

BESKJUTNING AV ACETYLENGAS- FLASKOR INOMHUS 2

RAPPORT RÄDDNINGSTJÄNSTAVDELNINGEN R64-164/96



**RÄDDNINGSS
VERKET**

FOA

FÖRSVARETS FORSKNINGSANSTALT
DEFENCE RESEARCH ESTABLISHMENT

Dnr 96-3993/S

BESKJUTNING AV ACETYLENTUBER MED AK 4 OCH 7,62 MM AMMUNITION

S Lamnevik

Nov. 1996

Risikanalysgruppen

Adress

Grindsjön
147 25 TUMBA

Besök

Grindsjön

Telefon

08 - 706 3000

Fax

08 - 706 4143

SAMMANFATTNING

FOA har av Statens Räddningsverk, beställning nr 9238-01, 1996-04-10, fått i uppdrag att undersöka vad som händer vid beskjutning av acetylengasflaskor med 7,62 mm spårlyssammuniton i följande avseenden:

Hur mycket acetylen strömmar ut ur kulhålet från full flaska vid 20 °C och 65 °C ?

Hur sker tändning vid beskjutning?

Vilka tryck uppkommer vid beskjutning av acetylenflaska inomhus, lokalstorlek "liten verkstad", om tändningen blir 30 s fördröjd?

Då en acetylenkastub träffas av en 7,62 mm kula (med eller utan spårlyss) från en AK4, går kulan igenom gastubens vägg och stannar sedan ca 5 cm in i den fyllmassa som tuben är fylld med. Genom kulhålet strömmar som mest ca 0,5 kg per 30 s av en aerosol bestående av acetylen + acetone + fyllmassa vid 20 °C, ca 0,7 kg per 30 s vid 65 °C. Aerosolen syns som en vit rök på upptagna high speed filmer.

Ett inre sönderfall startas inne i gastuben i kaviteten efter kulan antingen genom kulans bromsning i tubvägg och fyllmassa eller vid spårlyss som en kombination av detta plus värme från spårlyssuset. Vid försöken åstadkoms sönderfallsstart i ett fall av tre vid konventionell projektil och i fem fall av fem vid spårlyss.

Vid det inre sönderfallet bildas hydrogen och sot. Sotet syns som mörk rök på gjorda high speed filmer. När sönderfallszonen når det yttre av gastuben antänds den utströmmande gasen så att en synlig flamma uppkommer. Detta sker ca 0,3 s efter genomslag.

Tändning av 0,5 kg acetylen inne i en lokal med golvyta av 47 m² och en volym av 165 m³ och en avlastningsyta via dörrar och fönster av 4 m² medförde ett övertryck av ca 8 kPa under ca 80 ms, följt av ett undertryck av ca 5 kPa under ca 70 ms. Trycket blev lägre men varaktigheten större än tidigare gjorda beräkningar.

Takbelysningen revs ned, puts på väggar revs ner, en innervägg trycktes in ca 5 cm, skador på väggputs uppstod i angränsande rum, takarmatur revs ned i angränsande rum. Med hänsyn till uppkomna skador avråds från att beskjuta acetylentuber i så små lokaler.

Som regler vid beskjutning av acetylentuber inomhus föreslås:

Lokalens volym skall vara minst ca 1000 m³ alternativt 500 m³ vid betongbyggnad.

Dörrar och fönster skall vara öppna.

Vapnets magasin skall vara laddat med fullt magasin, spårlyssammuniton.

Ett skjutavstånd minst lika med lokalens största mått räknat från den öppning man avser skjuta in genom skall tas ut.

INNEHÅLL

	Sid
Sammanfattning	2
Uppdraget	4
Vapen och ammunition	5
Lågan från spårlyset	5
Utströmmad acetylenmängd per tidsenhet vid 20 °C och 65 °C	7
Hur sker tändning?	11
Explosion av 0,5 kg acetylen inne i delvis stängd lokal	15
Skadeverkan på byggnaden	16
Förslag till regler vid beskjutning av acetylenflaskor inomhus	18

UPPDRAGET

FOA har av Statens Räddningsverk, beställning nr 9238-01, 1996-04-10, fått i uppdrag att undersöka vad som händer vid beskjutning av acetylen­gasflaskor med 7,62 mm spår­ljusammunition i följande avseenden:

Hur mycket acetylen strömmar ut ur kulhålet från full flaska vid 20 °C och 65 °C ?

Hur sker tändning vid beskjutning?

Vilka tryck uppkommer vid beskjutning av acetylen­flaska inomhus, lokal­storlek "liten verkstad", om tändningen blir 30 s fördröjd?

FOA har tidigare gjort teoretiska beräkningar av hur mycket gas som kan strömma ut på 30 s och vilka tryck som uppkommer vid 30 s sen tändning i en lokal med volym 105 m³ och med fri ventilationsarea ut till det fria av 4 m² (SRV rapport "Beskjutning av acetylen­gasflaskor inomhus", beställningsnummer R64-112/95).

