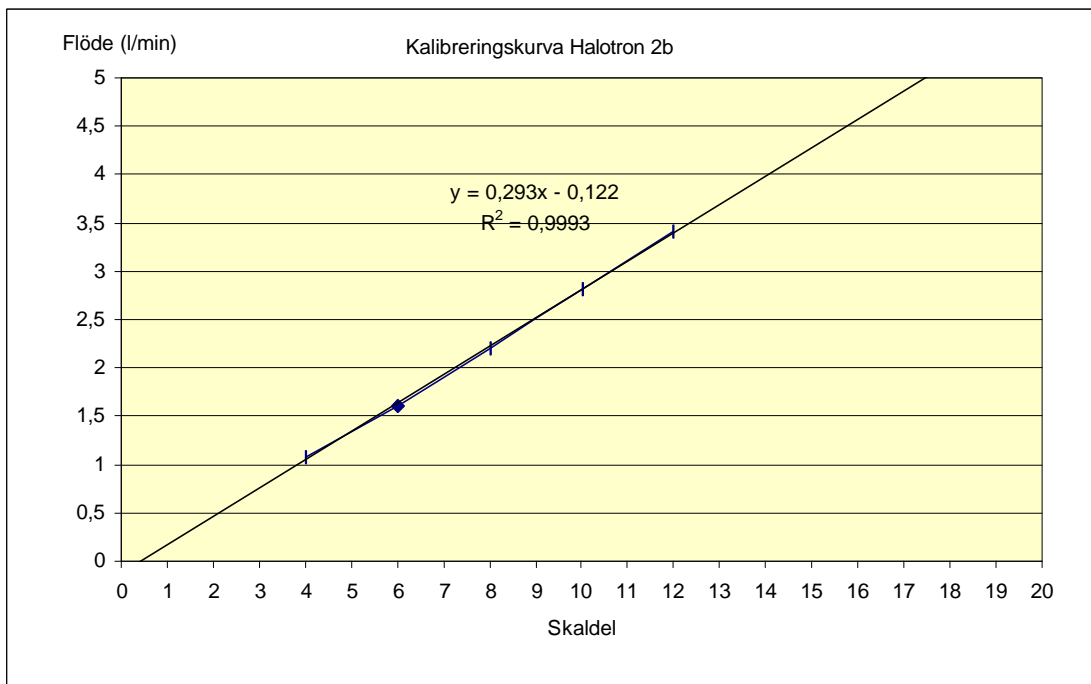


Diagram B14, Kalibreringskurva Halotron 2b

Bilaga C - Brännarcupsstorlek

Beräkningsgång luftflöde

Den uppmätta massavbrinningen för de olika brännarcupstorlekarna hämtas ur diagrammen som följer. En rät linje beräknas fram m h a dator under en tidsperiod där derivatan är som störst. Deriveras denna framtagna funktion erhålls massavbrinningen per sekund. Massavbrinningen bestäms genom ett medelvärde för de båda ekvationerna i respektive diagram (se nedan) Dessa medelvärden redovisas därefter i tabellerna nedan.

Brännarcupstorlek [mm]	Massavbrinning medelvärden[g/s]
20	$10.65 \cdot 10^{-3}$
25	$15.60 \cdot 10^{-3}$
30	$18.20 \cdot 10^{-3}$
35	$24.10 \cdot 10^{-3}$

Tabell C1, uppmätt massavbrinning heptan

Eftersom molförhållandet mellan heptan och luft vid förbränning förhåller sig 1 till 11 (formel heptan luft, Appendix H - Flödesmätare) och för metanol/luft 1 till 1.5 kan således lufttågängen beräknas m h a ovanstående uppmätta massavbrinning enligt:

$$(A) \text{ Lufttågång} = \frac{m_{\text{luft}}}{d_{\text{luft}}} \cdot 60000 \text{ [l/min]} \quad d_{\text{luft}} = 1205 \text{ [g/m}^3\text{]}$$

$$(B) \quad m_{\text{luft}} = n_{\text{luft}} \cdot M_{\text{luft}} \quad M_{\text{luft}} = 137.28 \text{ [g/mol]}$$

$$(C) \quad n_{\text{bränsle}} = \frac{m_{\text{bränsle}}}{M_{\text{bränsle}}} \quad M_{\text{bränsle}} = 100 \text{ respektive } 32 \text{ [g/mol] för heptan samt metanol}$$

Exempelberäkning, heptan och brännarcupstorlek 20 mm

Massavbrinningens medelvärden hämtas ur tabell C1 ovan $10.65 \cdot 10^{-3}$ [g/s]. $M_{\text{bränsle}} = 100$ [g/mol]. Ekvation (C) ger $1.065 \cdot 10^{-4}$ mol (vilket redovisas i tabell C2 nedan). Enligt ovan förhåller sig 1 mol heptan med 11 mol luft varvid $M_{\text{luft}} = 11 \cdot 1.065 \cdot 10^{-4} = 1.1715 \cdot 10^{-3}$ mol. Ekvation (B) ger $m_{\text{luft}} = 1.1715 \cdot 10^{-3} \cdot 137.28 = 0.1608$ g. Ekvation (C) ger slutligen Lufttågång = $0.1608 / 1205 \cdot 60000 = 8.00$ [l/min] vilket redovisas i tabell C3.

Brännarcup [mm]	Mol heptan	Mol luft
20	$1.065 \cdot 10^{-4}$	$1.1715 \cdot 10^{-3}$
25	$1.56 \cdot 10^{-4}$	$1.716 \cdot 10^{-3}$
30	$1.82 \cdot 10^{-4}$	$2.002 \cdot 10^{-3}$
35	$2.41 \cdot 10^{-4}$	$2.651 \cdot 10^{-3}$

Tabell C2, molförhållandet mellan heptan/luft

M h a ovanstående molförhållanden beräknas lufttågängen för heptan fram, vilket redovisas ovan. I tabell C3 redovisas resultaten för heptan.

Brännarcup [mm]	1*stökeometri	5*stökeometri
20	8.00	40.00
25	11.73	58.65
30	13.68	68.40
35	18.12	90.60

Tabell C3, luftåtgång för heptan [l/min]

På samma sätt beräknas luftåtgången för metanol. Resultaten redovisas nedan.

Massavbrinning metanol

Brännarcup [mm]	Massavbrinning [g/s]
20	$10.00 \cdot 10^{-3}$

Tabell C4

Molförhållandet mellan metanol/luft

Brännarcup [mm]	Mol metanol	Mol luft
30	$3.125 \cdot 10^{-4}$	$4.688 \cdot 10^{-4}$

Tabell C5

Luftåtgång metanol [l/min]

Brännarcup [mm]	1*stökeometri	5*stökeometri
30	3.20	16.00

Tabell C6

Diagram heptan

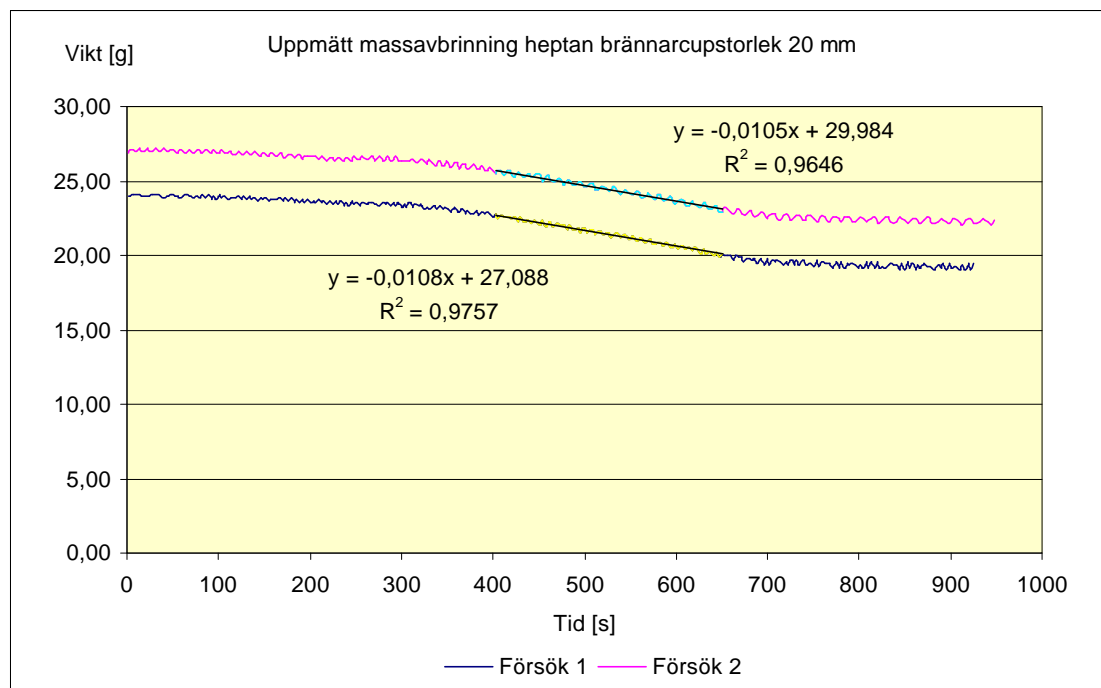


Diagram C1., Uppmätt massavbrinning heptan brännarcupstorlek 20 mm.

