



HØGSKOLEN STORD/HAUGESUND

Beskytning av varmepåvirkede acetylenflasker



Bacheloroppgave utført ved
Høgskolen Stord/Haugesund – Studie for ingeniørfag

Sikkerhet, Brannteknikk

Av: Tom Erik Norgård Østbye
Stian Myklebust

Kandidat: 37

Kandidat: 18

Haugesund

Våren 2007

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avsluttende del av branningeniørutdanningen ved Høgskolen Stord/Haugesund. Målsetningen med hovedprosjektet er å kombinere kunnskapen vi har tilknyttet fra studiet, samt fordype oss innenfor et spesifikt fagområde. Foruten en skriftlig rapport vil også prosjektet presenteres muntlig, med tilhørende spørsmålsrunde.

Det er tidligere forsket lite på beskytning av acetylenflasker i Norge. Grimstad brann- og feiervesen har allikevel utredet to rapporter innenfor dette området. Det har derimot ikke blitt utført forsøk med beskytning av varmpåvirkede acetylenflasker. Det er dette området denne rapporten tar for seg og med det formål å bygge videre og gå mer i dybden i prosessen ved beskytning av varmpåvirkede acetylenflasker.

Da denne rapporten er rettet mot personer som har kunnskap om generell brannteori, kan den også leses av andre som har særlig interesse innenfor fagfeltet.

Vi ønsker å takke for all støtte og hjelp vi har fått til denne rapporten:

- Eirik Evensen, Grimstad brann- og feiervesen, ekstern veileder.
- Alf Reidar Nilsen jr., Høgskolen Stord/Haugesund, intern veileder.
- Arjen Kraaijeveld, Lab. Ingeniør Høgskolen Stord/Haugesund.
- Gisle Kleppe, Høgskolelektor Høgskolen Stord/Haugesund.
- Mannskap fra Grimstad brann- og feiervesen som hjalp til under forsøkene.

Haugesund, dato:

Tom Erik Norgård Østbye

Stian Myklebust

Sammendrag

Varmepåvirkede acetylenflasker utgjør en stor sikkerhetsrisiko for publikum og redningsmannskaper. Varmepåkjønning kan forårsake at gassen i flasken dekomponeres og utvikler varme som følge av eksoterme reaksjoner i gassen, hvilket vil videre føre til trykkøkning. Denne reaksjonen kan vedvare selv etter at flasken er fjernet fra ekstern varmekilde. I dag benyttes i stor grad passiv innsats for å uskadeliggjøre varmpåvirkede acetylenflasker. Dette er imidlertid en tid- og ressurskrevende operasjon. Aktiv innsats er en metode som tar langt mindre tid, og i mindre grad utsetter redningsmannskaper for eksplosjonsfaren fra flaskene.

Aktiv innsats innebærer å skyte hull i acetylenflaskene for å la gassen strømme ut og fagle av. Det har tidligere blitt gjort forsøk med beskytning av kalde acetylenflasker, imidlertid eksisterer det lite kunnskap om beskytning av varmpåvirkede acetylenflasker.

Det ble utført beskytningsforsøk med varmpåvirkede acetylenflasker. Fire flasker ble beskyttet med forskjellige temperaturer for å avdekke sikker temperatur for beskytning, i tillegg ble det undersøkt hvilken temperatur det kan forventes at acetylenflasken får hydraulisk sprengning som følge av varmpåvirkning.

Det ble avdekket at ved beskytning av acetylenflasker med overflatetemperatur over 50°C, antenner ikke utstrømmende gass. Dette har sin årsak i at nødvendig energi for å antenne gassen øker med gassens hastighet. Ettersom trykket øker med temperatur, øker også utstrømningshastigheten. Her tas imidlertid forbehold om feilkilder med hensyn på temperaturmålingene.

Ved et av forsøkene var den utstrømmende gassen i kontakt eller i nærheten av åpen flamme uten å antenne. En mulig årsak til dette er at molekylene som dannes ved sammenfall i gassen kan være lite eller ikke brennbare. Deler av utstrømmende gass kan da ha brennbarhetsområde forskjellig fra acetylen. I acetylenflasken finnes også aceton, og et mulig forløp kan da være:



Sammenfallet i gassen endrer gassens egenskaper, og det var ventet at dette ville ha betydning for trykkøkningen i flasken. Det ble beregnet at brudd ville inntreffe ved temperatur like over 400°C, dersom sammenfallet ble neglisjert. En flaske ble plassert på et bål og overflatetemperaturen ble målt. Ruptur i flaskestålet inntraff ved 380°C, omtrent det samme som den beregnede temperaturen. Dermed har sammenfallet liten eller ingen betydning for ruptur i flaskestålet så lenge flasken har en vedvarende varmpåkjønning fra ekstern kilde.

Innholdsfortegnelse

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Innholdsfortegnelse	iii
Innhold	iii
Figurer og grafer	iv
Tabeller	iv
Nomenklaturliste	V
1. Innledning	1
1.1 Bakgrunn	3
1.2 Formål	3
1.3 Begrensninger	3
1.4 - Metode	3
2 Teori	4
2.1 Aceton	4
2.2 Acetylen	4
2.3 Generell brannteori	5
2.4 Teori, beskytnings forsøk	8
2.5 Teori, ruptur i acetylenflaske	9
3. Testoppsett	12
3.1 Testarena	12
3.2 Arnestedet	12
3.3 Registrering av temperatur	13
3.4 Beskytningen	14
3.5 Ruptur forsøk	14
3.6 Sikkerhet ved forsøkene	14
4 Resultater	15
4.1 Flaske beskytt ved 150 °C	15
4.2 Flaske beskytt ved 100 °C	16
4.3 Flaske beskytt ved 50 °C	18
4.4 Flaske beskytt ved 80 °C	19
4.5 Forsøk med ruptur av acetylenflaske	21
5 Vurdering	22
5.1 Beskytningsforsøk hvor utstrømmende gass ikke antente	22
5.2 Beskytningsforsøk hvor utstrømmende gass antente	24
5.3 Rupturforsøk uten beskytning	25
6 Diskusjon	26
6.1 Feilkilder	26
6.2 Forslag til videre arbeid	27
7 Konklusjon	27
8 Referanseliste	I
9 Vedlegg	II
Vedlegg 1 Utstysrliste	II
Vedlegg 2 Datablad, termokamera	III
Vedlegg 3 Nabovarsel	IV
Vedlegg 4 Varsel til luftfartsverket	V

Figurer og grafer

Figur 1 Kjøling av acetylenflasker i Drammen	2
Figur 2 Acetonmolekyl.....	4
Figur 3 Acetylenmolekyl.....	5
Figur 4 Acetylen flaskens innhold	5
Figur 5 Endring i brennbarhetsgrense som følge av trykk.....	7
Figur 6: Endring i brennbarhetsgrense som følge av temperatur	7
Figur 7 Risiko for hydraulisk sprengning	9
Figur 8 Flytning i stål	10
Figur 9 Endring i flytegrense som følge av temperatur	10
Figur 10 Spenninger i x og y retning.....	11
Figur 11 Test arena.....	12
Figur 12 Acetylenflaske klar	12
Figur 13 Prosjektskisse.....	13
Figur 14 Acetylenflaske plassert på bål	14
Figur 15 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 150 °C.....	16
Figur 16 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 100 °C	17
Figur 17 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 50 °C	19
Figur 18 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 80 °C	20
Figur 19 Temperaturmålinger, rupturforsøk.	21
Figur 20 Dannelse av aromatiske hydrokarboner	23
Figur 21 Estimert jevnførings spenning vs flytegrense.....	25
Figur 22 Utbulning på acetylenflaske ved ruptur.....	26

Tabeller

Tabell 1 Acetonets egenskaper.....	4
Tabell 2 Acetylenets egenskaper.....	5
Tabell 3 Laveste tennenergi for noen hydrokarboner	6
Tabell 4 Brennbarhetsgrenser for noen hydrokarboner.....	6
Tabell 5 Generelle beskytningsdata	14
Tabell 6 Beskytningsdata, flaske beskytt ved 150 °C	15
Tabell 7 Beskytningsdata, flaske beskytt ved 100 °C	17
Tabell 8 Beskytningdata, flaske beskytt ved 50 °C.....	18
Tabell 9 Beskytningdata, flaske beskytt ved 80 °C.....	20
Tabell 10 Data, rupturforsøk	21

Nomenklaturliste

p	Trykk	[MPa]
V	Volum	[m ³]
n	Antall mol	[-]
R	Gasskonstant	[8,314 J/Kmol]
T	Temperatur	[K]
f_u	Bruddspenning	[MPa]
f_y	Flytespenning	[MPa]
ε	Elastitetsmodul	[MPa]
σ_x	Koordinatspenning, x-retning	[MPa]
σ_y	Koordinatspenning, y-retning	[MPa]
σ_j	Jevnføringsspenning	[MPa]
t	Tykkelse	[m]
r	Radius	[m]

1. Innledning

I en brannsituasjon vil acetylenflasker medføre en stor fare for innsatspersonell og publikum. På grunn av faren for splinter og trykkbølgen fra en eventuell ruptur av en acetylenflaske, blir sikkerhetsområde satt til 300 meter i radius rundt flasken, avhengig av omliggende bygninger og geografi.

Det svenske Raddningsverket har studert beskytning av acetylenflasker helt siden 1991 [1]. Dette har medført at flere av de store brannvesenene i Sverige innehar kompetanse innenfor området og kan utføre beskytninger.

I Norge kan ingen av brannvesenene formelt sett utføre aktiv innsats. I de tilfeller hvor beskytning har blitt utført, er det skarpskyttere fra politiet etter anmodning fra brannvesenet, som har utført beskytningen. Tilgjengeligheten på skarpskyttere fra politiet er begrenset i små og mellomstore tettsteder.

Det nyttes i dag to typer innsats mot gassflasker i brann, *aktiv-* og *passiv* innsats.

Passiv innsats

Den mest brukte innsatsmetoden for gassflasker i brann, er passiv innsats i Norge. Her kjøles flasken ned i 24 timer, mens det opprettholdes en evakuert parameter i radius 300 meter rundt flasken. Dette tar lang tid og er en resurskrevende prosess. For å kunne oppnå god kjøling av acetylenflasken, er brannmannskapet avhengig av å være relativt nærme flasken. På grunn av acetylenflaskens utstabilitet vil brannmannskapet være utsatt for stor risiko. Kjølingen stopper ikke pågående acetylen spaltingen, den har kun en bremsende effekt på spaltingen. Dette kommer av at den porøse massen som er i flasken, er en dårlig varmeleder og lokale "hot spots" kan dermed være igjen inne i flasken etter nedkjøling. Faren er da at temperatur og trykk kan igjen begynne å stige.