Föreliggande arbete utförs för att verifiera gjorda beräkningar och för att få ökad förståelse för vad som händer vid avsiktligt utsläpp och antändning av acetylen i det fria och i ett nästan stängt utrymme. En ytterligare avsikt är att kunna använda i arbetet framtagna videofilmer för utbildning av räddningspersonal.

I detta arbete har medverkat

Bertil Sandberg

Tryckmätningar

Kaj Ormegard

Video, high speed film och video

VAPEN OCH AMMUNITION

Vid denna studie har använts en svensk AK 4 med 7,62 mm kaliber, i fast skottstol och på ett fast avstånd av 73 m.

Som ammunition har använts 7,62 mm sk patron 10 slprj, d v s en patron med 7,62x51 mm hylsa, laddad med 2,8 g krut NC 1055 och försedd med en 9,1 g projektil försedd med spårlyus. Utgångshastigheten är nominellt 775 m/s.

Spårlyuset tänds inte meddetsamma utan efter en viss fördröjning, som motsvarar ca 80 m gångsträcka. Detta har gjorts för att undvika att skytten röjer sig vid skjutning.

Fabrikanten, Bofors Carl-Gustaf AB, Eskilstuna, har åt FOA och för denna studie tillverkat en speciell spårlyusversion utan "mörkersträcka" och med samma kulvikt, slprj FFV 553, för att säkerställa att spårlyuset brinner även vid korta skjutavstånd.

Vid försöken har dessutom använts "vanlig" ammunition för AK 4, 7,62 mm sk patron 10, för inskjutning och för några försök mot gastuber. Projektilen väger här 9,5 g och har utgångshastigheten 790 m/s och drivs av 2,9 g krut NC 1055.

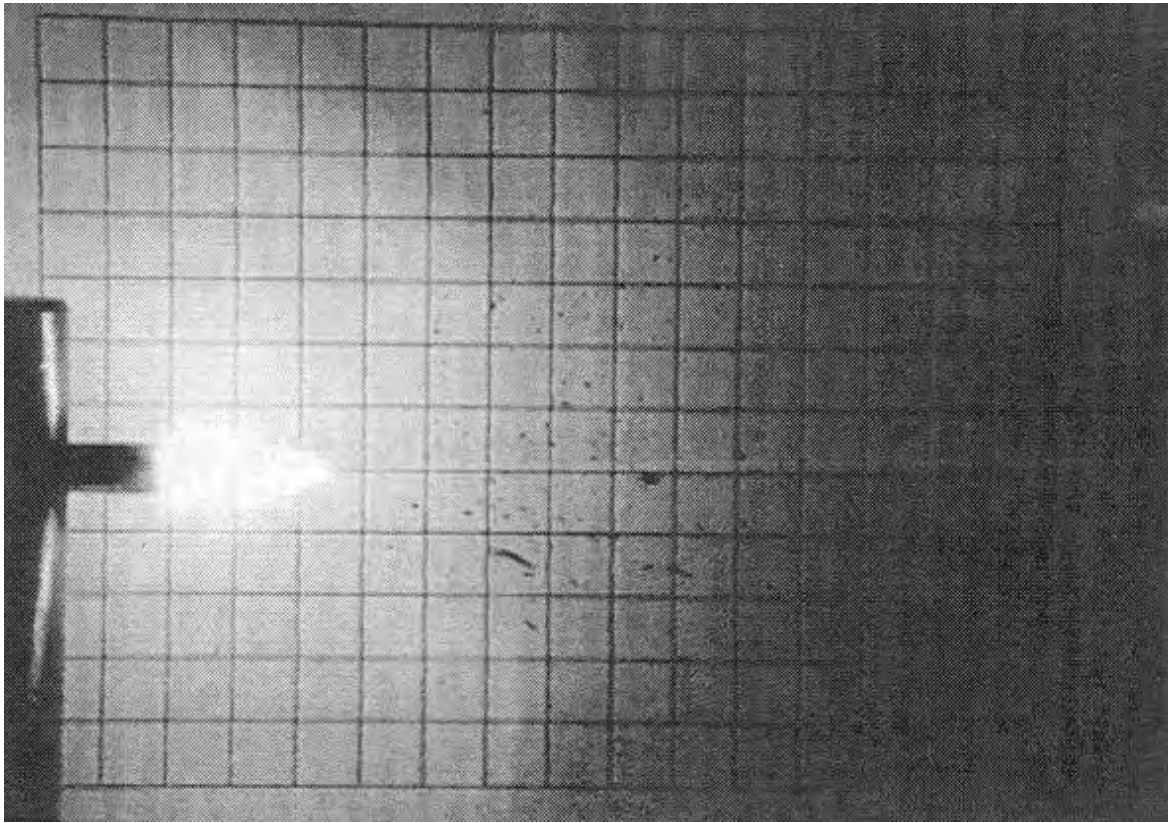
Praktiska skjutförsök med spårlyusammunition har hittills tytt på att man får tändning med hög sannolikhet på olika skjutavstånd utan att man dock analyserat varför. Man har även fått tändning vid skjutning med vanlig projektil utan spårlyus.