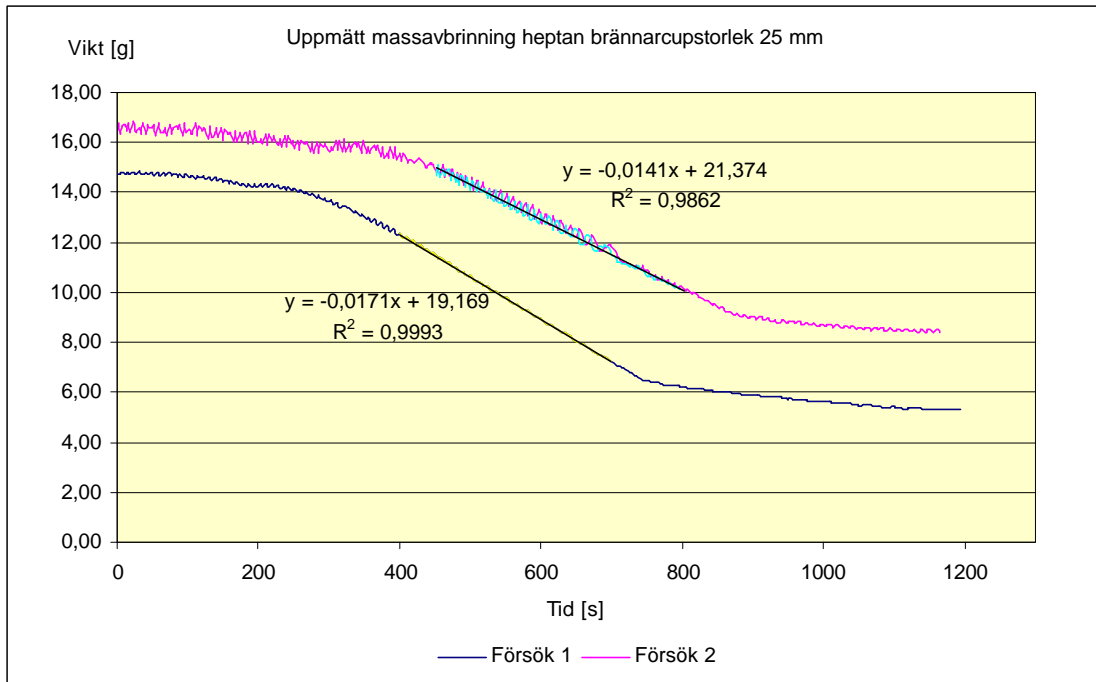


Diagram C2., Uppmätt massavbrinning heptan brännarcupstorlek 25 mm.

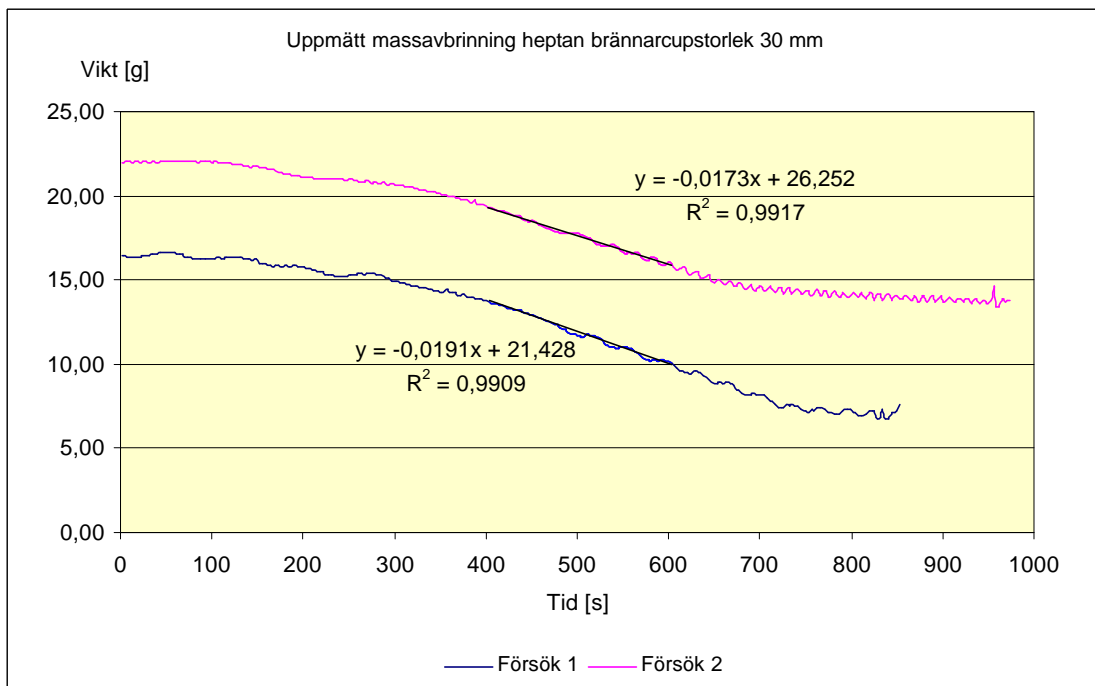


Diagram C3., Uppmätt massavbrinning heptan brännarcupstorlek 30 mm.

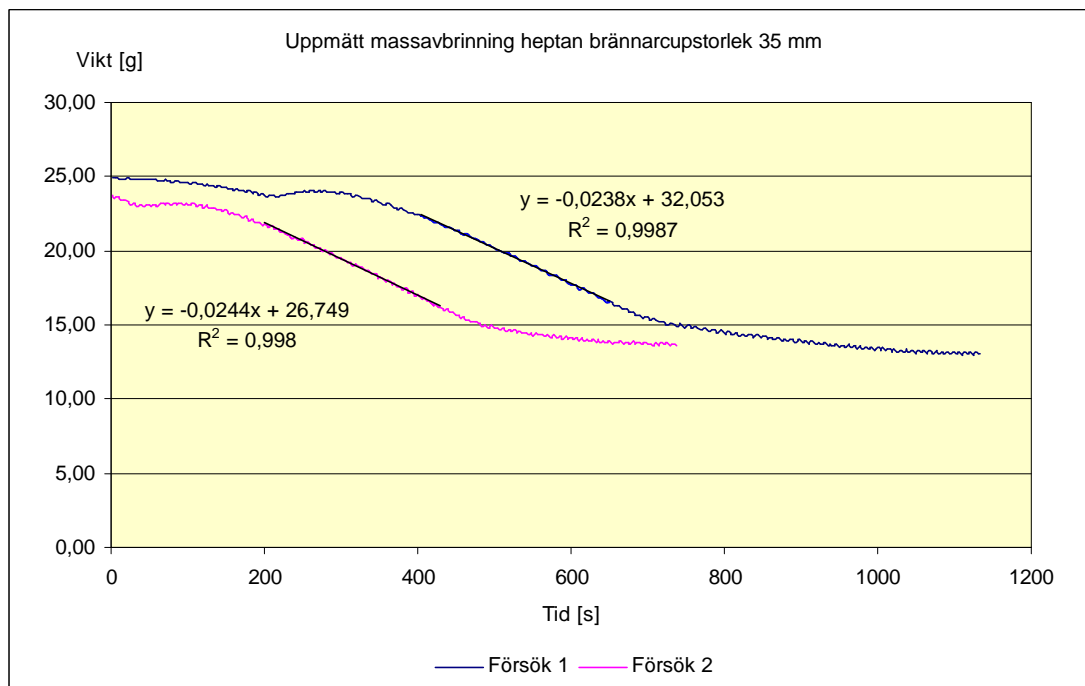


Diagram C4, Uppmätt massavbrinning heptan brännarcupstorlek 35 mm.

Diagram metanol

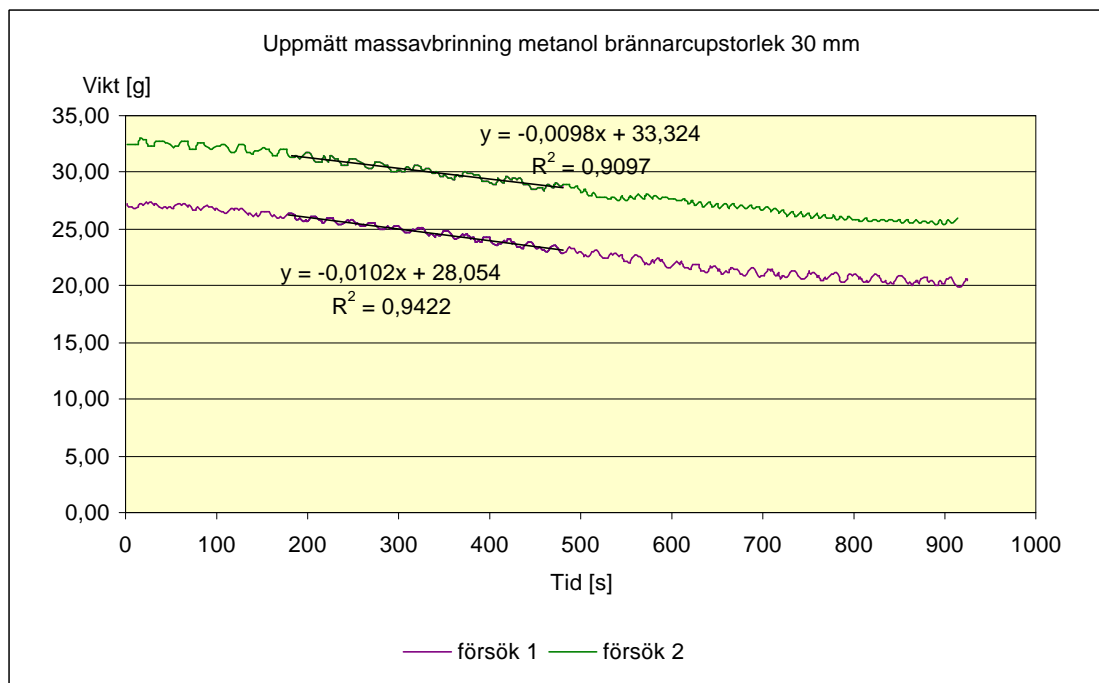


Diagram C5, Uppmätt massavbrinning metanol brännarcupstorlek 30 mm.