Aktiv innsats

Aktiv innsats medfører at man skyter hull i flasken og på denne måten tømmer flasken for gass. Før man skyter hull på flasken, kjøles flasken med vann. Når flasken blir beskyttet, vil det oppstå et hull i stålet, og dermed kan ekspanderende gass slippes ut. Gassen antennes ved at flasken beskyttes med sporlysammunisjon. På denne måten oppnås det en avfakling av utstrømmende gass. Da aktiv innsats kan uskadeliggjøre acetylenflasken på relativt kort tid, medfører dette en betydelig minsket risiko for innsatspersonell og publikum med hensyn til evakuering, stenging av produksjon og samferdsel.

Tidligere erfaringer

Det eksisterer ikke konkret statistikk over hvor mange uhell med acetylenflasker som har inntruffet i Norge de siste årene, men media melder fra tid til annen om uhell, ofte i

forbindelse med byggearbeider. Gjennom media viser det seg at passiv innsats vanligvis blir brukt.

Eksempler under illustrerer forskjellen i innsatstid mellom passiv- og aktiv innsats hvor acetylenflasker er innblandet.

Drammen 04.06.2006

En bil begynte å brenne på et industriområde, bare noen få meter fra 150-200 acetylenflasker. E134 ble stengt og medførte store trafikale problemer. Det ble nyttet passiv innsats med sikkerhetssone på 300 meter. Beboere i nrområdet ble ikke evakuert, da bolighusene lå beskyttet av industribygg og typografi. Samferdsel i området var stengt i ca 24 timer. (Drammens Tidende 4. juni 2006)



Figur 1 Kjøling av acetylenflasker i Drammen

Lørenskog 13.03.2007:

En acetylenflaske begynte å brenne i forbindelse med bygningsarbeid. Det ble opprettet en sikkerhetssone på 300 meter, og slukkearbeid pågikk i fire timer. Brannvesenet besluttet å beskytte flasken og tilkalte skarpskytter fra politiet. Politiet skjøt på flasken fra en av brannvesenets stigebiler og eksplosjonsfaren var over. (VG 13. mars 2007)

Melkøya 30.01.2007:

1500 til 1700 mennesker ble evakuert da to betongblokker falt ned på to acetylenflasker på Melkøya. Situasjonen kom raskt under kontroll, men på grunn av føre var prinsippet ble evakueringen opprettholdt til dagen etter. (VG 30. Januar 2007)

1.1 Bakgrunn

Det eksisterer i dag svært begrenset kunnskap om aktiv innsats mot varmpåvirkede acetylenflasker i Norge. Det er tidligere utgitt to rapporter som omhandler aktiv innsats mot acetylenflasker [2][3]. Eirik Evensen ved Grimstad brann – og feiervesen kontaktet HSH for å engasjere studenter opp mot en hovedoppgave angående temaet - beskytning av varmpåvirkede acetylenflasker.

1.2 Formål

Denne oppgaven har som formål å:

- skaffe empiriske data for beskytning av varmpåvirkede acetylenflasker.
- beskrive ved hvilke temperaturer beskytning av acetylenflasker kan foregå på en sikker måte .
- beskrive ved hvilke temperaturer det vil oppstå ruptur av en acetylenflaske.

1.3 Begrensninger

Det vil vanskelig la seg gjøre å måle temperaturen inne i flasken under forsøkene. Som en tilnærming måles temperaturen på utsiden av flasken.

Det foregår en diskusjon om hvilken instans som bør utføre beskytning av acetylenflasker (brannvesen eller politi). Denne rapporten tar ikke standpunkt til problemstillingen.

Det eksisterer ingen konkret beregningsmetodikk for beregning av hvor mye tennenergien varierer med gassens utstrømningshastighet og turbulens [4].

1.4 - Metode

Oppgaven ble utført ved at varmpåvirkede acetylenflasker ble beskyttet ved forskjellige temperaturer. Flasketemperaturen ble registrert ved hjelp av termoelementer festet på flasken. I tillegg ble en flaske varmet opp i påvente av ruptur, her ble overflate temperaturen målt. De praktiske forsøkene ble utført i et steinbrudd utenfor Grimstad, i samarbeid med Grimstad brann- og feiervesen.

Rapporten baserer seg på den litteraturen som finnes om emnet og brannteori fra bøkene: *Grunnleggende brannteknikk* av Bjarne Christian Hagen, *An introduction to fire dynamics* av Dougal Drysdale, *Ignition handbook* av Vytenis Barbarauskas og *Elektriske utstyr for eksplosjonsfarlige områder* av Rolf K Eckhoff.

2 Teori

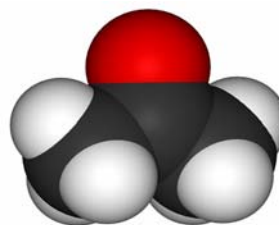
Dette kapittelet tar for seg teorien rundt ruptur og beskytning av varmpåvirkede acetylenflasker. De første underkapitelene tar for seg generelle teorier og egenkaper til stoffene som er involvert, mens mer konkrete teorier som omhandler forsøkene blir presentert mot slutten av kapitlet.

2.1 Aceton

Aceton er det enkleste av ketonene og blir laget ved oksidasjon av isopropanol. Andre navn på aceton er propan-2-on, dimethyl keton, 2-propanon, og β -ketopropan. Acetonet er en fargeløs, flyktig og brennbar væske. Stoffet egner seg godt som løsemiddel for mange organiske stoffer [5]. I industrien nyttes aceton blant annet i acetylenflasker. Ved å løse acetylen i aceton får en plass til ti ganger så mye acetylen i flasken, enn om acetylen fylles direkte på flasken [1]. Aceton finnes også i naturen og i små mengder i menneskekroppen. Ved innånding er aceton irriterende og kan forårsake leverskade. Direkte kontakt mellom aceton og øyet kan forårsake permanent øyeskade.

Tabell 1 Acetonets egenskaper

Molekyl formel	CH_3COCH_3
Molmasse	58,09 g/mol
Kokepunkt	$56,3^\circ\text{C}$
Smeltepunkt	$-94,9^\circ\text{C}$
Tetthet	$0,79 \text{ g/cm}^3$, væskeform
Nedre brennbarhetsgrense	2,6%
Øvre brennbarhetsgrense	13%



Figur 2 Acetonmolekyl

2.2 Acetylen

Acetylen er den mest brennbare av industrigassene, med et brannbarhetsområde fra 2-82 % [1]. Gassen brukes til sveising, skjæring og lodding på grunn av sin høye flammtemperatur. Acetylen er i utgangspunktet en luktfri gass, men industrigassen innehar små mengder forurensing. Dette gjør at acetylenet har en karakteristisk hvitløkaktig lukt [1]. Sikkerhetsmessig er dette en fordel, fordi man meget lett kjenner lukten av gassen ved en eventuell lekkasje.

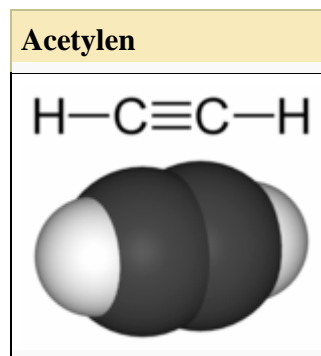
Acetyलगassen fremstilles ved at kalciumkarbid blandes med vann. I denne reaksjonen dannes acetyलगass og kalk. Det går med 3 kg karbid for å danne 1m^3 acetyलगass [1]. Acetylen er det enkleste av alkyd hydrokarbonene. Molekylet består av to hydrogenatomer og to karbonatomer bundet sammen med en trippelbinding mellom karbonatomene. Denne

trippelbindingen gjør at acetylen er meget reaktivt, og har derfor et stort bruksområde innen kjemisk industri [6].

Acetylenet i ren væskeform er meget eksplosjonsfarlig og kan dermed ikke transporteres. Dette problemet blir løst ved at acetylegassen blir løst i aceton under trykk, og kan dermed trygt transporteres på stålfasker.

Tabell 2 Acetylenets egenskaper

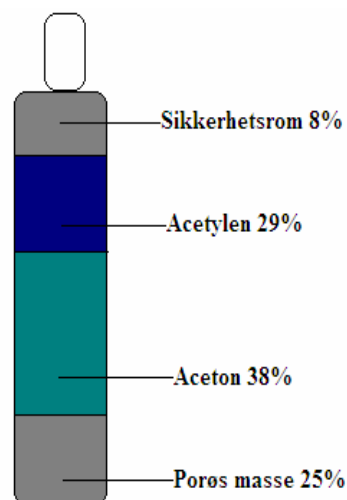
Acetylen	
Formel	C_2H_2
Smeltepunkt [C°]	-80.4
Kokepunkt [C°]	-84
Tetthet [$\frac{kg}{m^3}$]	621
Molekylvekt	26
Nedre brennbarhetsgrense [vol % i luft]	2
Øvre brennbarhetsgrense	82



Figur 3 Acetylenmolekyl

Acetylen i flasker

Acetylen er lagret i rødbrune lavtrykksflasker fra 1 til 41 liter med 15 bar til 20 bars trykk. Flasken er fylt med en porøs masse av glasfiber, kalk, kvartssandblanding og vann. Det er denne porøse massen holder på acetonet, det vil si at 25 % av det innvendige volumet er oppfylt av denne massen. Videre er det påfylt aceton som opptar 38 % av volumet. Ved opptakelse av acetylen utvider acetonet seg og fyller ytterligere 29 % av flaskens volum. Det resterende 8 % fungerer som et sikkerhetsrom i flasken [1]. Tykkelsen på flaskene varierer fra 3 til 13 mm, avhenging av flaskens størrelse. Godset i flaskens bunn og flaskens øvre del er tykkere enn for resten av flasken, dette blir gjort for å verne flasken mot støt og slag.



Figur 4 Acetylen flaskens innhold

2.3 Generell brannteori

For at en brann skal kunne oppstå må følgende fire faktorer være tilstede: Brensel, tennkilde, oksygen og kjede reaksjoner.

Tennkilder

Tennkilder tilfører energi til det aktuelle brenselet som antennes. Med tennkilder menes det åpne flammer, varme flater og mekaniske/elektriske gnister. Faste stoffer er avhenging av mye varme for å kunne fordampe og deretter antenne [7]. Det trengs dermed en lavere tennenergi for å antenne gasser, da de ikke er avhengig av å skifte aggregattilstand.