Lågan från spårlyuset

FOA har av fabrikanten, Bofors Carl-Gustaf AB, fått 7,62 mm projektiler, laddade med konventionell fördröjningssats och spårlyussats (spårlyusprojektil 10) samt endast spårlyussats (spårlyusprojektil FFV 553)

Lågans utseende vid brinnande spårlyus videofilmades mot en bakgrund med måttlinjer, figur 1. Projektilen var härvid till halva längden insatt i en stålcyllinder. Spårlyussatsen tändes med en liten acetylen/syrgas-brännare med spetsig låga.

Lågans utseende skilde sig ej mellan de två olika spårlyusprojektilvarianterna. Diametern på lågan var ca 10 mm, längden varierade inom ca 15 - 40 mm. Under brinnförloppet kastades då och då glödande partiklar ut.



Figur 1. Lågan från spårljuset, raster 1x1 cm.

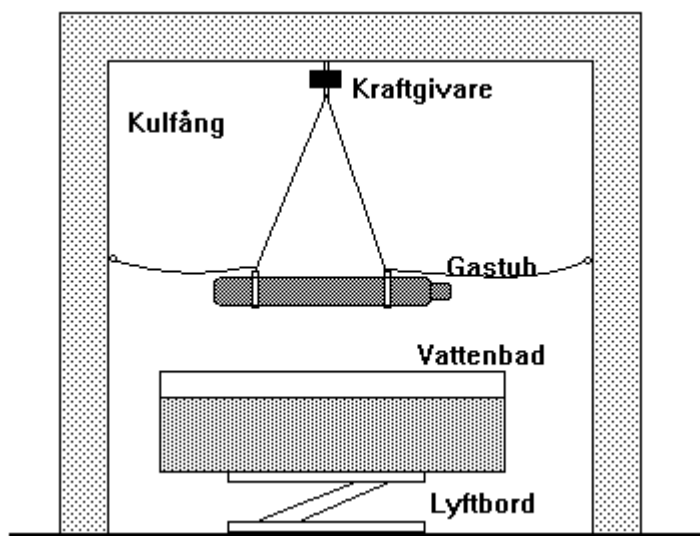
Den sats som används i spårljuset är en röd lyssats med högt förbränningsvärme, ca 8 MJ/kg. Temperaturen i den hetaste zonen är ca 4000 K.

UTSTRÖMMAD ACETYLENMÄNGD PER TIDSENHET VID 20 °C OCH 65 °C

Acetylen i en acetylenkastub är löst i aceton som i sin tur är uppsugen i en porös massa. Gasen löses under tryck. En fylld flaska har vid rumstemperatur, ca 20 °C ett tryck av ca 17 bar.

Tidigare beräkningar gav att ca 15 g acetylen strömmar ut per sekund ur ett 8 mm hål efter genomskjutning av en acetylenkastub med AK 4. Projektilen går inte tvärs genom gastuben utan fastnar inne i den efter passage av en flaskvägg. Vid beräkningarna kunde ej hänsyn tagas till lösningsjämvikten mellan acetylen i gasfas och i acetonfas och därtill hörande avkokningshastighet. Beräknat värde blir därför troligen högre än vad som fås i praktiken.

För att bestämma verklig utströmningshastighet besköts acetylentuber hängande i kraftgivare, figur 2.



Experimentella data

Kraftgivare: Bofors KRG-1S 100kp, Br1

Mätförstärkare: Endeeco 4470 med förstärkarkort 4476.2A

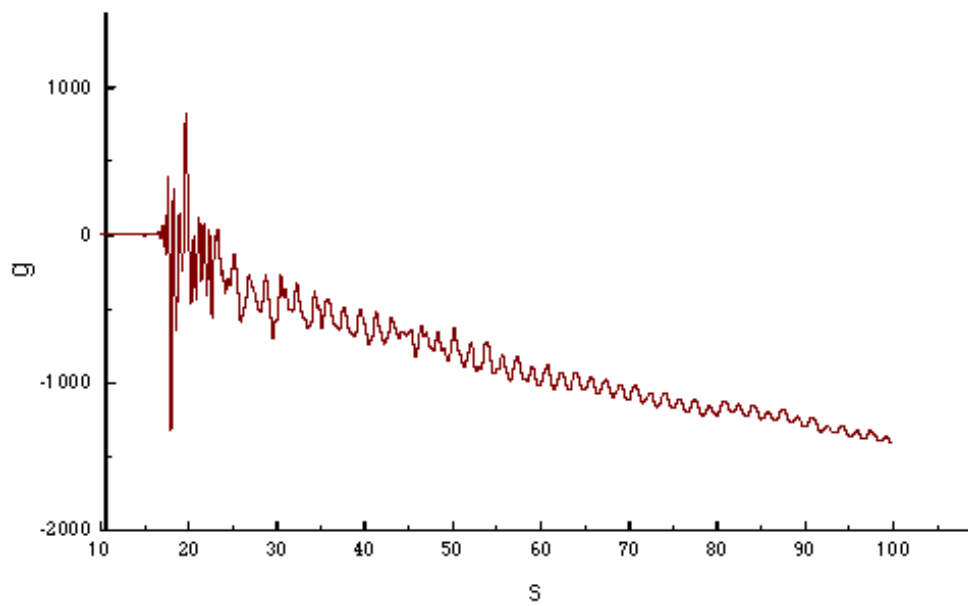
Transientrecorder: Kontron WW700
samlingsintervall 5 ms