Bilaga D - Experimentserier flytande bränslen

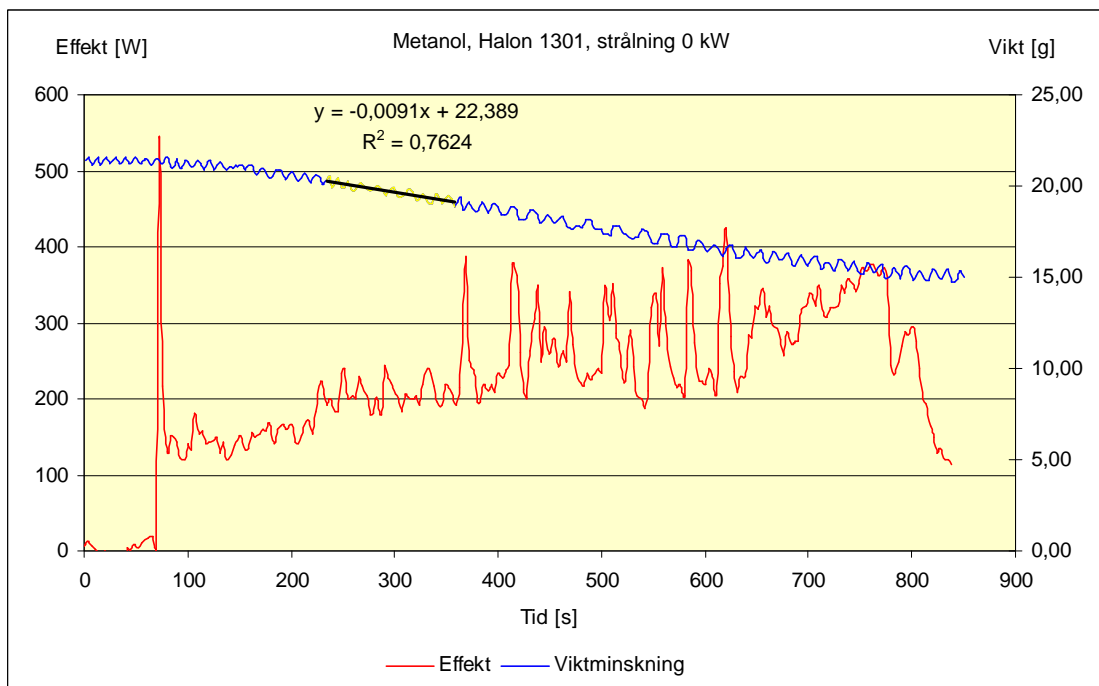


Diagram D1

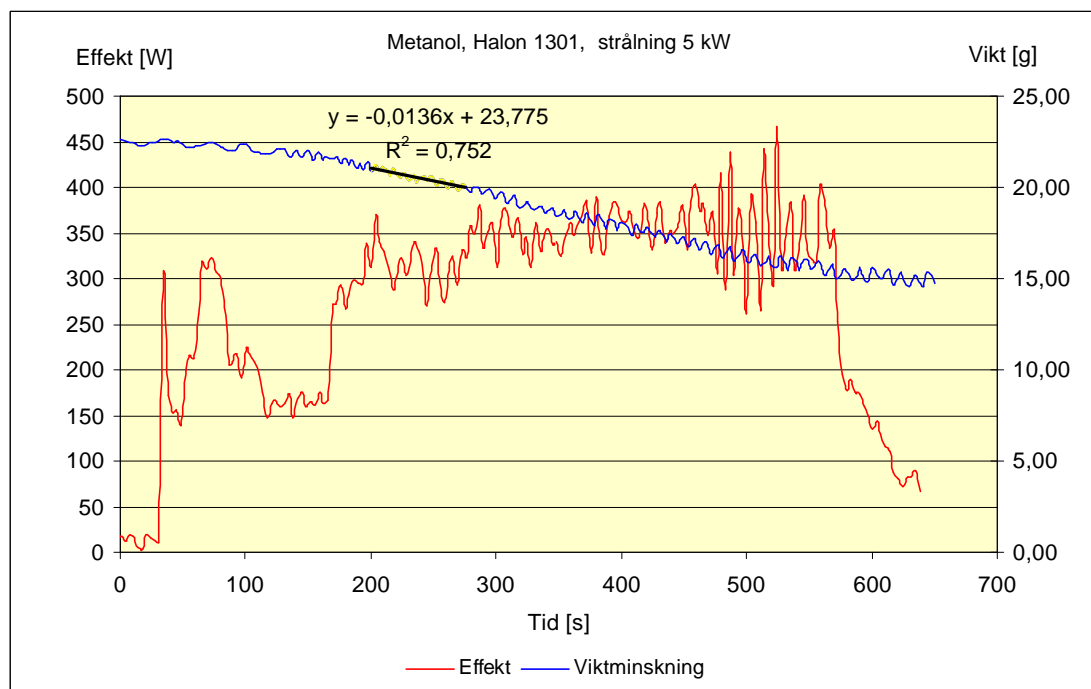


Diagram D2

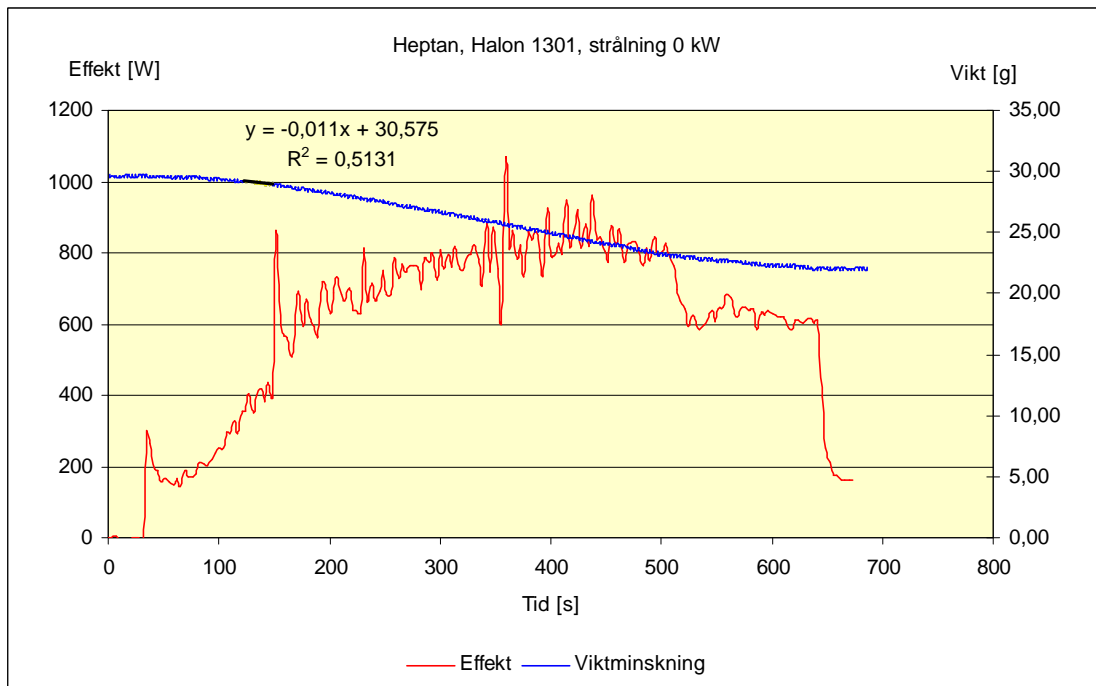


Diagram D3

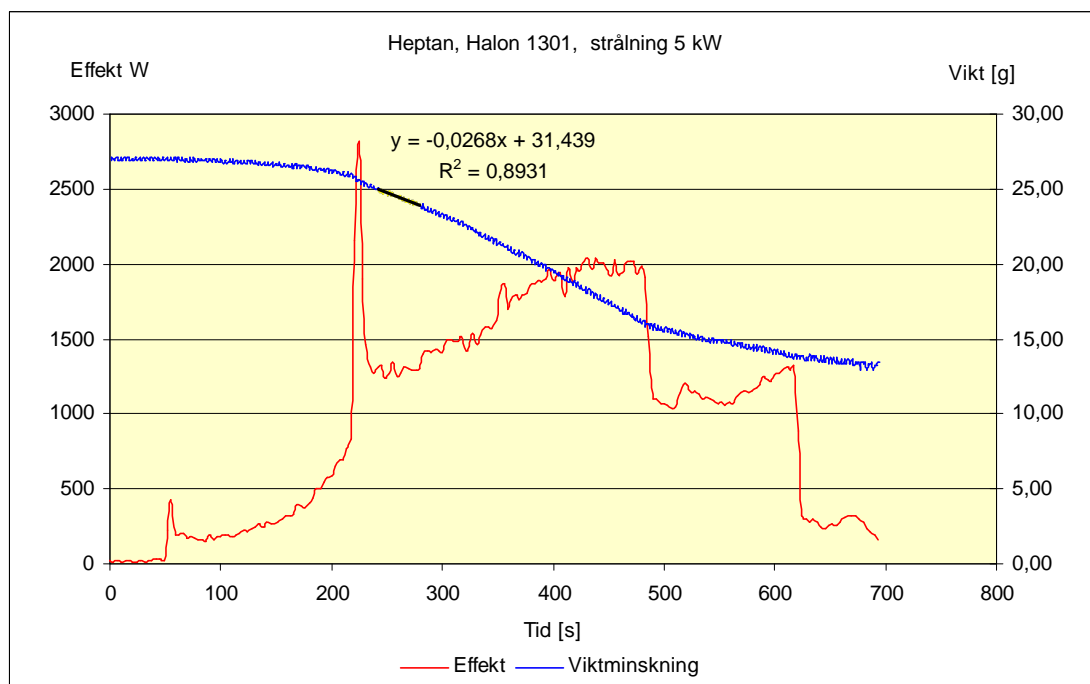


Diagram D4

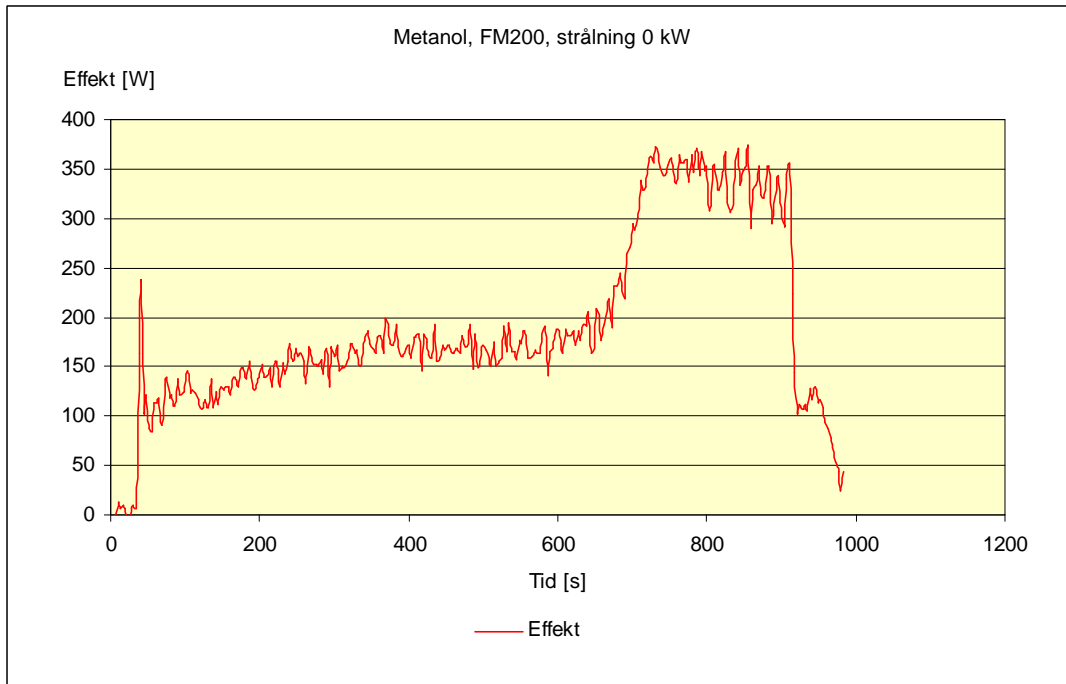


Diagram D5

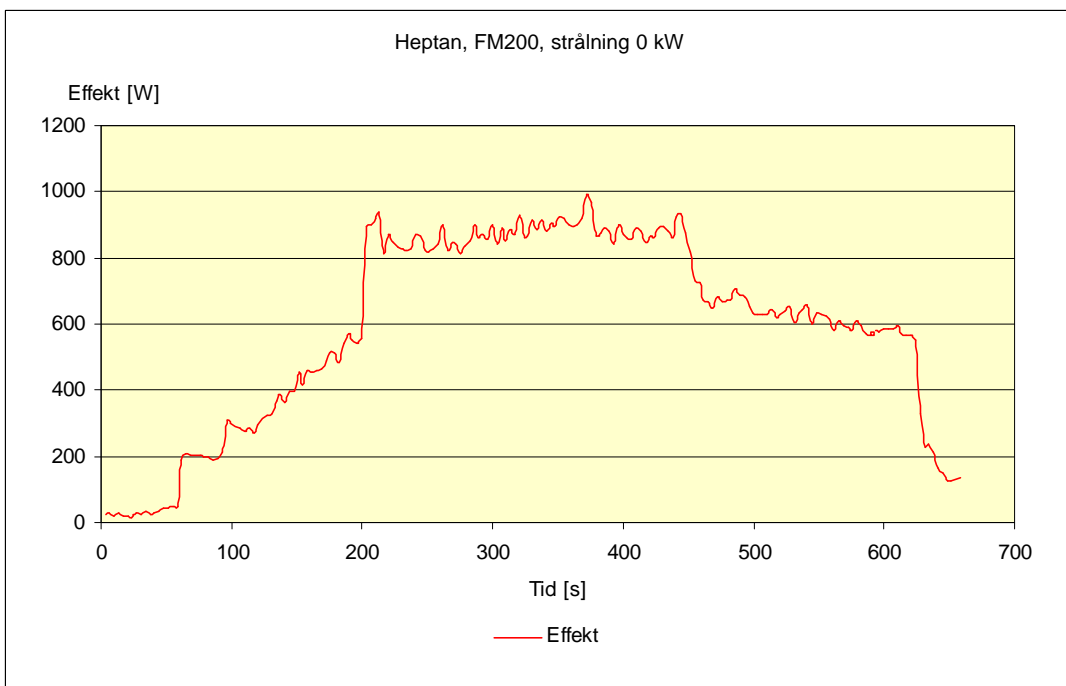


Diagram D6

Effektökning

I diagram D5 ovan kan ses hur effekten ökar för metanol då släckmedlet FM 200 appliceras efter cirka 650 sekunder. För heptan (diagram D6) kan ingen ökning noteras då branden släcks med samma släckmedel som för metanol. Effekten är konstant cirka 950 W till dess att släckmedlet appliceras för att sedan sjunka. För metanol ökar effekten cirka en faktor 2, från cirka 175 W till 325 W vid släckögonblicket. Det förhåller sig på ungefär samma sätt för Halotron 2b. Dessa diagrammen visas dock inte i rapporten, då det primära med examensarbetet var att påvisa ökat släckmedelsbehov vid extern värmestrålning och inte att fördjupa sig i varför effekten ökar för vissa släckmedel tillsammans med vissa bränslen.

Ökning av effekt och massavbrinning vid extern värmestrålning