Tabell 3 Laveste tennenergi for noen hydrokarboner

Brennstoff	Laveste tennenergi [mJ]
Propan	0,26
Heptan	0,24
Hydrogen	0,019
Acetylen	0,019

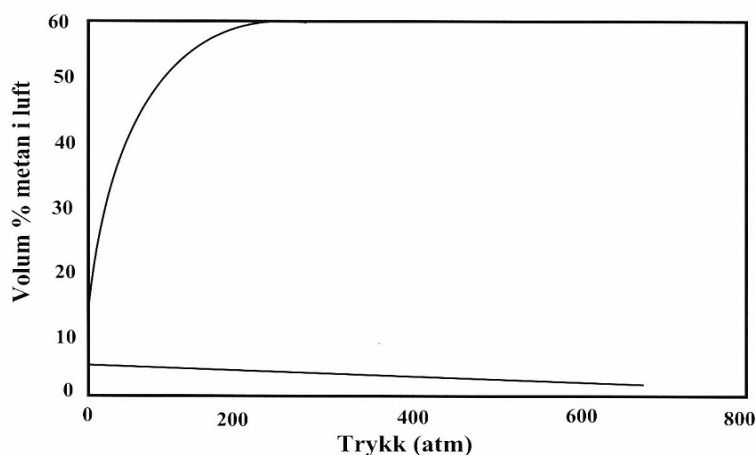
Brennbarhetsgrenser

Dersom en gass skal kunne antenne må den være blandet med en oksidant. Blandingsforholdet mellom gassen og oksidanten må være slik at blandingen kan antenne og opprettholde forbrenningen. For at gass/luft - blandingen skal kunne antenne må blandingsforholdet ligge mellom øvre og nedre brennbarhetsgrense. I Norge brukes brennbarhets- og eksplosjonsgrenser om hverandre. Dette er ikke helt korrekt, da brennbare blandinger kan eksplodere under andre blandingsforhold. En eksplosjon vil utvikle trykk som kan komprimere blandingen. Komprimeringen kan medføre at blandingen eksploderer selv om blandingsforholdet ligger utenfor brennbarhetsgrensene [7].

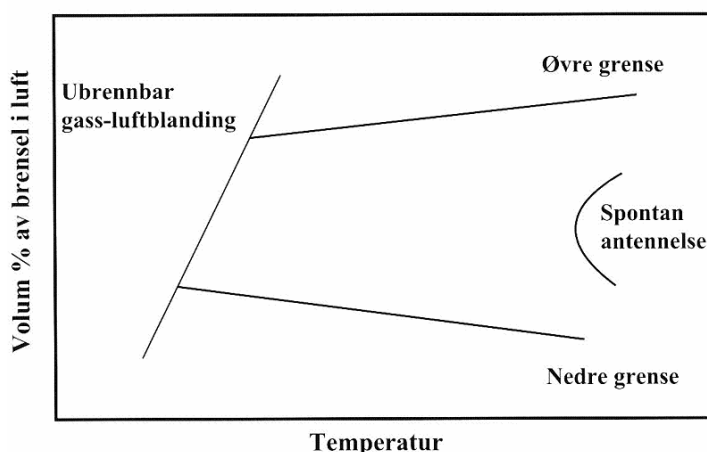
Tabell 4 Brennbarhetsgrenser for noen hydrokarboner

Brennstoff	Nedre brennbarhetsgrense [vol. % i luft]	Øvre brennbarhetsgrense [vol.% i luft]
Bensen	1,3	7,9
Heptan	1,1	6,7
Propan	2,1	9,5
Acetylen	2	82

Brennbarhetsgrensene vil variere fra gasstype til gasstype, og er avhengige av blandingens trykk og temperatur [7]. Den nedre brennbarhetsgrensen er lite påvirket av trykkendringer, mens den øvre brennbarhetsgrensen påvirkes i mye større grad. Forskjellen mellom brennbarhetsgrensenes temperaturavhengighet viser seg å være relativt liten fra gasstype til gasstype.



Figur 5 Endring i brennbarhetsgrense som følge av trykk [7]



Figur 6: Endring i brennbarhetsgrense som følge av temperatur [7]

Foruten å være temperatur og trykkavhengige, påvirkes brennbarhetsgrensene av hastighet og turbulens. Når en gass strømmer med stor hastighet og turbulens, stiger nedre brennbarhetsgrense mens øvre brennbarhetsgrense synker.[8]

Flamme

Det eksisterer i hovedsak to flammetyper: forblandet flamme og diffusjonsflamme. Forskjellen er hvordan brenselet og oksygenet blandes i forbrenningssonen.

I en forblandet flamme blir oksygenet og brenselet blandet før de når forbrenningssonen. Forblandet flamme blir ofte nyttet i sveiseflammer og i butan flammer, og kjennetegnes av en blålig flamme.

I en diffusjonsflamme blandes oksygenet og brenselet i forbrenningssonen. Væskebranner er et typisk eksempel på en diffusjonsflamme. Væsken fordampes og begynner å brenne uten at

brensel og oksygen blandes på forhånd. Dette medfører dannelse av sotpartikler, som igjen fører til varmestråling [7].

Jetflamme er en type diffusjonsflamme. En jetflamme er pr. definisjon: ”*flamme/brann i forbindelse med utslipp av trykksatt gass/væske*”¹. Det karakteristiske ved en jetflamme er den høye varmeavgivelsen til omgivelsene. Dette kommer av den kraftige turbulensen som en jetflamme danner. Turbulensen gir en effektiv innblanding av luft, som fører til en forbrenningsprosess med høy varmestråling og høye temperaturer [9].

2.4 Teori, beskytnings forsøk

For at utstrømmede gass skal kunne antenne ved beskytning, er gassen avhengig av en tennkilde. Tidligere forsøk viser at sporlysammunisjon er en sikrere tennkilde enn ordinære ammunisjonstyper [2][3]. Sporlysammunisjon har en pyroteknisk ladning i bunn av prosjektilet som antennes ved utskytning. Denne ladningen består av fosfor, magnesium eller annen pyroteknisk sammensetning. Ammunisjonen brenner med et hvitt lys i bunn av prosjektilet. Utstrømmende gass antennes av energien fra sporlyset og sammenstøtet mellom prosjektilet og flaskestålet.

For at sporlyset skal kunne antenne utstrømmende gass, må gassen som slippes ut være brennbar. Blandingsforholdet mellom gassen og oksygenet i luften må være slik at blandingen kan antenne og opprettholder forbrenningen. Dette forutsetter at gassen ligger mellom øvre og nedre brennbarhetsgrense og at mengden tennenergi er tilstrekkelig.

Gassens utstrømningshastighet har betydning for mengden tennenergi som er nødvendig for å antenne utstrømmende gass. Ved høy utstrømningshastighet og turbulens øker nødvendig tennenergi [4].

Når sporlysammunisjonen antenner utstrømmende gass dannes en jetflamme. Fra tidligere forsøk med beskytning av kalde acetylenflasker, er det observert at det dannes en turbulent jetflamme på 1.5 til 2 meter like etter beskytning [2][3]. Størrelsen på jetflammen vil være avhengig av varmen/trykket i flasken, utstrømningshastigheten og diameteren på hullet som gassen strømmer ut av. Acetylen brenner med en meget høy flammetemperatur. Adiabatisk flammetemperatur for acetylen er 2551.8K (beregnet med en spesifikk varmekapasitet C_p vurdert opp mot en flammetemperatur på 1500K). Da jetflammen som dannes ved beskytning er en diffusjonsflamme, må det påregnes at 20-40 % av energien stråles bort fra flammen, som en følge av sotproduksjonen [7].

¹ Jan Torgil Josefsen: Jet-flammer, forelesning ved HSH 23.04.07.

2.5 Teori, ruptur i acetylenflaske

Når en acetylenflaske blir påvirket av en ekstern varmekilde settes det i gang to parallelle reaksjoner:

- Gassen endrer egenskaper
- Flaskestålet endrer egenskaper

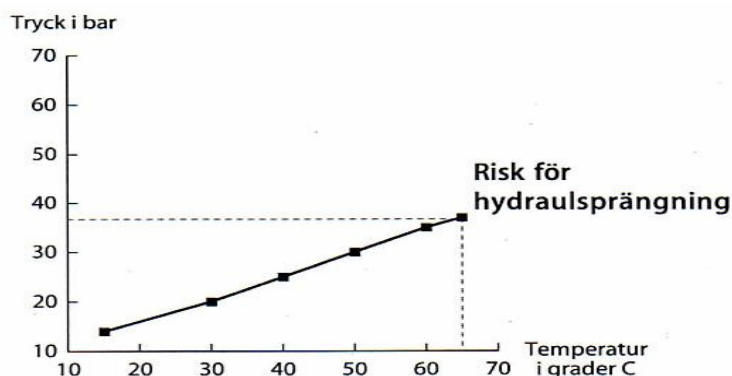
Gassens egenskaper

Alle gasser som blir varmet opp vil øke sitt volum ifølge den ideelle gasslov. Da gassen i dette tilfellet finnes i en lukket beholder, vil trykket i beholderen øke. Acetylgass har i tillegg den egenskapen at gassen spaltes ved en 300°C [1], og antallet molekyler i gassen vil da endres. Dette er en eksoterm spaltningsprosess, ofte omtalt som sammenfall i gassen. Gassen følger reaksjonsligningen $\text{C}_2\text{H}_2 \rightarrow \text{C}_2 + \text{H}_2$ [8]. Reaksjonen medfører at det dannes karbon og vann [1]. Vann inneholder oksygen og dette oksygenet kan bare komme fra acetonet (CH_3COCH_3) som finnes i flasken. Følgelig er også acetonet spaltet ved 300°C . Etersom spaltningsprosessen er eksoterm vil den bidra til trykkoppbygning i flasken. Det er usikkert om dette vil være en dominerende faktor for trykkoppbygningen i en varmepåvirket acetylenflaske.

Det er mulig å estimere trykkoppbygningen i flasken dersom sammenfallet neglisjeres:

$$pV = nRT = \text{konstant.} \rightarrow p_2 = p_1 T_2 / T_1$$

Trykket i flasker er å regne som flaskestålets last, og denne lasten varierer med temperatur. Ved 65°C er det fare for at acetylenflasken får en hydraulisk sprengning [1].