Figur 2. Försökssupställning vid bestämning av utströmmad gasmängd per tidsenhet

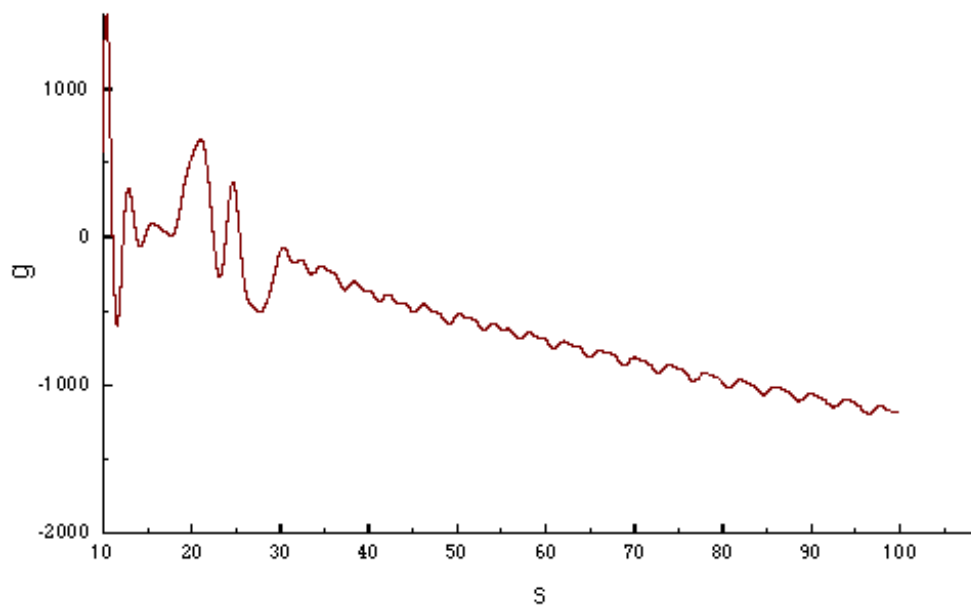
Försök gjordes dels vid vanlig temperatur, 20 °C, dels vid 65 °C. Den senare temperaturen medför att tuben är stumfylld av i flaskan befintlig aceton.

Före genomskjutning vid 65 °C tempererades gastuberna i ett 500 liters vattenbad under 12 min för flaskstorlek A 20 och 15 min för flaskstorlek A 40. Vattenbadet sänktes ned med ett fjärrmanövrerat lyftbord före skott.

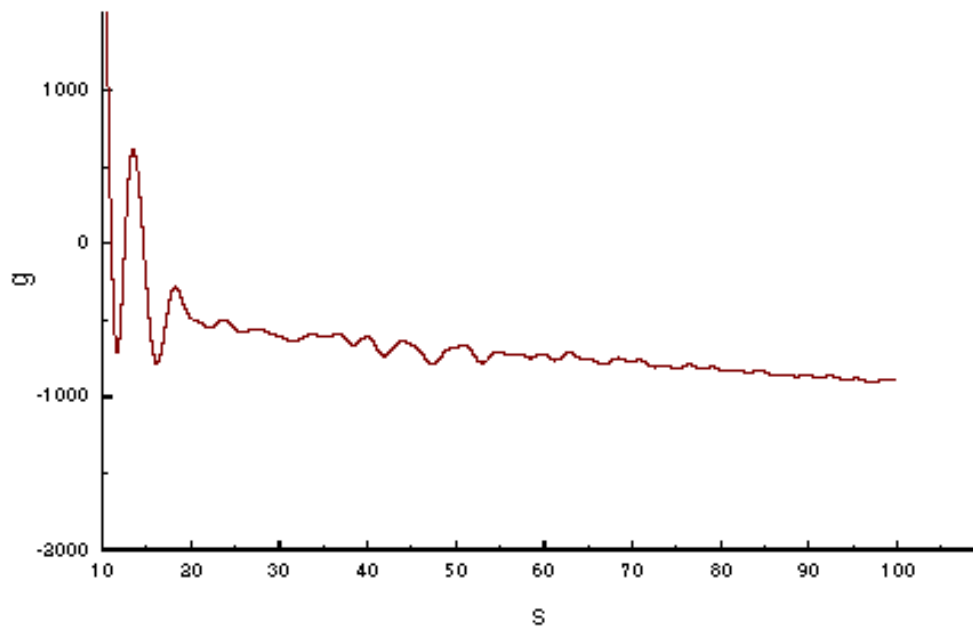
Efter genomskjutning strömmar acetylen och en viss mängd aceton och fyllmassa ut genom ingångshålet (synlig på filmupptagningarna som en ljusgrå rök). Den totalt utströmmade mängden substans (acetylen + aceton) per tidsenhet åskådliggörs i diagrammen nedan.