Jämförs diagrammen D 1-4 kan det observeras en klar ökning av både effekt och massavbrinning. För metanol ökar effekten från cirka 250 W till cirka 350 W då ytan utsätts för 5 kW/m². Heptan ökar från cirka 800 W till cirka 2000 W vid 5 kW/m². Det har påpekats tidigare att heptan brinner betydligt häftigare än metanol, vilket härmed kan observeras i diagrammen.

Jämförelse RHR kontra uppmätt massavbrinning

Funktionen som är framtagen i diagrammen 1-4 beskriver massavbrinningen under den tidsperiod som den räta linjen begränsar. Givetvis är det av stor betydelse under vilken tidsperiod denna avser. Som tidigare nämnts är inte heller en sådan undersökning syftet med projektet. Det vill dock påvisas att det finns en möjlighet att forska vidare inom detta området med hjälp av de data som framtagits under experimentens gång.

Deriveras ekvationen erhålles som bekant massavbrinningen i gram per tidsenhet. Därefter används

$$\dot{Q} = \dot{m} \cdot c \cdot \Delta H_c \quad [\text{W}] \quad /12/$$

För att beräkna effekten. Resultaten redovisas i tabell D1 nedan.

Där \dot{m} = massavbrinning [g/s], c = förbränningseffektivitet, ΔH_c = Förbränningsvärde [kJ/g]

Förbränningsvärden för heptan respektive metanol är 44.6 samt 20.0 [kJ/g] /12/ c sätts till 0.8 för heptan då denna sotar en del och 1.0 för metanol som inte alls sotar.