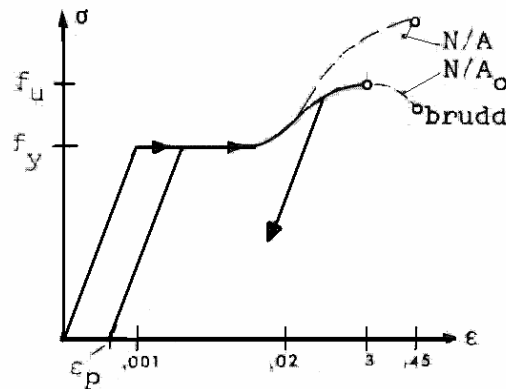


Figur 7 Risiko for hydraulisk sprengning [1]

Stålets egenskaper

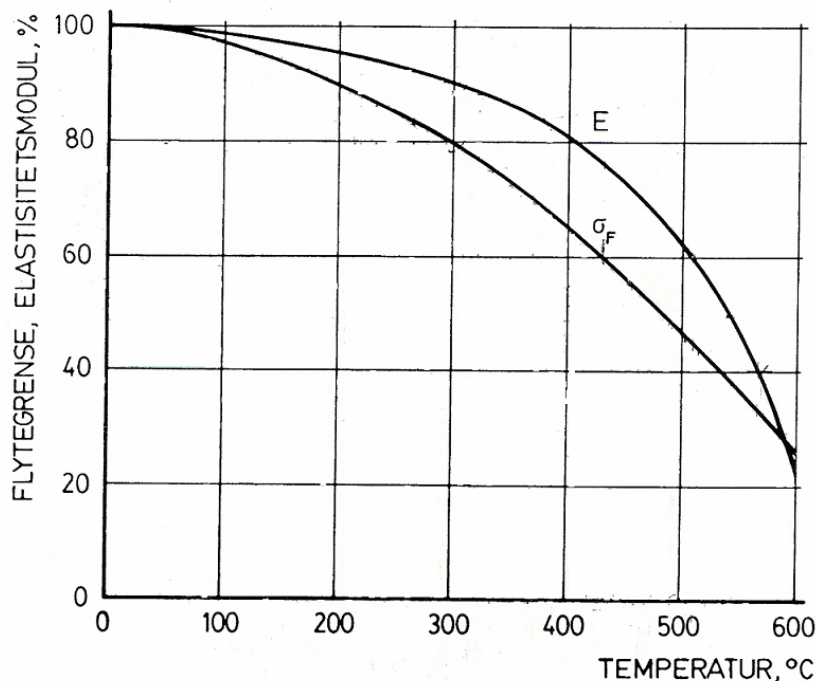
Stål er et elastisk materiale som til en viss grad kan strekkes for så å returnere til sin opprinnelige form. Dette kalles plastisk deformasjon [11]. Dersom stålet strekkes for mye, vil

det inntreffe flytning i stålet. Hvor mye stålet kan strekkes før flytning inntreffer varierer med stållegering. Dersom lasten er vedvarende, vil stålet få en varig forlengelse, og kan da ikke returnere til sin opprinnelige form. Brudd inntreffer like etter stålet har fått varig deformasjon (figur 8) [11].



Figur 8 Flytning i stål [11]

Videre vil stålets egenskaper variere med temperatur. Ved lave temperaturer vil stål være sprøtt, og ved høy temperaturer vil stålet bli mykere [11]. Stålets flytegrense synker med økende temperatur, og normalt vil flytegrensen være redusert med 50 % ved 450°C (figur 9).

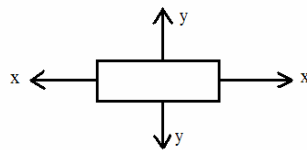


Figur 9 Endring i flytegrense som følge av temperatur [13]

Når lasten på stålet skal analyseres, betraktes et lite element i stålet. Trykksatte beholdere vil ha påkjenning i x og y retning [11]. Disse spenningene er gitt ved:

$$\sigma_x = \frac{r}{2t} p$$

$$\sigma_y = \frac{r}{t} p$$



Figur 10 Spenninger i x og y retning

For å betrakte den totale lasten i stålet, regnes det ut en jevnføringsspenning [11]

$$\sigma_j = \sqrt{\left(\frac{r}{2t} p\right)^2 + \left(\frac{r}{t} p\right)^2} - \left(\frac{r}{2t} p\right) \left(\frac{r}{t} p\right)$$

$$\Rightarrow \sigma_j = \frac{rp}{2t} \sqrt{\frac{3}{4}}$$

Når jevnføringsspenningen overstiger flytegrensen til stålet, vil det oppstå brudd i stålet. På bakgrunn av trykkoppbygning i flasken og stålets bæreevne kan det estimeres en temperatur for når det forventes brudd i stålet.

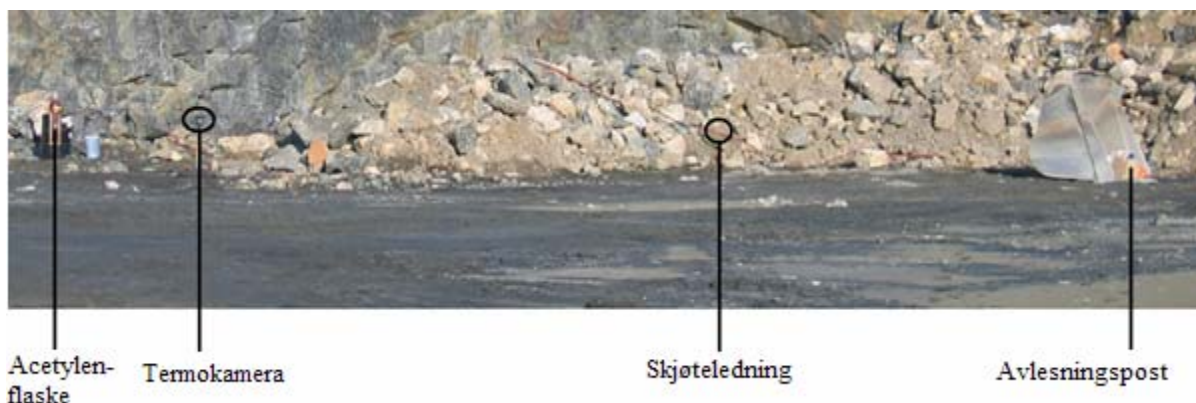
Når rupturen oppstår vil gassen i acetylenflasken strømme ut ettersom trykket i flasken er høyere enn omgivelsestrykk. Luft vil bli innblandet i gassen under utstrømningen, følgelig vil gass/luft blandingens konsentrasjon på et tidspunkt komme innen brennbarhetsområdet. Gass/luft blandingen antennes når tennenergien fra bålet er tilstrekkelig. Ettersom stor gassmengde slippes hurtig ut vil antennesen være intens og flasken kan settes i bevegelse.

3. Testoppsett

Dette kapitlet beskriver hvordan og med hvilke hjelpemidler forsøkene ble gjennomført.

3.1 Testarena

Forsøkene ble gjennomført i et pukkverk, ca 5 km utenfor Grimstad sentrum. Flaskene som ble beskyttet ble plassert nær en 8 meter høy bergvegg og området rundt pukkverket bestod stort sett av stein og grus.



Figur 11 Test arena

3.2 Arnestedet

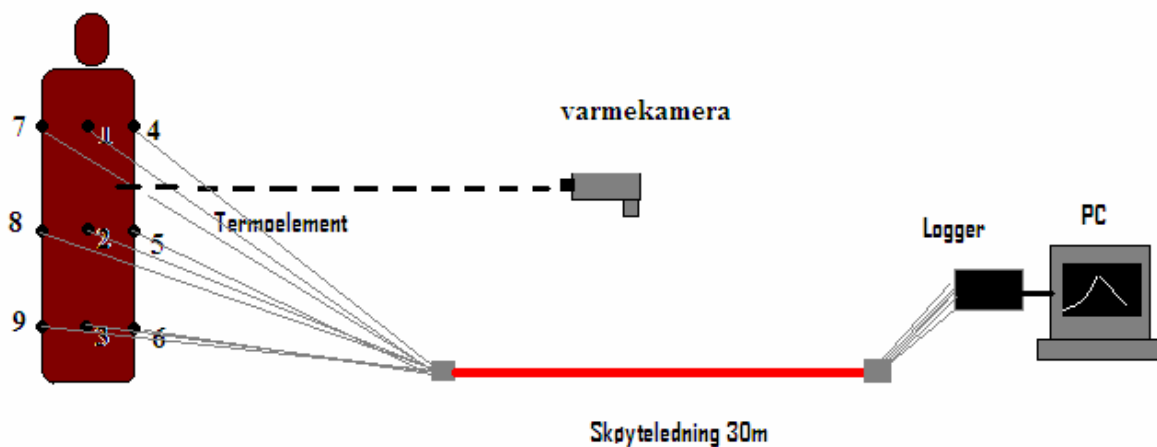
Det ble laget to stk spesial tilpasset tønner med rom til en stående acetylenflaske (figur 12). Flasken ble plassert slik at den kun ble eksponert for brann på den ene siden. Den delen av flasken som ble eksponert for flammene ble skilt fra ueksponert del med rockwool-isolasjon. Dette ble gjort for å eliminere bort eventuelle feilkilder, i form av stikkflammer fra bålet. Flaskene ble støttet opp av armeringsjern som var bøyd til rundt flaskekranen på toppen av flasken.



Figur 12 Acetylenflaske klar for beskytning

3.3 Registrering av temperatur

Det ble nyttet 9 stk termoelementer i forsøkene, disse ble plassert i tre forskjellige høyder, nær bunnen, på midten og på flaskenes øvre del. Det ble nyttet slangeklemmer til å feste termoelementene til acetylenflasken. Termoelementene ble videre koblet til 25 meter lange skjøteledninger. Skjøteledningene ble ført gjennom en brannslange, slik at de ble mindre utsatt for ytre påkjenninger og for å øke mobiliteten. Ledningene ble videre koblet til en logger, av typen Fluke Hydra Serie 2, som registrerte og sendte temperaturmålingene til en bærbar pc. Dataprogrammet Brannlogger 3.1 ble nyttet for å visualisere temperaturmålingene. Datalogger og pc ble plassert i en bulldosergrabb 23 meter fra flaskeoppsettet. En person ble plassert i bulldosergrabben for å lese av målingene og for så å rapportere videre til beskytningspost. Termoelementet som var plassert på midten i front av flasken ble brukt som beskytningstemperatur for alle forsøkene, da dette termoelementet ikke ble eksponert for stikkflammer fra bålet. For å få sammenlignbare temperaturmålinger ble det benyttet et varmekamera, av typen MSA EVO 5200 Series, for å lese av temperatur i front av flasken. Varmekameraet ble plassert 13 meter fra flasken.



Figur 13 Prosjektskisse

3.4 Beskytningen

Tabell 5 Generelle beskytningsdata

Avstand fra skarpskytter til flasken	58 meter
Rifle	Sako Hunter 308 kal. med Schmith og Bender kikkert 1.5-6*52
Ammunisjon	Sporlys ammunisjon kal. 308
Beskytningstemperaturer	150 °C , 100 °C, 80 °C og 50 °C
Siktepunkt på flaskene	Første skudd på nedre del av flasken, deretter på midten og på flaskens øvre del

3.5 Ruptur forsøk

Det ble plassert en acetylenflaske horisontalt på et bål, hvor brenselet var trekapp og diesel. Det ble montert 3 stk termoelementer på midten/toppen av flasken. Acetylenflasken ble liggende på bålet til det oppstod en ruptur i flaskestålet.