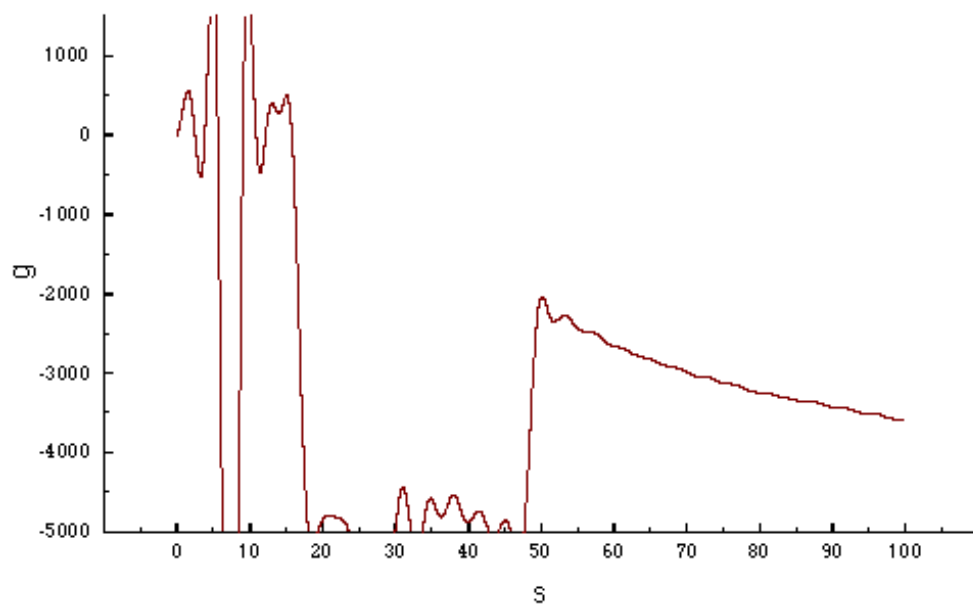
Figur 3. Viktminskning tub A 20, 20 °C



Figur 4. Viktminskning tub A 40, 20 °C



Figur 5. Viktminskning tub A 20, 65 °C
OBS 2 kulhål, 1 nästan pluggat, 6 s tidsmellanrum



Figur 6. Viktminskning tub A 40, 65 °C
OBS. 2 kulhål, 1 50 % större, 3 s tidsmellanrum

Ur registreringarna framgår att viktnskningen per tub och kulhål är **som mest ca 0,5 kg per 30 s vid 20 °C** och **ca 0,7 kg per 30 s vid 65 °C**.

Detta stämmer numeriskt med tidigare gjorda beräkningar. Hur stor del av vikten som utgörs av utströmmad aceton har inte kunnat skattas.

HUR SKER TÄNDNING?

Beskjutning av acetylentuber med AK 4 filmades samtidigt med tre kameror:

Video SVHS

High speed colour video 500 och 1000 bilder per sekund

"Vanlig" high speed kamera med 1000 bilder per sekund

Ur filmupptagningarna framgick att normalförloppet vid genomskjutning ser ut så här:

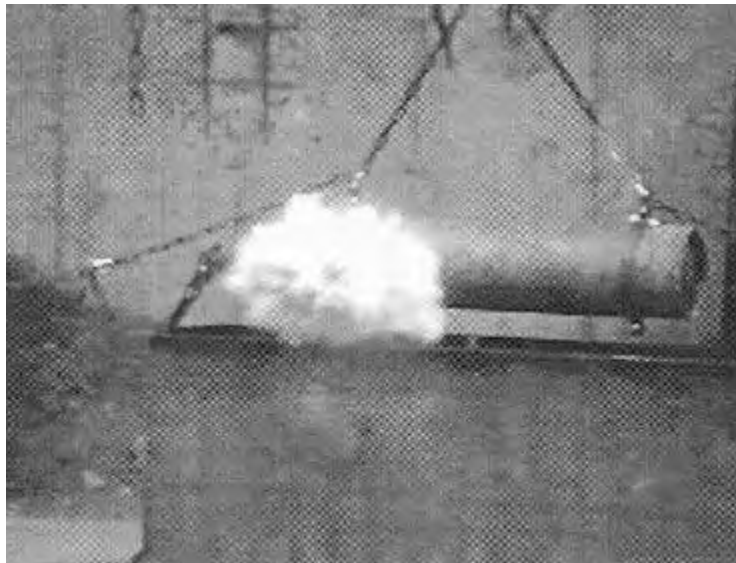
Träff

Utströmning av grå rök (acetylen och aceton-aerosol)