Diagram nummer	Beräknad effekt [W]	Uppmätt effekt cirka [W]
1	182	200
2	272	300
3	392	400
4	956	1300

Tabell D1, jämförelse av effekt mellan massavbrinning och RHR

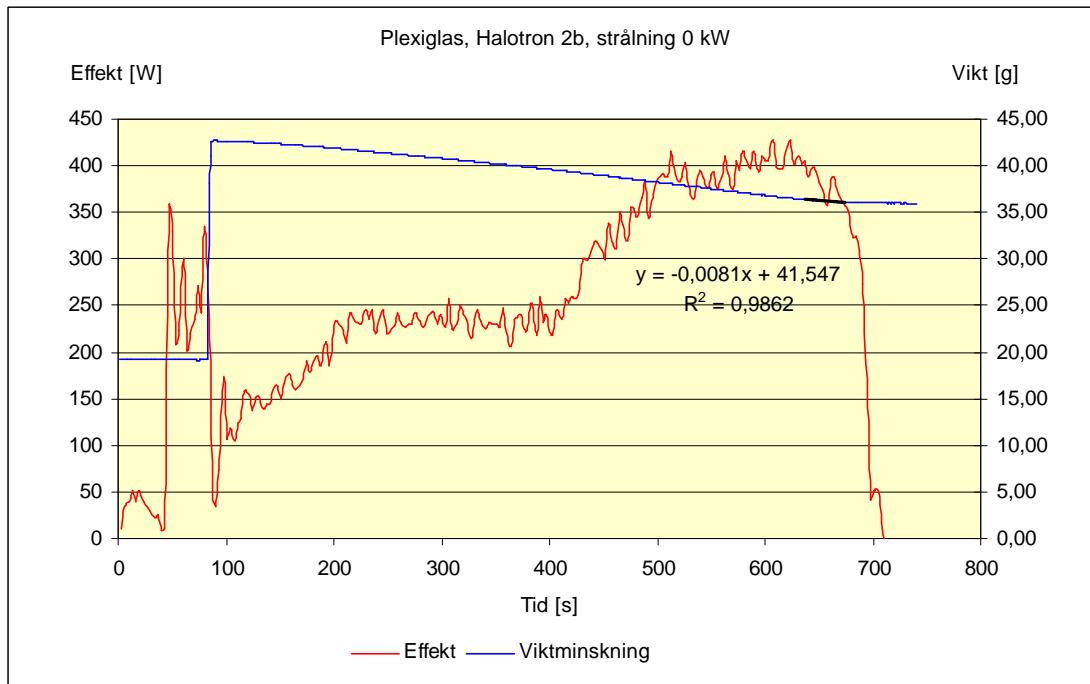
Bilaga E - Experimentserier fast material

Diagram E1

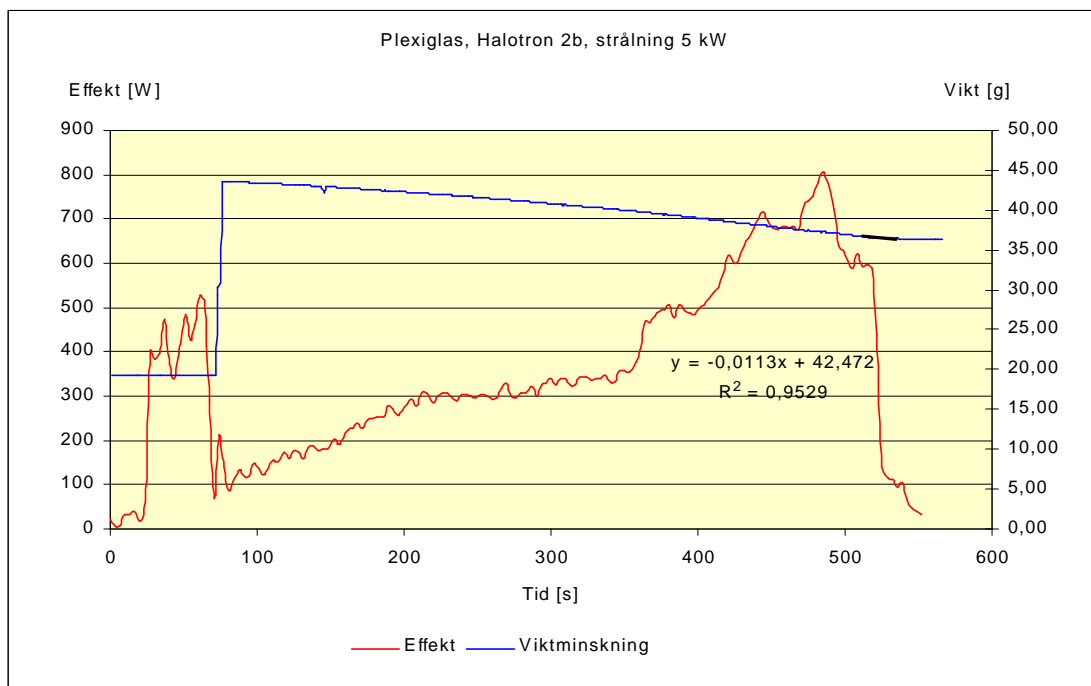


Diagram E2

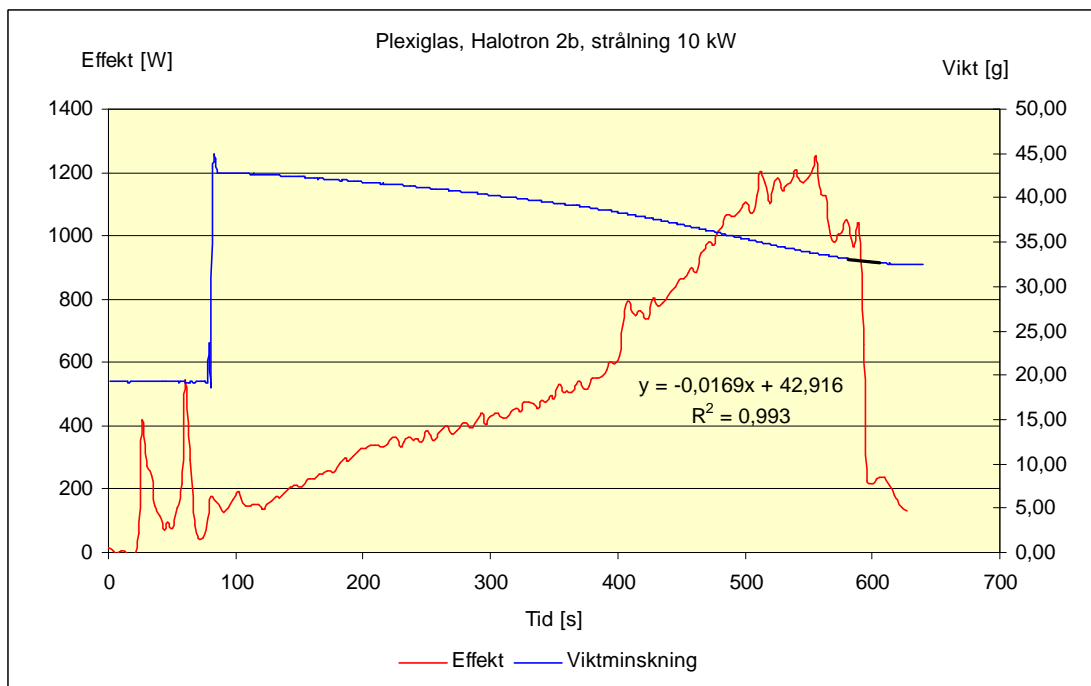


Diagram E3

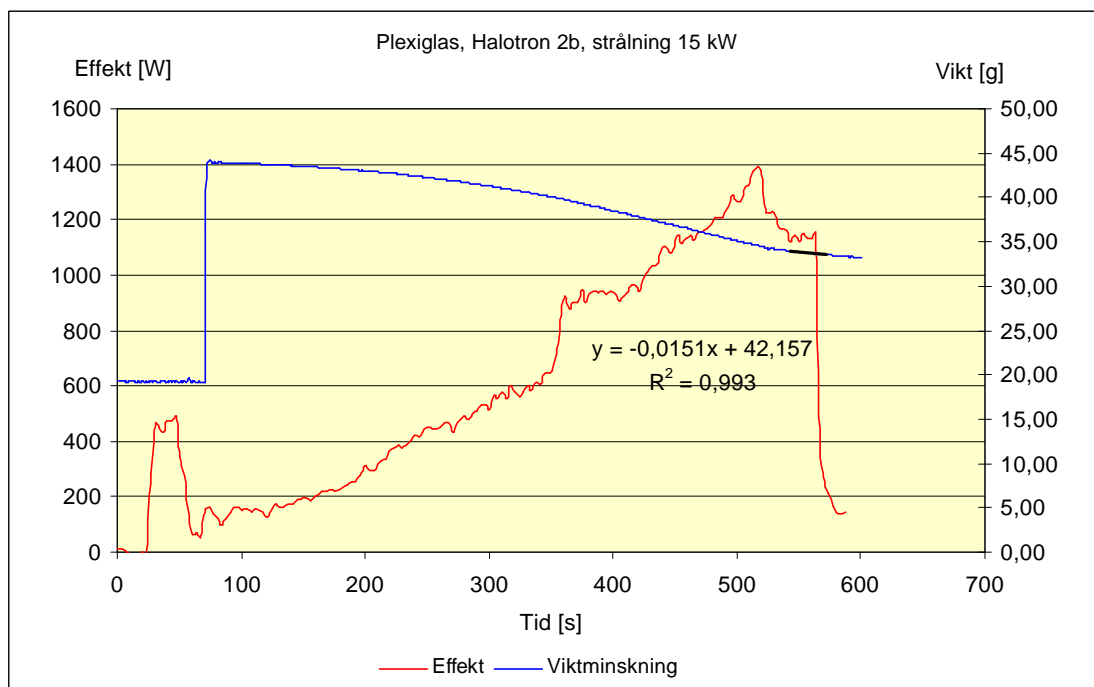


Diagram E4

Varför ser diagrammen ”underliga” ut i början?