Figur 14 Acetylenflaske plassert på bål

3.6 Sikkerhet ved forsøkene

Det ble opprettet sikkerhetssone i forsvarlig avstand fra flasken. Personer som var direkte involvert i forsøket ble plassert i dekning 60 meter fra arnestedet og øvrige tilskuere ble plassert bak sperrelinje. Alle deltakere som var involvert i forsøkene var kledd i brannmanns bekleddning. Naboer og luftfartsverk ble varslet.[Vedlegg 3 og 4]

4 Resultater

Dette kapittelet beskriver resultatene av forsøkene.

4.1 Flaske beskytt ved 150 °C

Skudd 1

Det første skuddet ble plassert på flaskens nedre del og utstrømmende gass antente ikke. Det ble observert en gassky på ca 20*12 meter. Etter 12 sekunder oppstod det sporadisk antennelse av gassen, som følge av kontakt mellom flammer fra bål og utstrømmende gass

Skudd 2 & 3

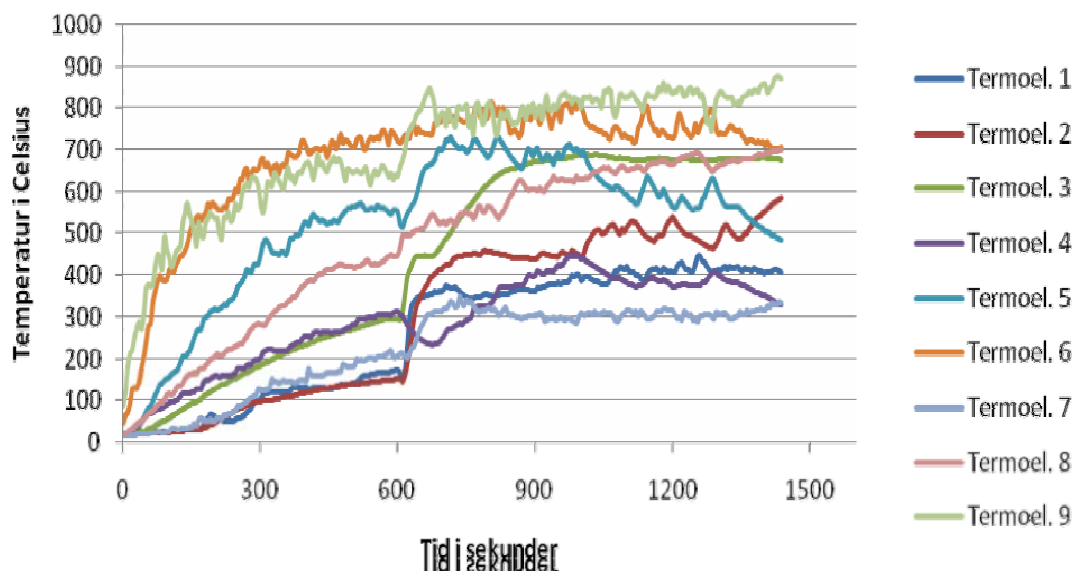
Skudd nr 2 og 3 ble plassert på flaskens øvre del, ca 10 sekunder etter skudd nr 1. Utstrømmende gass antente sporadisk etter ca 5 sekunder, da den ble antent fra jetflamme fra hull nr. 1.

Umiddelbart etter beskytning var utstrømmende gass svart, etter 2-3 sekunder fikk gassen en mer gråaktig farge. Etter ca 30 sekunder ble det registret kontrollert avfakling av utstrømmende gass.

Tabell 6 Beskytningsdata, flaske beskytt ved 150 °C

Flaske 1	
Beskytningstemperatur	150 °C
Temperatur varmekamera	100 °C
Vindstyrke	Rolig
Termoelementer	Ok (se prosjektskisse).
Skudd	Første skudd på flaskens nedre del, deretter to skudd på flaskens øvre del.
Kommentarer	<ul style="list-style-type: none">• Utbuling på flaskens nedre del

Flaske 1 - beskytt ved 150 grader Celsius



Figur 15 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 150 °C

4.2 Flaske beskytt ved 100 °C

Skudd 1

Gassen antente ikke umiddelbart etter første beskytning. Det ble først oppnådd sporadisk antennelse av utstrømmende gass etter ca 25 sekunder, som følge av flammer fra bålet. Det ble observert en større gassky enn for flasken som var beskytt ved 150 °C.

Skudd 2 & 3 °C

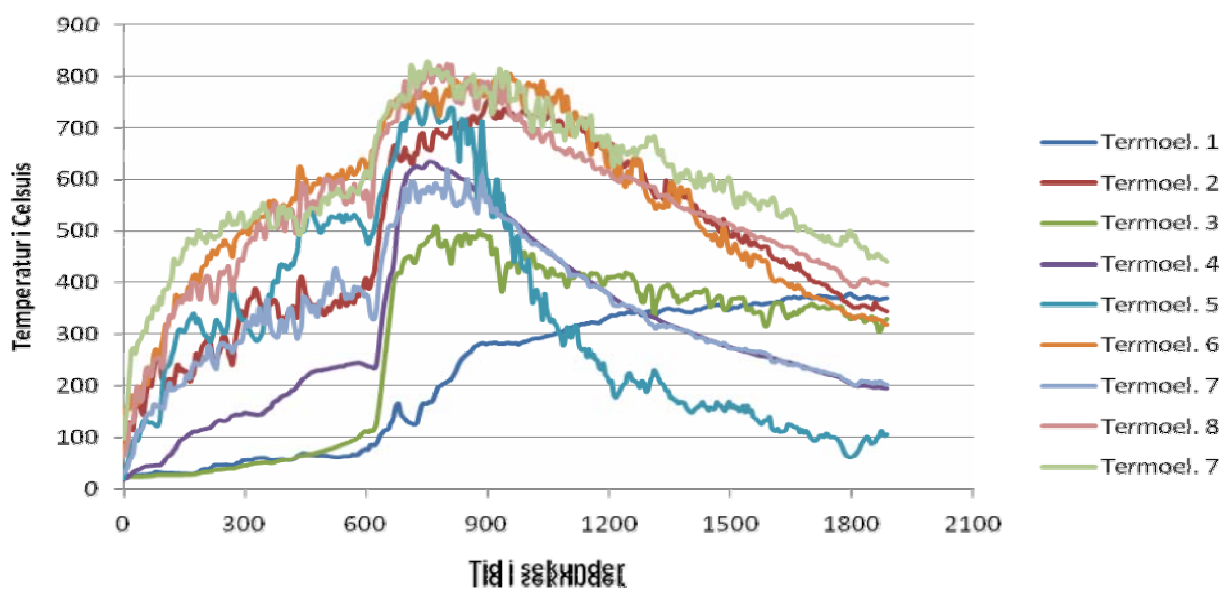
Da gasskyen hemmet sikten til skarpskytter, ble skudd nr 2 og 3 først løst ett minutt etter første beskytning. Utstrømmede gass sporadisk antente etter beskytning.

Gassen som strømmet ut av flasken umiddelbart etter beskytning var nesten helt svart, etter 2-3 sekunder fikk gassen en mer gråaktig farge. Det ble oppnådd kontrollert avfakling etter ca to minutter.

Tabell 7 Beskytningsdata, flaske beskytt ved 100°C

Flaske 2	
Beskytningstemperatur	100 °C
Temperatur varmekamera	140 °C
Vindstyrke	Rolig
Termoelementer	Termoelementene på øvre del av flasken ble festen med ståltråd.
Skudd	Første skudd på flaskens nedre del, deretter to skudd på flaskens øvre del.
Kommentarer	<ul style="list-style-type: none"> • Utbuling på flaskens nedre del

Flaske 2 - beskytt ved 100 grader Celsius



Figur 16 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 100°C

4.3 Flaske beskytt ved 50 °C

Skudd 1

Utstrømmende gass antente umiddelbart etter beskytning. Stikkflammen ut av hullet var 3.5-4 meter lang de første 4-5 sekundene, for så å avta og brenne med en flammelengde på 1.5-2 meter.

Skudd 2 & 3

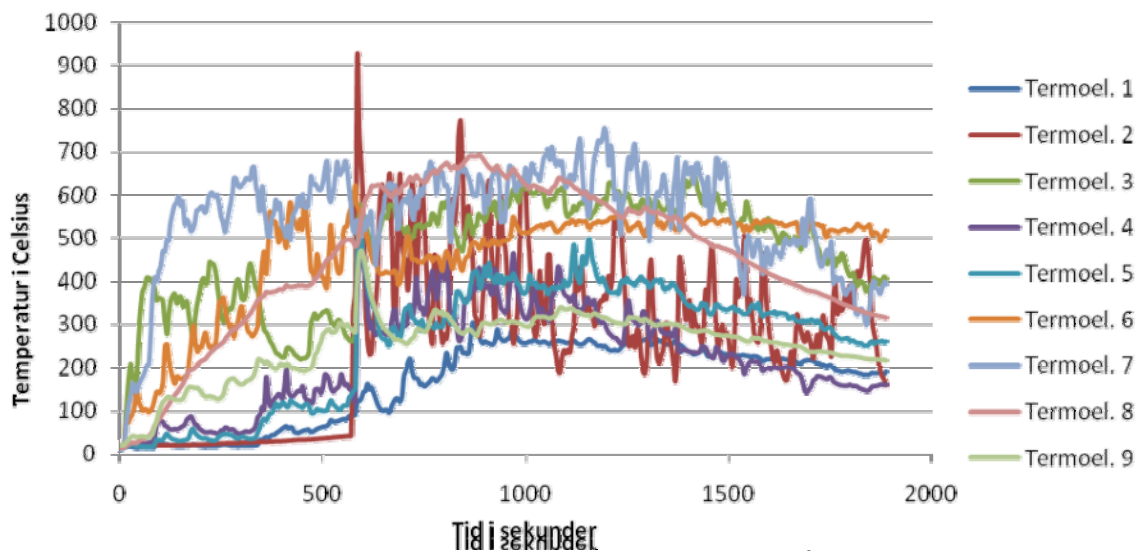
Skudd nr 2 og 3 ble løst 2-3 sekunder etter første beskytning og antente utstrømmende gass. Flammene brant med en lengde på 1.5-2 meter.

Det ble oppnådd en kontrollert avfakling av utstrømmende gass direkte etter beskytning.