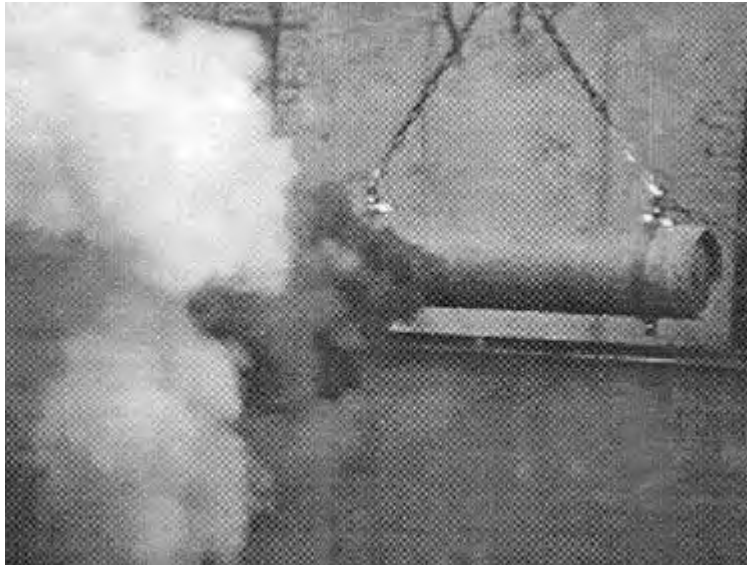
Svart rök nära ingångshålet

Yttre flamma

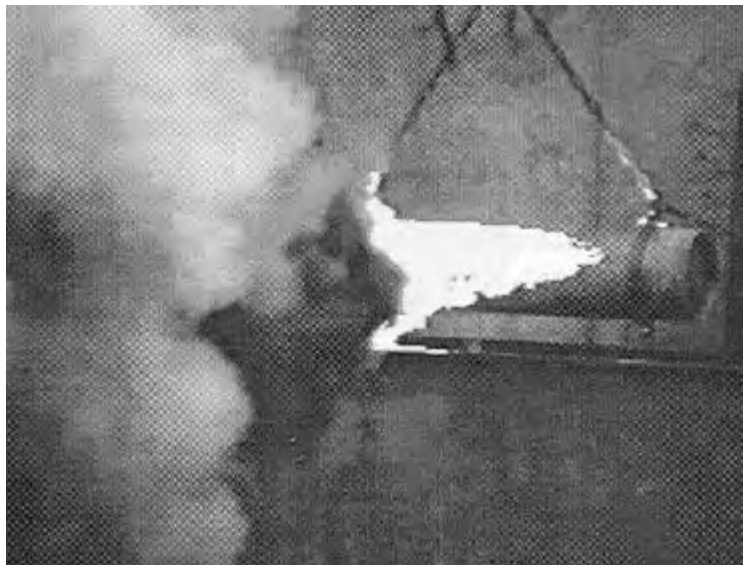
Tiden mellan träff och yttre flamma uppgick till ca 0,3 s för båda testade flaskstorlekar, A 20 och A 40.



Figur 7. Acetylentub A 40 0,02 s efter träff.
Utströmning av acetylen + aceton



Figur 8. Acetylentub A 40 0,23 s efter träff
Svart rök (sot) omedelbart före yttre flamma



Figur 9. Acetylentub A40 0,28 s efter träff.
Tändning av yttre flamma



Figur 10. Acetylentub A 40. Fullt utbildad flamma

Tändning erhöles med standardammunition (dvs utan spårlyus) 1 gång av 3, med spårlyus 5 gånger av 5. På grund av skjutavståndet sköts 4 av 5 spårlyus med slprj FFV 553, som brinner från mynningen och framåt utan mörkersträcka.

De tre gånger som standardammunition användes var magasinet dessutom laddat med en efterföljande spårlyuspatron. I de två fall som ej gav tändning med standard-ammunition avlossades spårlyuspatronen. Tändning skedde härvid.

Den tid det tog att upptäcka att tändning ej skedde och att skjuta ytterligare ett skott bestämdes ur filmupptagningarna till 3 respektive 6 s. Vapnet var härvid fast inriktat i skjutstol - ingen ominriktning behövde göras.

Antändning av acetylgasen verkar av filmerna att döma att **starta inne i tuben**. En trolig anledning till tändning är följande:

Vid genomslag av gastuben sker en dekompression. Acetylen strömmar ut och rycker med sig aceton.

Löst acetylen bildar bubblor i acetonet i gastuben

Bubblor framför projektilen komprimeras och värms upp. Ytterligare uppvärmning sker vid projektilens bromsning i fyllmassan. Vid spårljus bidrar lyssatsens värmeavgivning att värma upp utskild acetylen.

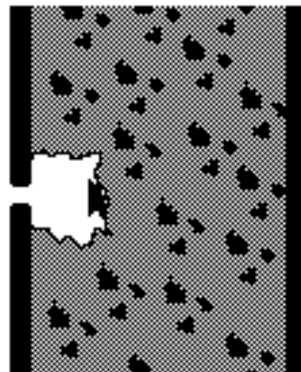
Ett sönderfall av acetylen till hydrogen och sot startar längs projektilspåret.