I varje diagram kan man notera en topp respektive dip. Eftersom plexiglas antändes utanför Burner Cupen och därefter sattes på plats i denna registrerade RHR en (topp, effekt) respektive vågen en (dip, viktninskning) då det antända bränslet fördes in i Burner Cupen.

Analys av massavbrinning per tidsenhet

I varje diagram har en rätt linje beräknats vid vad eleverna anser vara släckögonblicket. Deriveras ekvationen som finns i diagrammen erhålls således massavbrinningen per tidsenhet [g/s]. Var diagrammets ekvation tas fram är av betydelse. Det finns data för den som är intresserad tillgänglig för att kunna användas vid vidare forskning.

Massavbrinning

Att noggrannheten är större vid massavbrinningsmätning för plexiglas syns tydligt om man studerar den linje som beskriver viktninskningen. Man kan också se hur massavbrinning och RHR ökar med tilltagande värmestrålning. Det finns betydligt färre fluktuationer i linjen för plexiglas än för de vätskeformiga bränslena.

Ökning av effekten

Då släckmedlen Halotron 2b samt FM 200 användes tillsammans med plexiglas ökade effekten då släckmedlet applicerades. Studeras diagrammen så kan denna ökning tydligt observeras. Tydligast framgår den i diagram E1 där man kan observera ökningen då släckmedlet appliceras efter cirka 400 sekunder. FM 200 ger ungefär samma effekttökning som Halotron 2b men dessa diagram visas inte i rapporten.

Bilaga F - Försöksprotokoll

Datum:990106

Relativ luftfuktighet %:41

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
1 C25SOA	Heptan	CO ₂	25	0	20	27,79	7	7,07	18,39	17,30	20,3	
2 C25SOB	Heptan	CO ₂	25	0	20	27,79	7	7,07	18,10	15,00	20,3	
3 C25SOC	Heptan	CO ₂	25	0	22,9	32,00	7,9	8,13	16,30	14,10	20,3	Ökat luftflödet
4 C20SO	Heptan	CO ₂	20	0	15	20,53	5,2	4,96	17,06	15,10	19,5	Minskat brännarcupens diameter till 20
5 C20SOA	Heptan	CO ₂	20	0	15	20,53	5,2	4,96	14,17	12,27	19,5	
6 C30S0	Heptan	CO ₂	30	0	//	//	//	//	12,37	10,40	//	För snabb påföring av släckmedel misslyckat
7 C30SOA	Heptan	CO ₂	30	0	22,0	30,70	7,6	7,78	17,19	15,50	20,2	

Datum:990107

Relativ luftfuktighet %:45

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
8 KAL1	Gasol											Kalibrering av RHR
9 C30S0B	Heptan	CO ₂	30	0	22,0	30,70	7,6	7,78	16,05	14,02	20,2	
10 C35S0	Heptan	CO ₂	35	0	24,0	33,6	8,5	8,83	18,45	15,53	20,8	Ökat brännarcupens diameter till 35
11 C35S0A	Heptan	CO ₂	35	0	24,0	33,6	8,5	8,83	14,40	13,12	20,8	
12 C25S10	Heptan	N ₂	25	0	20,0	27,79	9,2	11,80	15,12	13,14	29,8	Minskat brännarcupens diameter till 25 samt byte av släckmedel

Datum:990108 Relativ luftfuktighet %:37

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
12 KAL2	Gasol											Kalibrering av RHR
14 KAL3	Gasol											Omkalibrering av RHR
15 C25S5	Heptan	CO ₂	25	? (300)	20	27,79	7,1	7,19	17,09	14,25	20,6	Strålning ?
16 C25S5A	Heptan	CO ₂	//	5	20	27,79	6,6	6,60	15,46	13,13	19,2	Strålning 5 kW
17 C25S0D	Heptan	CO ₂	//	0	20	27,79	6,9	6,95	16,45	13,30	20,0	Strålning 0 kW
18 C30S0C	Heptan	CO ₂	30	0	22	30,70	7,2	7,31	14,24	13,10	19,2	Strålning 0 kW, ökat luftflödet, nät i cupen, ökat brännarcupdiametern
19 C30S5	Heptan	CO ₂	//	5	22	30,70	7,6	7,78	19,27	17,40	20,2	Strålning 5 kW, nät i cupen

Datum:990109 Relativ luftfuktighet %:35

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
20 KAL4	Gasol											Kalibrering RHR
21 C35S0B	Heptan	CO₂	35	0	23	32,14	8,0	8,25	15,03	13,20	20,4	Inget nät i cupen
22 C35S5	Heptan	CO ₂	35	5	23	32,14	8,1	8,36	15,02	12,50	20,6	Inget nät i cupen strålning 5 kW
23 C35SOC	Heptan	CO₂	35	0	23	32,14	7,7	7,90	12,58	12,05	19,7	Inget nät i cupen
24 C35S5A	Heptan	CO ₂	35	5	23	32,14	8,1	8,36	11,59	10,55	20,6	Inget nät i cupen strålning 5 kW
25 C35S10	Heptan	CO ₂	35	10	23	32,14	8,4	8,72	13,42	12,11	21,3	Inget nät i cupen strålning 10 kW
26 C35S15	Heptan	CO ₂	35	15	Ca 8	10,3	9,5	10,00	Saknas	Saknas	49,3	Gick knappt att släcka åtgärd dra ned på luften

Datum:990109

Relativ luftfuktighet %:35

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
27 C35S0D	Heptan	CO ₂	30	0	22	30,70	7,6	7,78	14,25	12,20	20,2	Långt glasrör, utan nät
28 C30S10	Heptan	CO ₂	30	10 (602)	22	30,70	9,3	9,77	17,17	15,01	24,1	
29 C30S15	Heptan	CO ₂	30	15 (665)	4	4,56	10,0	10,60	Saknas	Saknas	69,9?	Går ej att släcka
30 C30S12	Heptan	CO ₂	30	12,5 (635)	15	20,53	5,5	5,31	Saknas	Saknas	20,5?	Något blev fel med körningen
31 C30S12A	Heptan	CO ₂	30	12,5 (635)	3	3,11	10,0	10,6	Saknas	Saknas	77,3?	Går knappt att släcka
32 C30S11	Heptan	CO ₂	30	11 (615)	8,5	11,10	10,0	10,6	Saknas	Saknas	48,8	Hyfsad körning
33 C30A	Heptan	CO ₂	30	? (605)	12	16,17	10,0	10,6	Saknas	Saknas	39,6	Hyfsad körning
34 C30B	Heptan	CO ₂	30	? (595)	12	16,17	4,5	4,13	Saknas	Saknas	20,3	Misslyckat försök
35 C30C	Heptan	CO ₂	30	10 (602)	12	16,17	4,5	4,13	Saknas	Saknas	20,3	

Datum:990110

Relativ luftfuktighet %:31

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckconc. Vol %	Kommentarer
36 KAL5	Gasol											Kalibrering RHR
37 M30S0	Metanol	CO ₂	30	0	15	20,53	8,0	8,25	19,29	16,55	28,7	Bränsle metanol
38 M30S0A	Metanol	CO₂	30	0	12	16,17	6,7	6,72	14,54	12,55	29,4	
39 M30SOB	Metanol	CO₂	30	0	12	16,17	6,7	6,72	13,08	11,33	29,4	
40 M30S5	Metanol	CO₂	30	5 (510)	12	16,17	7,2	7,19	12,58	10,50	30,8	
41 M30S10	Metanol	CO ₂	30	10 (602)	12	16,17	5,9	5,78	11,51	8,50	26,3	Flamman reste sig och slocknade
42 M30S10A	Metanol	CO ₂	30	7,5 (556)	12	16,17	7,0	7,1	Saknas	Saknas	30,5?	Flamman reste sig och slocknade
43 M30S6	Metanol	CO ₂	30	6 (530)	12	16,17	7,0	7,1	11,15	9,50	30,5	Flamman dansade runt annars OK
44 M30S6A	Metanol	CO ₂	30	? (520)	12	16,17	7,1	7,19	11,19	9,37	30,8	
45 KGA	Metanol	N₂	30	0	10	13,27	7,5	9,22	20,19	18,16	41,0	Byte av släckmedel
46 KGB	Metanol	N₂	30	5 (510)	10	13,27	8,1	10,13	13,50	11,25	43,3	