Tabell 8 Beskytningdata, flaske beskytt ved 50 °C

Flaske 3	
Beskytnings temperatur	50 °C
Temperatur varmekamera	150 °C
Vindstyrke	Til tider kraftige vindkast
Termoelementer	Termoelementene rundt midten av flasken ble festet ved hjelp av slangeklemmer, mens termoelementene på øvre og nedre del ble festet med ståltråd. Det ble festet et ekstra termoelement i front av flasken.
Skudd	Ett skudd på flaskens nedre del, ett på midten og det siste skuddet på flaskens øvre del.
Kommentarer	<ul style="list-style-type: none">• Gode skyteforhold• Ingen utbuling på flasken• Varmekameraet var noe feiljustert og registrerte temperaturen på venstre side av flaske, hvor det var en del stikkflammer fra bålet. Dette kan forklare den store temperatur differansen mellom termoelementene og varmekameraet.

Flaske 3 - beskytt ved 50 grader Celsius



Figur 17 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 50°C

4.4 Flaske beskytt ved 80°C

I dette forsøket ble det kun benyttet 3 termoelementer, da dette ble ansett som tilstrekkelig for å vurdere beskytningstemperatur.

Skudd 1

Utstrømmende gass antente ikke umiddelbart etter beskytning. Det ble observert en gassky på ca 20*10meter. Først etter ca 20 sekunder ble det observert sporadisk antennelse av den utstrømmende gassen.

Skudd 2 & 3

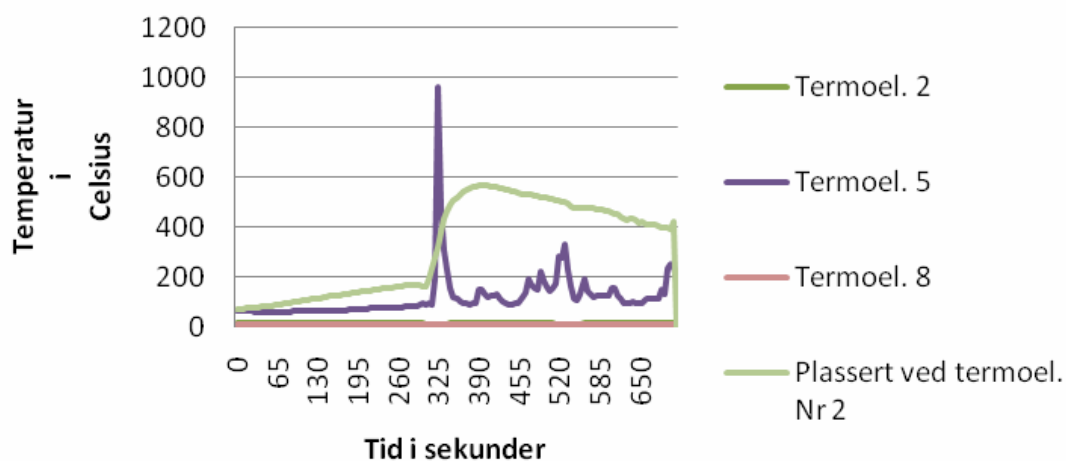
Da gasskyen sperret for sikten til skarpskytter, ble ikke skudd nr 2 og 3 løst før 25 sekunder etter første beskytning. Utstrømmende gass antente sporadisk etter beskytning.

Det ble registret kontrollert avfakling etter ca 60 sekunder.

Tabell 9 Beskytningdata, flaske beskytt ved 80°C

Flaske 4	
Beskytnings temperatur	80°C
Temperatur varmekamera	88°C
Vindstyrke	Rolige
Termoelementer	Det ble brukt 4 stk termoelementer til dette forsøket. 2 stk termoelementer på midten, i front av flasken og 1stk termoelement på hver siden av flasken, inne i rockwool isolasjonen.
Skudd	Det første på nedre del av flasken, deretter to skudd på flaskens øvre del
Kommentarer	<ul style="list-style-type: none"> • Ingen utbuling på flasken. • Ca 30meter fra arnestedet lå to tidligere beskyttede flasker, som fortsatt brant med stikkflammer på ca 20cm ut av beskytningshullene. Den utstrømmede gassen passerte og var i kontakt med disse tennkildene uten å antenne. • Video var ikke tilgjengelig fra dette forsøket, så observasjonen bygger på håndskrevne

Flaske 4- Beskutt ved 80 grader Celsius



Figur 18 Temperaturmålinger, flaske beskytt ved 80°C

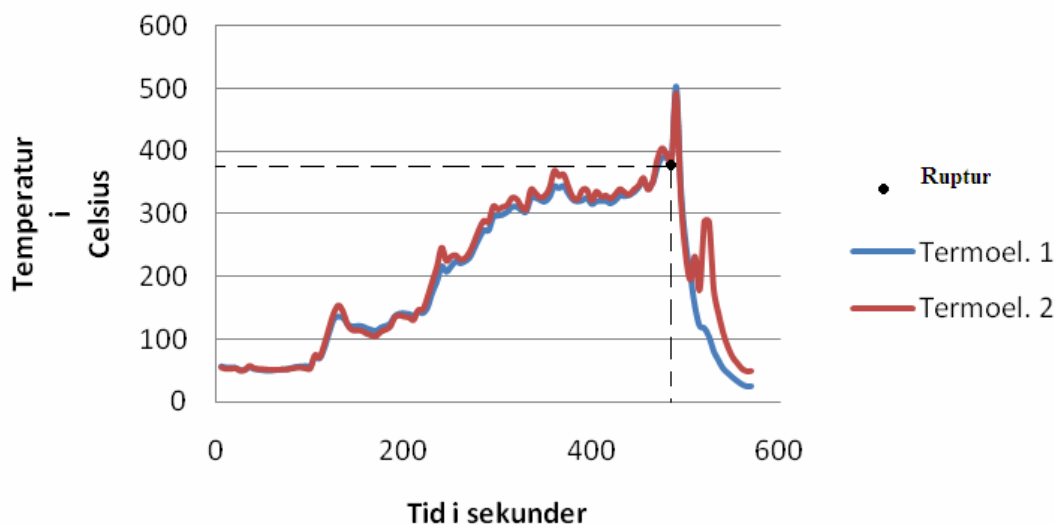
4.5 Forsøk med ruptur av acetylenflaske

Det ble oppnådd en ruptur av flasken ved ca 380°C. Det kunne høres et kraftig smell og det dannet seg en ildkule på ca 8*5meter. Flasken vandret i 8-9 sekunder før den landet 2 meter fra arnestedet, der den brant med en stikkflamme på ca 3meter i 4-5 sekunder før den avtok i intensitet.

Tabell 10 Data, rupturforsøk

Flaske 5 Ruptur i flasken	
Vindstyrke	Rolig
Termoelementer	3 stk termoelementer ble festet på midten/på toppen av den liggende flasken.
Kommentarer	<ul style="list-style-type: none"> • 15cm stor revne på flasken og kraftig utbuling av flaske stålet.

Flaske 5- Ruptur



Figur 19 Temperaturmålinger, rupturforsøk.

5 Vurdering

I dette kapittelet vurderes observasjonene som ble gjort under forsøkene.

5.1 Beskytningsforsøk hvor utstrømmende gass ikke antente.

I forsøkene hvor gassen ikke antente ble det gjort to observasjoner som var oppsiktsvekkende:

- Gassen antente ikke ved utstrømning.
- Gassen antente ikke når den var i rolig bevegelse i kontakt/nærhet av åpen flamme.

Årsaken eller årsakene til at gassen ikke antente kan være mange og komplekse. Høyt trykk i gassflasken vil medføre et reaksjonsmønster, hvor alle elementene i dette mønsteret kan ha betydning for antennelse av gassen:

Varme påvirkning → Trykkoppbygning i flasken → Sammenfall i gassen → Høyt trykk → Høy utstrømningshastighet → Turbulent strømning → Høy innblanding av luft.

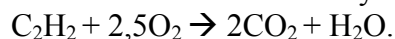
To teorier utpeker seg imidlertid som sannsynlige årsaker til at gassen ikke antente:

- *Gassen i flasken har blitt mindre brennbar som følge av forbrenning i flasken før beskytning.*
- *Utstrømningshastigheten til gassen er så høy at mengden tennenergi ikke er tilstrekkelig til å antenne og opprettholde forbrenningen utstrømmende gass.*

Gassen i flasken har blitt mindre brennbar som følge av forbrenning i flasken før beskytning.

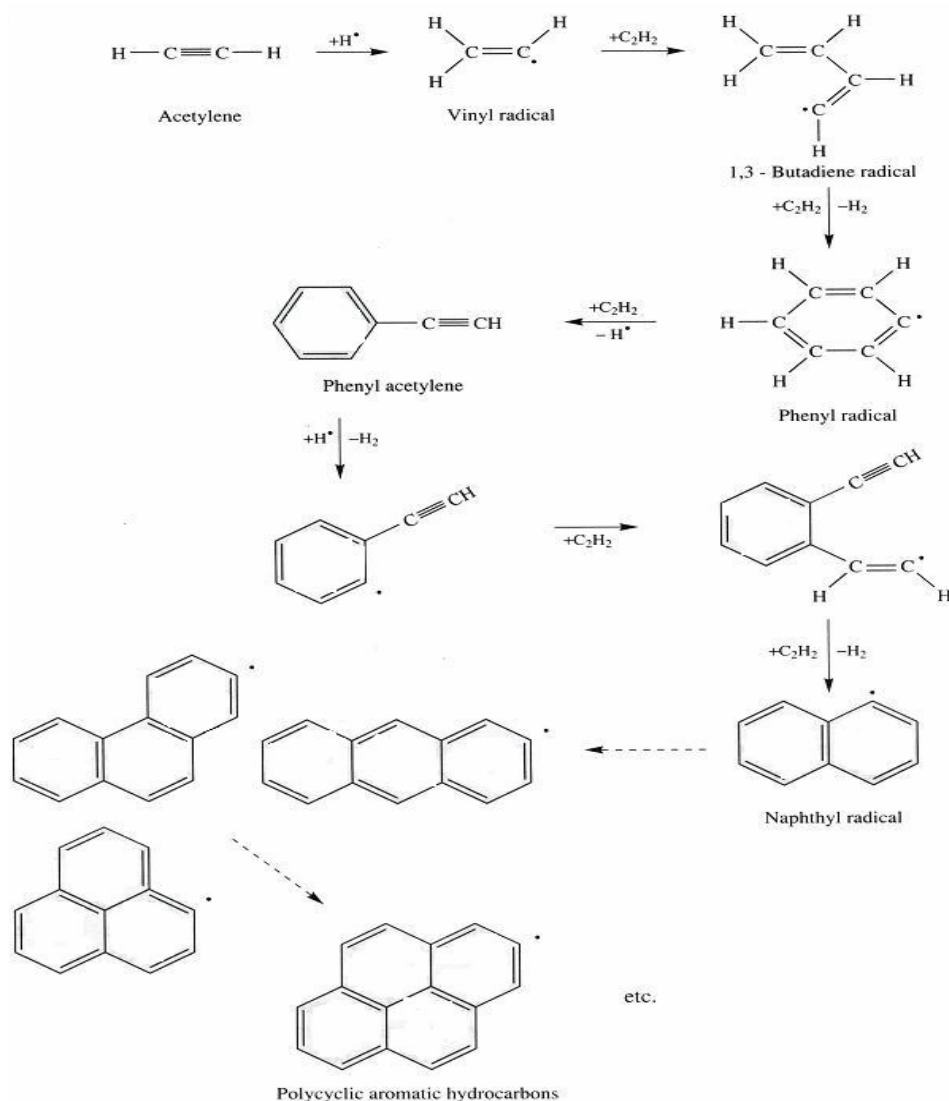
Acetyलगass flasker inneholder aceton (CH_3COCH_3) og acetylen (C_2H_2) i omtrent like proporsjoner (se kapittel 2.1). Ved 300°C dannes karbon og vann [1]. Ettersom vann inneholder oksygen, må altså acetonet være dekomponert ved denne temperaturen. I et slikt tilfelle finnes da varme, brensel og oksidant i acetylenflasken, det er derfor mulig at en forbrenning kan forekomme.