När sönderfallszonen når ingångshålet antänds acetylen, hydrogen och aceton-aerosol och en yttre flamma uppkommer.

Det som stöder vad som sagts ovan är dels iakttagen tidsfördröjning från träff till dess yttre flamma uppkommer (bromstid för projektil plus gångtid för sönderfalls-zonen från sönderfallsstart inne i tuben någonstans i projektilspåret till ankomst till projektilhålet) och iakttagen svart rök (sot från acetylenets sönderfall utan syre) omedelbart före synlig flamma.

För att initiering av projektil utan spårljus skall lyckas krävs troligen kort broms-sträcka inne i tuben, så hög anslagshastighet som möjligt (i praktiken ett kort skjutavstånd och träff mitt på tuben) samt så högt flasktryck som möjligt. Antagligen krävs dessutom att projektilen efter passage av gastubens vägg blivit deformerad så att en mer eller mindre flat anslagsyta uppkommit.

En gastub A 20 sågades av efter utförda försök ca 3 cm under ingångshålet. Det kunde härvid konstateras att kulan bromsats helt efter ca **5 cm inträngning** i fyllmassan och att en mindre kavitet, diameter ca 5 cm, utbildats bakom ingångshålet. Fyllmassan består av dels träkolsstycken, dels av en kontinuerlig matris, se figur 11, nedan.



Figur 11. Kulan stannar ca 5 cm bakom ingångshålet. En kavitet, diameter ca 5 cm, bildas bakom ingångshålet

Inga tecken på sönderfall av acetylen (sot-avskiljning) kunde iakttagas i fyllmassan utanför skottkaviteten.

EXPLOSION AV 0,5 KG ACETYLEN INNE I DELVIS STÄNGD LOKAL

För att studera **vad** som **skulle hända** om man sköt på en acetylentub **inne i en lokal** genom de öppna dörrarna men **det första skottet ej ledde till tändning** utan först det andra, **30 s senare**, gjordes följande försök.

Lokalen hade en golvyta av 47 m^2 och en volym av 165 m^3 och en avlastningsyta via dörrar och fönster av 4 m^2 .

Vi valde att släppa ut känd mängd gas från tub i stället för att skjuta hål på en gastub och skjuta ett nytt skott efter 30 s. Skälet till detta var i första hand svårigheten att säkert skjuta hål på tuben utan att gasen antändes, i andra hand att få säkrare värden på mängden utströmmad gas.

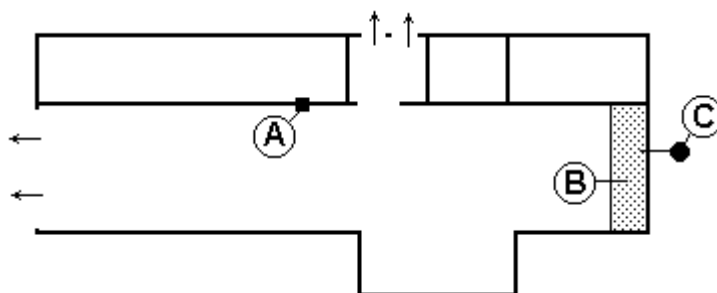
Acetylen fördes in i lokalen genom en slang från en acetylentub utanför lokalen. Mängden utströmmad acetylen vägdes genom att hänga acetylentuben i en kraftgivare (Bofors KRG-S # 014).

Vid försök visade det sig att det inte gick att få ut 0,5 kg acetylen på 30 s genom ordinarie avstängningsventil + en ansluten fjärrmanövrerad ventil, strypningen var för stor. Av detta skäl avskärmades lokalen med plastfilm (byggplast) mellan golv och tak och från vägg till vägg nära platsen för utsläpp av acetylen. Den avspärrade volymen var vald så att stökiometrisk blandning av acetylen och luft skulle uppkomma vid ett utsläpp av 0,5 kg acetylen.

Tändning skedde med en elektrisk tändpärla, förstärkt med 1g bor/kaliumnitrat-sats, placerad på golvet och med tändlågan riktad uppåt.