Datum:990111

Relativ luftfuktighet %:34

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
47 KGC	Metanol	N₂	30	0	10	13,27	7,7	9,53	15,53	13,50	41,8	
48 KGD	Metanol	N₂	30	0	10	13,27	7,7	9,53	14,59	14,20	41,8	
49 KGE	Metanol	N₂	30	5 (510)	10	13,27	8,2	10,28	12,43	11,40	43,7	Strålning 5 kW
50 KGF	Metanol	N₂	30	5 (510)	10	13,27	8,2	10,28	11,38	10,50	43,7	Strålning 5 kW
51 KGH	Metanol	N ₂	30	10 (602)	10	13,27	7,9	//	10,56	10,02	//	Lågan lyfts och blåses ut
52 KGI	Metanol	N ₂	20	0	10	13,27	7,4	9,07	14,15	13,00	40,6	Byt brännacupdiameter till 20 mm, vågen fungerade ej
53 KGJ	Metanol	N ₂	20	10 (602)	10	13,27	7,4	9,07	11,18	8,50	40,6	Lågan dansade
54 COA	Metanol	CO₂	30	0	12	16,17	6,6	6,6	13,00	12,30	29,0	Bytt brännacupdiameter till 30 mm, byte av släckmedel RHR kass
55 COB	Metanol	CO₂	30	0	12	16,17	6,6	6,6	12,29	11,04	29,0	
56 COC	Metanol	CO₂	30	5 (510)	12	16,17	7,2	7,31	11,58	10,45	31,1	Strålning 5 kW
57 M30S5	Metanol	CO₂	30	5 (510)	12	16,17	7,2	7,31	12,58	10,50	31,1	Strålning 5 kW
58 HALA	Metanol	Halon 1301	30	0	12	16,17	5,4	1,13	13,01	10,25	6,5	Byte av släckmedel
59 HALB	Metanol	Halon 1301	30	0	16	21,98	7,2	1,49	13,10	11,55	6,3	Ökning av luftflöde
60 HALC	Metanol	Halon 1301	30	0	12	16,17	5,4	1,13	10,26	9,30	6,5	Minskning av luftflöde
61 HALD	Metanol	Halon 1301	30	5 (500)	12	16,17	6,0	1,25	9,39	8,47	7,2	Strålning 5 kW
62 HALE	Metanol	Halon 1301	30	5 (500)	12	16,17	6,0	1,25	10,35	8,25	7,2	Strålning 5 kW, filmning
63 HALF	Metanol	Halon 1301	30	? (520)	12	16,17	6,1	1,27	11,58	10,50	7,3	Ökning av strålningen

Datum:990112

Relativ luftfuktighet %:34

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
64 KAL7	Gasol											Kalibrering av RHR
65 FMA	Metanol	FM 200	30	0	12	16,17	8,8	1,84	15,56	14,13	10,2	Snygg RHR, bra våg
66 FMB	Metanol	FM 200	30	0	12	16,17	8,8	1,84	12,15	11,20	10,2	Filmning
67 FMC	Metanol	FM 200	30	5 (503)	12	16,17	8,6	//	11,35	10,30	//	Strålning 5 kW, lågan lyfte och blåstes ut
68 FMD	Metanol	FM 200	30	4 (475)	12	16,17	9,2	1,38	13,00	13,37	7,9	Sänkning av strålningen, mycket fladdrig låga
69 FME	Metanol	FM 200	30	3 (442)	12	16,17	8,6	//	11,08	9,55	//	Ej stabil låga går ej
70 HALOA	Metanol	Halotron 2b	30	0	12	16,17	8,2	2,3	11,28	10,35	12,5	Byte av släckmedel, Gul låga då släckmedlet applicerades
71 HALOB	Metanol	Halotron 2b	30	0	12	16,17			11,31	10,50		Redovisas separat
72 HALOC	Metanol	Halotron 2b	30	5 (503)	12	16,17			9,52	8,50		Redovisas separat
73 CO20A	Heptan	CO₂	20	0	20	27,79	6,7	6,72	13,47	12,54	19,5	Byte av bränsle och släckmedel
74 C20S0	Heptan	CO₂	20	0	20	27,79	6,7	6,72	12,45	11,54	19,5	

Datum:990113

Relativ luftfuktighet %:33

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
75 PLEXA	Plexiglas	CO ₂	//	0	15	20,53	4,6	4,25	Saknas	Saknas	18,3	Ingen bra körning
76 PLEXB	Plexiglas	CO ₂	//	0	15	20,53	4,5	4,13	11,22	9,20	16,7	För tidig släckning
77 PLEXC	Plexiglas	CO ₂	//	0	14	19,08	4,4	4,02	11,19	10,44	17,4	
78 PLEXD	Plexiglas	CO ₂	//	5 (510)	14	19,08	4,0	//	//	//	//	?
79 PLEXE	Plexiglas	CO ₂	//	0	14	19,08	3,2	//	//	//	//	Test av plexiglas med hål i mitten
80 PLEXF	Plexiglas	CO ₂	//	0	14	19,08	3,7	3,20	Saknas	Saknas	14,4	Test av kvadratisk plexiglas
81 PLEXG	Plexiglas	CO ₂	//	0	14	19,08	3,7	3,20	8,30	6,43	14,4	Test av kvadratisk plexiglas
82 PLEXH	Plexiglas	CO ₂	//	5 (510)	14	19,08	4,0	3,55	7,21	6,45	15,7	Strålning 5 kW
83 PLEXI	Plexiglas	CO ₂	//	10 (602)	14	19,08	5,1	4,84	7,51	6,58	20,2	Strålning 10 kW
84 PLEXJ	Plexiglas	CO ₂	//	15 (665)	14	19,08	5,7	5,54	7,55	7,20	22,5	Strålning 15 kW

Datum:990114

Relativ luftfuktighet %:33

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckconc. Vol %	Kommentarer
85 KAL7	Gasol											Kalibrering av RHR
86 PLEXK	Plexiglas	CO ₂	//	20 (712)	14	19,08	5,7	5,54	6,17	5,50	22,5	Släckte för fort
87 PLEXL	Plexiglas	CO ₂	//	20 (712)	14	19,08	7,2	7,31	9,06	8,42	27,7	
88 PLEXNA	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	4,9	5,28	8,09	7,17	21,7	Byte av släckmedel
89 PLEXNB	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	6,2	7,25	13,22	12,37	27,5	Filmning
90 PLEXNC	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	4,7	4,97	6,30	5,40	20,7	Filmning, klyvt plexibiten 30x30x11,5 mm
91 PLEXND	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	5,2	5,73	Saknas	Saknas	23,1	Filmning, rundstång av plexi D=30 L=30 mm
92 PLEXNE	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	6,5	7,70	9,42	9,03	28,8	Filmning, klyvt plexibiten 30x30x11,5 mm
93 PLEXNF	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	6,4	7,55	10,53	10,10	28,4	Filmning, borrar hål i plexibiten
94 PLEXNG	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	5,7	6,49	8,59	8,11	25,4	Plexibiten stående på högkant
95 PLEXNH	Plexiglas	N ₂	//	10 (602)	14	19,08	5,6	6,34	9,09	8,47	24,9	Strålning, plexibiten stående på högkant

Datum:990116

Relativ luftfuktighet %:40

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckconc. Vol %	Kommentarer
96 PLEXNI	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	5,6	6,34	8,05	7,29	24,9	Dubbel fyrkant 30x20 mm
97 PLEXNJ	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	6,2	7,25	7,44	6,58	27,5	Enkel fyrkant 40x40 mm
98 PLEXNK	Plexiglas	N₂	//	0	14	19,08	6,3	7,40	13,50	13,25	27,9	Aluminiumlåda runt plexiglasbiten 40x40 mm
99 PLEXNL	Plexiglas	N ₂	//	0	14	19,08	6,2	7,25	14,08	12,45	27,5	
100 PLEXNM	Plexiglas	N ₂	//	5 (510)	14	19,08	8,5	10,74	13,42	13,00	36,0	Strålning 5 kW
101 PLEXNN	Plexiglas	N ₂	//	5 (510)	14	19,08	8,5	10,74	13,00	12,11	36,0	Strålning 5 kW
102 PLEXNO	Plexiglas	N ₂	//	10 (602)	12	16,17	8,5	10,74	10,50	10,22	39,9	Strålning 10 kW
103 PLEXNP	Plexiglas	N ₂	//	10 (602)	12	16,17	8,7	11,04	11,20	10,38	40,6	Strålning 10 kW
104 PLEXNQ	Plexiglas	N ₂	//	15 (665)	12	16,17	9,2	11,80	10,16	9,40	42,2	Strålning 15 kW, tendens till låglyftning
105 PLEXNR	Plexiglas	N ₂	//	15 (665)	12	16,17	9,8	12,71	12,16	11,31	44,0	Strålning 15 kW, tendens till låglyftning
106 PLEXNS	Plexiglas	N ₂	//	20 (712)	10	13,27	10,0	13,02	8,37	8,10	49,5	Strålning 20 kW, tvungen att minska luften, lågan lyfter går ej
107 PLEXNT	Plexiglas	N ₂	//	15 (665)	12	16,17	9,0	11,50	7,52	7,35	41,6	Strålning 15 kW
108 PCOA	Plexiglas	CO ₂	//	0	14	19,08	5,2	4,96	11,20	10,10	20,6	Byte av släckmedel
109 PCOB	Plexiglas	CO ₂	//	0	14	19,08	5,1	4,84	10,05	9,45	20,2	Filmning
110 PCOC	Plexiglas	CO ₂	//	5 (510)	14	19,08	5,4	5,19	8,40	8,02	21,4	Strålning 5 kW, Kort tid?
111 PCOD	Plexiglas	CO ₂	//	5 (510)	14	19,08	6,3	6,25	11,25	11,02	24,7	Strålning 5 kW