For å forbrenne et mol acetylen kreves $2,5 \text{ O}_2$:



Aceton inneholder 1 Oksygenatom, dermed kreves 5 mol aceton + varme for å forbrenne 1 mol acetylen. $\text{C}_2\text{H}_2 + 5(\text{CH}_3 + \text{CH}_3 + \text{CO}) \rightarrow 2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \dots$ Som resultat av forbrenning dannes karbondioksid og vann.

Ved forbrenning i miljøer med lavt oksygen innhold, kan deler av de flyktige stoffene danne umettede molekyler [8]. Acetylen kan gjennomgå en slik reaksjon og danne aromatiske hydrokarboner. Det enkleste av disse molekylene er benzen (C_6H_6). Ved høye temperaturer er Benzen bemerkelsesverdig stabil og har da evne til å motstå oksidasjon [10].



Figur 20 Dannelse av aromatiske hydrokarboner

En mulig reaksjon ved sammenfall i gassen kan da i prinsippet være:



Utstrømmende gass vil da inneholde to ubrennbare produkter (CO_2 og H_2O), og ett produkt (C_6H_6) som har evne til å motstå oksidasjon.

Den utstrømmende gassen var tidvis svart, som er et kjennetegn på at sammenfallet i gassen har startet (kapittel 2.3). I forsøket hvor flasken ble beskyttet ved 80°C var gassen som strømmet ut av flaskene i nærheten av eller i kontakt med tennkilder som burde være tilstrekkelig store til å antenne acetylen-gass. Gassen var da heller ikke turbulent. Da gassen ikke antente, vil det være naturlig å anta at den utstrømmende gassen har et brennbarhetsområde forskjellig fra acetylen-gass. Det ble ved to anledninger også skutt sporlyssammunisjon inn i gass skyen, uten at denne antente. Dette underbygger teorien om at gassen er mindre brennbar enn acetylen.

Utstrømningshastigheten til gassen er så høy at mengden tennenergi ikke er tilstrekkelig til å antenne og opprettholde forbrenningen utstrømmende gass.

Det er ikke mulig å beregne nøyaktig trykk og utstrømningshastighet på gassen, men videoopptak fra forsøkene viser at utstrømningshastigheten på gassen ut av flasken var høy og turbulent. Flaskene som ble beskyttet ved 150°C , 100°C og 80°C antente ikke umiddelbart etter beskytning, men antente når trykket i flasken avtok. Dette tyder på at tennkilden, i form av prosjektillets sammenstøt med flasken, ikke var kraftig nok til å antenne og opprettholde forbrenningen av utstrømmende gass. Tester som har blitt utført ved antennelse av hydrokarboner, bekrefter at ved økt hastighet og turbulens øker nødvendig tennenergi [8][12].

Denne teorien styrkes da flasken som ble beskyttet ved 50°C antente og opprettholdt forbrenningen av utstrømmende gass, direkte etter beskytning.

5.2 Beskytningsforsøk hvor utstrømmende gass antente.

Flasken som ble beskyttet ved 50°C gjennomgikk minst oppvarming, og følgelig var trykket i flasken lavest i dette forsøket. Da trykket var lavere, var også utstrømningshastigheten til gassen lavest i dette forsøket. Ettersom gassen antente ved beskytning var tennenergien, forårsaket av sammenstøt mellom prosjektil og flaske, tilstrekkelig høy til å antenne den utstrømmende gassen. Den umiddelbare antennelsen av gassen viser at i dette tilfellet var det prosjektilet som var tennkilden og ikke de omliggende varme flatene eller flammer fra bålet.

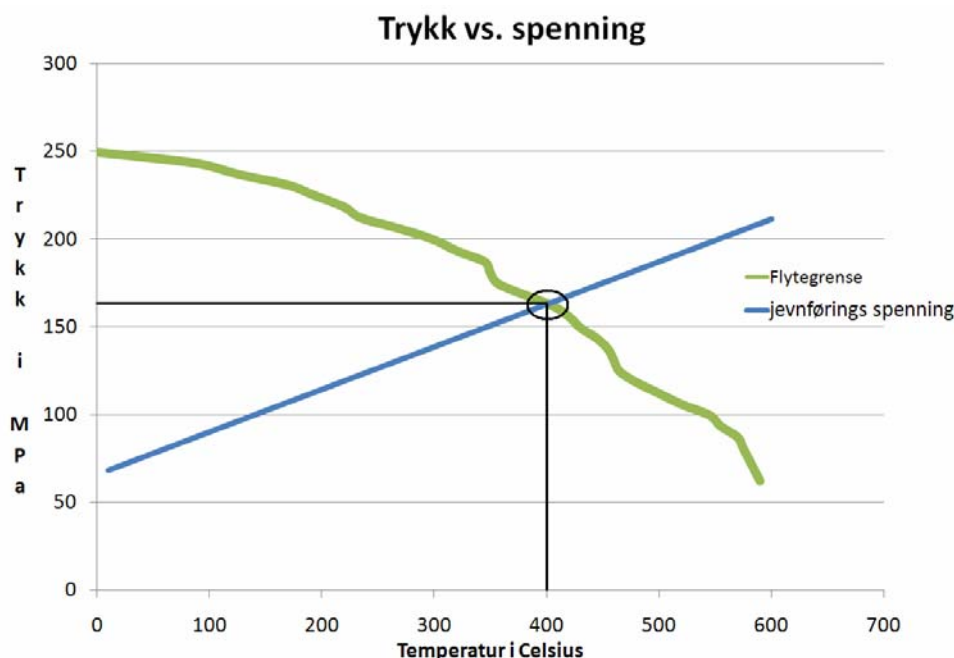
Da gassen antente ved beskytning er det vanskelig å si noe konkret om brennbarheten til gassen i dette forsøket, annet enn at den lå innenfor brennbarhetsområdet.

Sannsynligvis var det den lave utstrømningshastigheten som gjorde at gassen antente, og mengden tennenergi var dermed tilstrekkelig for å antenne og opprettholde forbrenningen av utstrømmende gass.

Jetflammene fra flasken slokket ved et par anledninger, men antente like etter. Forsøket viste dermed at utstrømningshastigheten ved dette flasketrykket nærmer seg en grense for maksimalt flasketrykk for sikker beskyttning av avetylenflasker.

5.3 Rupturforsøk uten beskytning

Flasken viste tydelig at flytning hadde inntruffet under forsøket. Flytningen kan sees som en utbuling på flasken (figur 22). Bruddet i flasken forløp som forventet og underbygger teorien som er beskrevet i kapittel 2.4.



Figur 21 Estimert jevnførings spenning vs flytegrense

Det var forventet at sammenfallet i gassen ville ha en innvirkning på når brudd ville inntreffe. Det ble estimert en jevnførings spenning som beskrevet i kapitel 2.4. Estimert ble satt opp mot stålets flytegrense som synker med økende temperatur. På bakgrunn av estimatet var det ventet at flytning ville inntreffe ved 400°C med følgende brudd. Da bruddet inntraff ved ca 380°C stemte estimert og faktisk temperaturer overens.

Videre viste forsøket intensiteten av en acetylenflaske som får en ruptur som følge av ytre varmpåkjønning og den fare dette innebærer for publikum og redningspersonell.



Figur 22 Utbuling på acetylenflaske ved ruptur

6 Diskusjon

Dette kapittelet tar for seg feilkilder og gir forslag til videre arbeid.

6.1 Feilkilder

Temperaturmålinger.

Temperatur ble ved alle forsøkene målt med termoelementer, festet til flasken. I praksis vil termoelementene bli påvirket av flammer og vind som vil gi utslag på målingene. Det ble registrert store forskjeller i målingene mellom termoelementene som var plassert på fremsiden og baksiden av flasken. Acetylenflasker inneholder en porøs masse som har en isolerende evne. Dette kan medføre at temperaturmålingene på flasken kan variere fra sted til sted.

Utstyr

Alt måleutstyr vil ha en viss feilmargin. Da det ble registrert store differanser mellom de ulike temperaturmålingene, er det lite sannsynlig at utstyrets feilmargin har noen innvirkning på resultatene fra forsøkene som ble gjort.

Stål

Stålets flytegrense har blitt estimert til 250 MPa i henhold til Norsk Standard 3472. Stålets tykkelse er oppgitt til å være 3-13 millimeter. I beregningene i denne rapporten har det blitt antatt at flaskens stål er 3 millimeter tykt. Dersom det gjøres beregninger med andre verdier for stålets tykkelse og flytegrenser, vil resultatene kunne avvike fra estimatene gjort i denne rapporten.

Norsk Standard gir flere sammenligninger mellom flytegrense og temperatur. NS 3478 er lagt til grunn for beregningene i denne oppgaven. Standarden (NS 3478) forutsetter hurtig oppvarming, hvilket var tilfelle i forsøkene.

6.2 Forslag til videre arbeid

For å kunne si med sikkerhet hva temperatur og trykk er i flasken må det støpes testflasker. Disse bør ha innstøpt termoelementer for å kunne nøyaktig gasstemperatur. Videre bør flasken(e) ha manometer i topp som tåler varmepåkjenningen fra brann hvis dette er mulig.

Det bør gjøres flere beskytningsforsøk med varme flasker. Her bør det plasseres ekstra varmekilder for å undersøke brennbarheten til gassen og om en husbrann eller lignende kan antenne gassen.