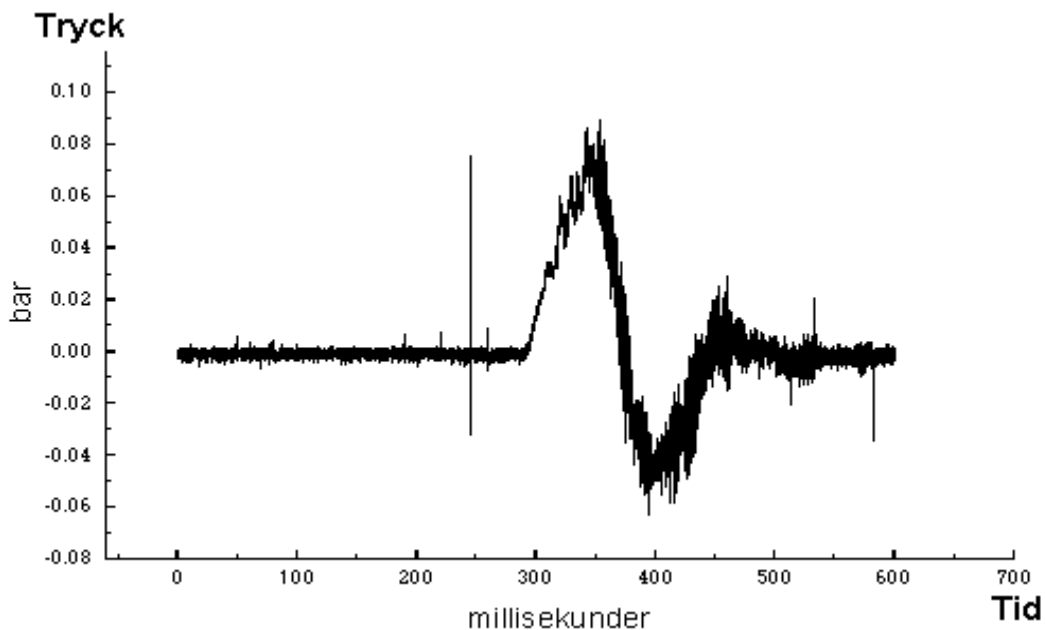
Försöket filmades med videokameror, dels från en tänkt skytts plats, dels från sidan.

Trycket i lokalen registrerades med en tryckgivare (Statham # 52543 +/- 25 psid), monterad i en plåt som täckte en genomföring till ett intilliggande rum. Trycksignalen spelades in på en transientrecorder Kontron WW 700, samplingshastighet 100 ms, total insamligstid 2,5 s.



Figur 12. Försökslokal för acetylenexplosioner.
A Tryckmätare. **B** Stökiometrisk acetylen/luftblandning
C Acetylen-gastub, upphängd i kraftgivare.

Det tryck som uppmättes vid explosionen framgår av figur 13 nedan.



Figur 13. Tryck i försökslokalen vid explosion av 0,5 kg acetylen i blandning med luft, stökiometrisk blandning i 5,6 m³ delvolym.

Notera de förhållandevis långa tiderna för över- och undertryck! På video-filmerna ser man hur dörrarna följer med gasströmningen: dörrarna stängs - öppnas.

Tryck/tid-förloppet stämmer dåligt med i tidigare rapport (SRV R64-112/95, *Beskjutning av acetylen gasflaskor inomhus*) gjord prognos. I prognosen angavs ett tryckmaximum av 70 kPa (0,7 bar) och en tryckstegringstid av 7 ms för övertrycksfasen för en lokal med volymen 105 m³ och avlastningsarea 4 m². Här erhöles 8 kPa (0,08 bar) och en tryckstegringstid av 60 ms för en lokal med volym av 165 m³ och en avlastningsyta via dörrar och fönster av 4 m². En möjlig förklaring är att tryckstegringshastigheten i slutet rum inte är samma som för hydrogen, vilket antogs i rapporten (i avsaknad av experimentellt bestämt värde), utan klart lägre.

Skadeverkan på byggnaden

Det låga trycket till trots blev skadeverkningarna på byggnaden avsevärda. Takbelysningen revs ned, puts på väggar revs ner, en innervägg trycktes in ca 5 cm, skador på väggputs uppstod i angränsande rum, takarmatur revs ned i angränsande rum. Brand uppstod efter explosionen i nedriven byggplast.

Det verkar som om undertrycket efter det första övertrycket stod för huvuddelen av putsskadorna - putsen var lagd över porösa träfiberplattor med hög andel luft.

Den innervägg som trycktes in var av lättbetong. För lättbetongväggar räknar man normalt med skador vid tryck mellan 5 och 10 kPa och varaktigheter över ca 50 ms.

Om vi överför resultaten till en vanlig mindre verkstad eller garage med väggar och tak i lätt konstruktion (reglar och panel) innebär detta att byggnaden (liksom innerväggar i försöket) går sönder.

Med hänsyn till vunna erfarenheter ansågs det ej nödvändigt eller lämpligt att fortsätta försöken med en större mängd acetylen i samma försökslokal.

Tidigare slutsats i SRV rapport står därför fast: **Det är ej lämpligt att skjuta på acetylenkastuber inne i små lokaler av typen garage eller mindre verkstad.**



Figur 14. Explosion av 0,5 kg acetylen inne i en lokal med volym 165 m^3 och avlastningsarea 4 m^2 .

FÖRSLAG TILL REGLER VID BESKJUTNING AV ACETYLEN- FLASKOR INOMHUS

1. Lokalens volym skall vara minst ca 1000 m³ om byggnadsskador skall undvikas. Vid byggnad utförd i armerad betong gäller minst ca 500 m³.
2. Alla dörrar och fönster till lokalen skall vara öppna.
3. Vapnets magasin skall vara laddat med fullt magasin, spårljusammunition.
4. För att undgå att träffas av utkastade splitter vid tändning först efter andra eller senare skott väljs ett skjutavstånd minst lika med lokalens största mått räknat från den dörr- eller fönsteröppning genom vilken man avser skjuta.