Datum:990117

Relativ luftfuktighet %:40

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
112 PCOE	Plexiglas	CO ₂	//	5 (510)	14	19,08	6,3	6,25	10,49	10,05	24,7	Strålning 5 kW
113 PCOC	Plexiglas	CO ₂	//	10 (510)	14	19,08	7,1	7,19	10,01	9,43	27,4	Strålning 10 kW
114 PCOG	Plexiglas	CO ₂	//	10 (602)	14	19,08	7,3	7,42	10,35	10,19	28,0	Strålning 10 kW
115 PCOH	Plexiglas	CO ₂	//	15 (665)	14	19,08	8,2	8,48	10,30	10,15	30,8	Strålning 15 kW
116 PCOI	Plexiglas	CO ₂	//	15 (665)	14	19,08	7,9	8,13	9,20	8,45	29,9	Strålning 15 kW
117 PCOJ	Plexiglas	CO ₂	//	20 (712)	14	19,08	7,8	//	//	//	//	Strålning 20 kW, går ej lågan lyfter sig
118 HA	Plexiglas	Halon 1301	//	0	14	19,08	3,2	0,68	9,30	8,43	3,4	Byte av släckmedel
119 HB	Plexiglas	Halon 1301	//	0	14	19,08	2,4	0,52	8,45	8,32	2,7	
120 HC	Plexiglas	Halon 1301	//	5 (510)	14	19,08	4,8	1,00	9,55	9,46	5,0	Strålning 5 kW
121 HD	Plexiglas	Halon 1301	//	5 (510)	14	19,08	4,8	1,00	9,45	9,38	5,0	Strålning 5 kW
122 HE	Plexiglas	Halon 1301	//	10 (602)	14	19,08	5,6	1,17	8,53	8,30	5,8	Strålning 10 kW
123 HF	Plexiglas	Halon 1301	//	10 (602)	14	19,08	5,6	1,17	8,32	7,51	5,8	Strålning 10 kW
124 HG	Plexiglas	Halon 1301	//	15 (665)	14	19,08	6,6	1,37	8,08	7,50	6,7	Strålning 15 kW
125 HH	Plexiglas	Halon 1301	//	15 (665)	14	19,08	6,2	1,29	7,20	6,52	6,3	Strålning 15 kW

Datum:990118

Relativ luftfuktighet %:40

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
126 TRONA	Plexiglas	Halotron 2b	//	0	14	19,08	7,6	2,10	11,20	10,47	9,9	
127 TRONB	Plexiglas	Halotron 2b	//	0	14	19,08			9,53	9,34		Redovisas separat
128 TRONC	Plexiglas	Halotron 2b	//	5 (510)	14	19,08	8,6	2,40	8,38	8,20	11,2	Strålning 5 kW
129 TROND	Plexiglas	Halotron 2b	//	5 (510)	14	19,08			10,49	10,13		Redovisas separat
130 TRONE	Plexiglas	Halotron 2b	//	10 (602)	14	19,08	9,4	2,63	8,20	8,03	12,1	Strålning 10 kW, kort tid?
131 TRONF	Plexiglas	Halotron 2b	//	10 (602)	14	19,08			9,55	9,30		Redovisas separat
132 TRONG	Plexiglas	Halotron 2b	//	10 (602)	20	27,78			10,20	9,51		Redovisas separat
133 TRONH	Plexiglas	Halotron 2b	//	15 (665)	14	19,08	9,8	2,75	9,22	8,58	12,6	Strålning 15 kW, låglyftning
134 TRONH	Plexiglas	Halotron 2b	//	15 (665)	14	19,08	9,7	2,72	9,55	9,42		Redovisas separat

Datum:990119

Relativ luftfuktighet %:38

Omgivningstemperatur C:20

Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
135 FA	Plexiglas	FM 200	//	0	14	19,08	6,4	1,33	10,07	8,40	6,5	
136 FB	Plexiglas	FM 200	//	0	14	19,08	6,4	1,33	11,08	10,53	6,5	
137 FC	Plexiglas	FM 200	//	5 (510)	14	19,08	8,2	1,71	11,11	10,46	8,2	Strålning 5 kW
138 FD	Plexiglas	FM 200	//	5 (510)	14	19,08	8,2	1,71	10,07	9,39	8,2	Strålning 5 kW
139 FE	Plexiglas	FM 200	//	10 (602)	14	19,08	8,6	1,80	10,12	9,41	8,6	Strålning 10 kW
140 FF	Plexiglas	FM 200	//	10 (602)	14	19,08	8,8	1,84	11,10	9,49	8,8	Strålning 10 kW
141 FG	Plexiglas	FM 200	//	15 (665)	14	19,08	8,6	1,80	7,33	7,11	8,6	Strålning 15 kW, släckt för tidigt?. För lite luft?
142 FH	Plexiglas	FM 200	//	15 (665)	14	19,08	8,4	1,76	8,39	8,14	8,4	Strålning 15 kW. För lite luft?
143 FI	Plexiglas	FM 200	//	15 (665)	20	27,78	13,2	2,79	11,20	10,57	9,1	Ökning av luft för koll
144 FJ	Plexiglas	FM 200	//	15 (665)	23	32,14	14,8	3,14	9,35	9,27	8,9	Ökning av luft för koll
145 FK	Plexiglas	FM 200	//	10 (602)	20	27,78	11,5	2,43	10,15	9,51	8,0	Omkörning av fil FI, FJ för koll av luft
146 FL	Plexiglas	FM 200	//	//	8, 14, 20, 23	//	//	//	//	//	//	Test av RHR
147 LUFTA	Plexiglas	//	//	//	//	//	//	//	//	//	//	Test av RHR
148 LUFTB	Plexiglas	//	//	//	23, 20, 14, 8, 14, 23	//	//	//	//	//	//	Test av RHR
149 TRONJ	Plexiglas	Halotron 2b	//	15 (665)	20	27,78	13,6	3,93	8,28	8,18	12,4	Byte av släckmedel, låglyftning går ej

Datum:990120

Relativ luftfuktighet %:43

Omgivningstemperatur C:20

Nummer Filnamn	Bränsle	Släckmedel	D cup (mm)	Strålning (kW)	Skaldel luft	Flöde luft (l/min)	Skaldel släckmedel	Flöde Släckmedel (l/min)	Total tid (min)	Brinntid (min)	Släckkonc. Vol %	Kommentarer
150 HEPA	Heptan	Halotron 2b	25	0	22	30,69	9,8	2,75	12,28	11,35	8,2	
151 HEPB	Heptan	Halotron 2b	25	0	22	30,69			10,43	9,59		Redovisas separat
152 HEPC	Heptan	Halotron 2b	25	0	22	30,69			10,44	10,05		Redovisas separat
153 HEPD	Heptan	Halotron 2b	25	0	22	30,69			10,08	9,26		Redovisas separat
154 HEPE	Heptan	Halotron 2b	25	0	22	30,69			9,58	8,22		Redovisas separat
155 HEPF	Heptan	Halotron 2b	25	0	14	19,08			10,35	9,50		Redovisas separat
156 HEPG	Heptan	Halotron 2b	25	5 (510)	22	30,69	11,0	3,10	10,50	10,11	9,2	Strålning 5 kW, liten låglyftning
157 HEPH	Heptan	Halotron 2b	25	5 (510)	22	30,69			10,37	8,41		Redovisas separat
158 HEPI	Heptan	FM 200	25	0	22	30,69	10,0	2,10	10,07	9,06	6,4	Byte av släckmedel, filmning
159 HEPJ	Heptan	FM 200	25	0	22	30,69	10,8	2,28	10,42	9,50	6,9	
160 HEPK	Heptan	FM 200	25	5 (510)	22	30,69	9,5	//	10,10	9,20	//	Filmning, låglyftning och släcktes ut
161 HEPL	Heptan	Halon 1301	25	0	22	30,69	5,6	1,17	10,30	9,40	3,7	Byte av släckmedel
162 HEPM	Heptan	Halon 1301	25	0	22	30,69	5,4	1,13	9,32	8,53	3,6	
163 HEPN	Heptan	Halon 1301	25	5 (510)	22	30,69	5,0	//	9,44	8,50	//	Låglyftning och blåses ut, går ej
164 HEPO	Heptan	CO ₂	25	5 (510)	22	30,69	7,4	7,56	11,39	11,08	19,8	Byte av släckmedel, Låglyftning och blåses ut, går ej
165 HEPP	Heptan	N₂	25	0	16	21,98	7,3	8,92	18,05	17,28	28,9	Tvungen att minska luften Annars OK
166 HEPQ	Heptan	N₂	25	0	16	21,98	7,4	9,07	10,44	10,00	29,2	