7 Konklusjon

Når varmepåvirkede acetylenflasker beskyttes, vil den utstrømmende gassen ikke antenne umiddelbart etter beskytning, dersom trykket inne i flasken er for høyt. Gassens utstrømningshastighet vil da være så høy at mengden tennenergi, forårsaket av sporlysprosjektilets sammenstøt med flasken, ikke er kraftig nok til å antenne gassen.

Utstrømmende gass består ikke av ren acetylen. Sammenfallet i gassen forårsaker andre molekylsammensetninger som er mindre brennbare enn ren acetylen, men nøyaktig brennbarhetsområde til den utstrømmende gassen er det ikke mulig å konkludere med. Et mulig reaksjonsmønster kan være:



Den utstrømmende gassen antent umiddelbart etter beskytning ved 50 °C, dette anses da for å være en trygg beskytningstemperatur. Her må det imidlertid tas forbehold om feilkilder som beskrevet i kap.6. For at oppnå en sikker beskytning av varmepåvirkede acetylenflasker, må flaskene kjøles ned til minimum 50 °C før de beskytes.

Acetylenflasken som var plassert på bålet fikk en ruptur ved 380 °C. Teorien som er beskrevet angående flytning og ruptur ble bekreftet, da flasken viste tydelig at flytning hadde inntruffet før ruptur. Derimot var det ventet at sammenfallet i gassen ville ha betydning for når rupturen inntraff. Estimert verdi for flytning var 400 °C med påfølgende brudd. Dette estimatet neglisjerte sammenfallet i gassen. Dermed har sammenfallet i gassen liten eller ingen betydning for når ruptur inntreffer, så lenge flasken har kontinuerlig varmepåkjennning.

8 Referanseliste

- [1] Bjørnstrøm, Hans & Setterwall, Tom (2002) **Beskjutting av acetylenflaskor**. Risk- og miljøavdelingen och Raddningstjänstavdelingen.
- [2] Evensen, Eirik (2004) **Acetylen og oksygen gassflasker i brann**. Grimstad brann- og feiervesen
- [3] Evensen, Eirik (2005) **Aktiv innsats gassflasker i brann, samlagra flasker**, Grimstad brann- og feiervesen
- [4] Barbarauskas, Vytenis.(2003) **Ignition handbook**. Kapittel 4, s. 79. USA, Fire Science Publishers
- [5] Store norske leksikon, **Aceton** [internett] Tilgjengelig fra:
<http://www.snl.no/article.html?id=428732&o=1&search=aceton> [lest 04.04.07]
- [6] Store norske leksikon, **Acetylen** [internett] Tilgjengelig fra:
<http://www.snl.no/article.html?id=428752&o=1&search=acetylen>
- [7] Hagen, Bjarne Christian (2004) **Grunnleggende brannteknikk**. Haugesund.
- [8] Barbarauskas, Vytenis.(2003) **Ignition handbook**. USA. Fire Science Publishers
- [9] Leksikon, energilink **Jetbrann**, [internett] Tilgjengelig fra:
<http://www.energilink.no/leksikon/jet-brann.aspx>
- [10] Drysdale, Dougal (1998) **An introduction to fire dynamics, second edition**. Edinburgh, UK. Wiley Forlag.
- [11] Irgens, Fridtjov (1999). **Fasthetslære**, 6 utgave. Trondheim, Tapir Forlag
- [12] Eckhoff, Rolf K (1996). **Elektrisk utstyr for eksplosjonsfarlige områder**. Trondheim, Tapir forlag
- [13] Norsk standard 3478, **Brannteknisk dimensjonering av bygningskonstruksjoner**.

9 Vedlegg

Vedlegg 1 Utstyrliste

- 5 stk acetylenflasker
- 1 stk rifle, Sako Hunter 308 kal. med Schmith og Bender kikkert 1.5-6*52.
- Sporlysammunisjon kal. 308.
- 1 stk varmekamera, MSA EVO 5200 Series.
- 1 stk logger, Fluke Hydra Series 2.
- 1 stk bærbar pc.
- Dataprogram: Brannlogger 3.1
- 9 stk termoelementer.
- 9 stk skjøteledninger til termoelementene, 30 meter.
- 3 stk slangeklemmer.
- 1 stk skøyteledning, 50 meter.
- 2 stk spesial tilpassede tønner.
- Rockwool-isolasjon.
- 3 stk spesial tilpassede armeringsjern.

Vedlegg 2 Datablad, termokamera

MSA EUROPE

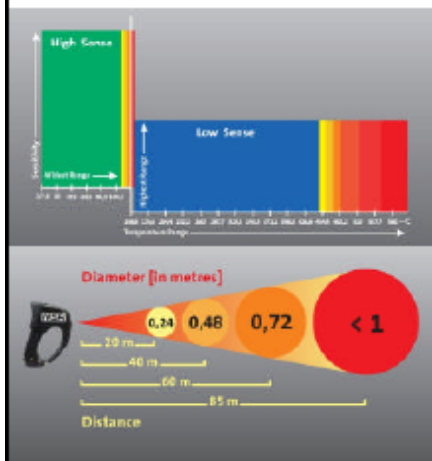
EVOLUTION® 5200 [Features & Benefits]

Durability

Droptest [3x from 2 m onto concrete]
IP 67 [30 min in 1 m depth]
Flame resistance [simulated NFPA 1981 Flame Test 10 sec at 950°C]
Heat resistance [simulated NFPA 1982 Heat Resistance Test 8 min at 260°C]
RFI [Radio Frequency Interference] resistance

Ergonomics

Easy, hands free Integration
Very easy to orient in ready position
Dual handle design for easy handoff
A true 90 mm display allows for multiple viewers



Versatility for all Conditions

Outstanding stable image in high heat
Heat Seeker - activates in lower temperatures
Greater temperature response with dual mode temp scale
High Sense mode: Highest sensitivity
Low Sense mode: Widest temprange
Flexibility for the majority of calls [smell of smoke, ballasts, hot spots, extension]

Temperature Measurement

Sensational aspect ratio of 85:1 for pinpoint accuracy, i.e. at 85 m distance the area being measured will be < 1 m
More safety

Wider Field of View

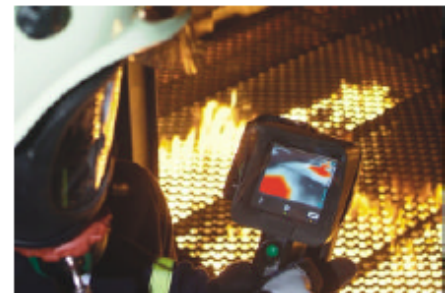
Horizontal - 55° / vertical - 41°
More effective and efficient scanning and search
Less chance of missing key information

Optimal Battery Solution

Battery is protected inside of the handle [not exposed to harsh conditions]
2 hours running time in a small, lightweight package [<100 g]
Commercially available battery can be used when needed

Fast Startup and One Button Operation

One second startup
Simple to use
Cannot be accidentally turned off
Standby mode



Advanced Safety Features

No accidental shut off
Over temperature warning
The only TIC with shutter indicator
Battery LED's - clearly indicate pending shutdown

A Modular System

With Videotransmission system and Video Capture

Vedlegg 3 Nabovarsel



GRIMSTAD KOMMUNE Brann- og Feiertjeneste

Berørte bolighus

Deres ref.:

Fil: u:/br./ege/øvelse/acetylen

Vår ref.: EGE

Dato: 30.03.07

Arkiv nr.:

NABOVARSEL

Det vil foregå øvelse i regi av Grimstad Brann- og Feiertjeneste i steinbruddet på Landvik, nærmere bestemt i krateret på toppen. Øvelsen innebærer en skarp øvelse med sikkerhetssone på minimum 300 meter i radius rundt toppen. Øvelsen vil ta anslagsvis 8 timer.

Det bes om at personer ikke beveger seg inn på Pukkverket's område under øvelsen.

Avtale med Landvik og Klodeborg pukkverk om disponering av grunn er inngått.

Øvelsen vil bli avholdt lørdag 31.03.2007 fra klokka 09⁰⁰ og utover, vi satser på å være ferdige med øvelsen før 17⁰⁰.

Ved spørsmål bes undertegnede kontaktes på tlf: 37 25 04 98 eller mob. 900 588 36.

Med hilsen
Grimstad Brann- og Feiertjeneste

Eirik G. Evensen
varabrannsjef



Vedlegg 4 Varsel til luftfartsverket



GRIMSTAD KOMMUNE Brann- og feiertjeneste

Arendalsveien 26 A
4890 GRIMSTAD
Telefon: 37250498
Telefax: 3704835
Mob.: 90058836

Notamkontoret Fax: 64 81 90 61
Kontrolltårnet på Kjevik Fax: 38 06 38 25
Oslo Kontrollsentral Fax: 66 79 25 95
Luftambulans (Arendal) Fax: 37 05 26 01

Deres ref.: Fil: u./br./ege/øvelse/acetylen Vår ref.: EGE Dato: 30.03.07
Tlf. dir.: 37 25 04 98 mob. 900 588 36 Arkiv nr.:

VARSEL

Grimstad brann- og feiertjeneste skal avholde en praktisk øvelse i Grimstad. Øvelsen medfører sikkerhetssoner både vertikalt og horisontalt. Det vil bli sprengt flere gassflasker og flasker, flaskefragmenter og omliggende masse (stein) vil bli kastet ut.

Sikkerhetsavstand

Normgivende sikkerhetsavstander for slike hendelser er 1 000 fot (300 m). Disse avstandene er imidlertid ikke veldefinerte og vi setter en grense på **1 400 fot** (400 m). Sikkerhetsområdet vil danne en halvkule rundt "brennsted" og innenfor denne sone vil det oppleves utkast av fremmedlegemer og trykkbølger.

Tid

Lørdag 31.03.07, øvelsen vil skje i tidsrommet 09⁰⁰ - 17⁰⁰ (lokal tid)

Sted

Aust Agder fylke, Grimstad kommune, steinbruddet i Landvik, ca 500 m vest for Landvik kirke (mellom Vomfjell (syd) og Fjellmannsheia (nord)).

Kart koordinater : 582030N (X – 38336.2)
 : 0083052E (Y – 7617.6, UTM 716 674)
Høyde over havet : 87 m

Ytterligere varsling

Luftambulans varsles ved oppstart samme dag på tlf: 37 05 26 00 alt. 37 01 46 90 (AMK sentral).

Kontrolltårnet Kjevik varsles ved oppstart samme dag på tlf: 38 06 56 52 dir. flygeleder.

Det bes om at dette hensynstas/varsles for luftfarten under øvelsen.

Ved spørsmål bes undertegnede kontaktes på tlf: 37 25 04 98 eller mob. 900 588 36.

Med hilsen
Grimstad brann- og feiertjeneste

Eirik G. Evensen
varabrannsjef