



Explosionsrisker vid utskjutning av granater

En litteraturgenomgång av problematik med Setback-initiering

HENRIC ÖSTMARK OCH MAGNUS BERGH

Henric Östmark och Magnus Bergh

Explosionsrisker vid utskjutning av granater

En litteraturgenomgång av problematik med Setback-initiering

Titel	Explosionsrisker vid utskjutning av granater. En litteraturgenomgång av problematik med Setback-initiering.
Title	Risks associated with gun launch. A literature study of setback initialiation.
Rapportnr/Report no	FOI-R--4705--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2018
Sidor/Pages	21 p
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	11. Vapen, Skydd och säkerhet
FoT-område	Vapen och skydd
Projektnr/Project no	E60881
Godkänd av/Approved by	Torgny Carlsson
Ansvarig avdelning	Försvars- och säkerhetssystem
Exportkontroll	Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen.

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk, vilket bl.a. innebär att citering är tillåten i enlighet med vad som anges i 22 § i nämnd lag. För att använda verket på ett sätt som inte medges direkt av svensk lag krävs särskild överenskommelse.

This work is protected by the Swedish Act on Copyright in Literary and Artistic Works (1960:729). Citation is permitted in accordance with article 22 in said act. Any form of use that goes beyond what is permitted by Swedish copyright law, requires the written permission of FOI.

Sammanfattning

Denna rapport är en inledande litteraturgenomgång av problematiken med prematur initiering av granater vid utskjutning på grund av kaviteter/sprickor i sprängämnesladdningen (smältgjutna och kompositmaterial). Den avser att ge en översikt av kunskapsläget i Sverige och internationellt, slutsatser samt rekommendationer hur man kan gå vidare för att minimera sannolikheten för framtida olyckor. Rapporten innehåller följande delar; bakgrund, fysikalisk definition av problemet, sammanställning av mätmetoder, internationellt samarbete samt slutsatser och rekommendationer.

Nyckelord:

Utskjutning, Setback, ammunitionssäkerhet, initiering

Summary

This report is a literature study of launch ignition caused by cracks and/or voids in the explosive charges. It will give an overview of the level of knowledge national and international. The report includes background, physical definition of the setback ignition phenomena, international collaboration, conclusions and recommendations.

Keywords:

Launch, setback, ignition, ammunition safety

Innehållsförteckning

1	Inledning	6
2	Möjliga fysikaliska processer som kan leda till initiering	9
3	Testning	12
4	Slutsatser och Rekommendationer	13
5	Referenser	14
	Appendix 1 Maximala projektilaccelerationer i svenska eldrörsvapen	16
	Appendix 2 Mötesanteckningar MSIAC	21

1 Inledning

Vid all användning av kanoner (artilleri, stridsvagns/stridsfordonskanoner maritimt artilleri, luftvärnsartilleri granatkastare mm) finns det en risk för vådaintiering vid laddning och avfyring. Denna vådaintiering kan uppkomma på grund av en antal olika orsaker:

- Fel på ammunitionen
 - Fel på tändaren (Ravlunda 1969, Nåttarö 1984)
 - Fel på laddningen (Grytan 1969, Kungsängen 1971)
 - Fel på granaten (Kungsängen 1971)
- Pjäsfel (materialfel)
- Handhavandefel

I Sverige accentuerades problemet med laddningsfel i och med den allvarliga olycka som skede på Grytans skjutfält 1969 [1, 2], den så kallade Grytanolyckan. Vid denna olycka omkom två personer. Olyckan berodde på en loppkrevad orsakad av kaviteter i laddningen. Grytanolyckan ledde till en intensiv utrednings och forsknings insats i Sverige på 1970- och början av 1980-talet [2-5]. Vid Kungsängsolyckan 1971 [6] var också gjutfel en de två mest sannolika olycksorsakerna, även här omkom två personer. Vid Ravlunda- [7, 8] och Nåttaröolyckorna var olycksorsaken tändarfel.

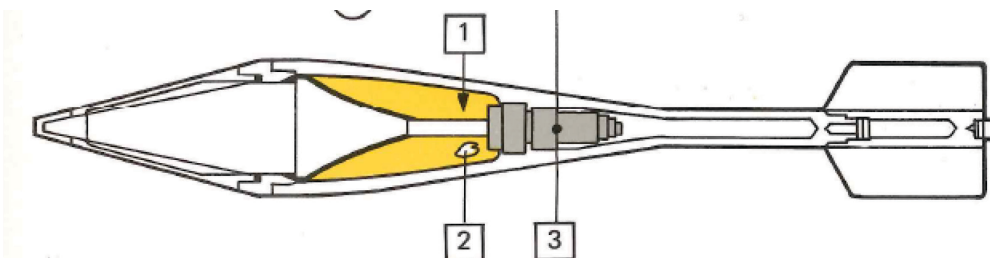


Bild 1 Pjäsplatsen i Grytan efter olyckan [2].



Bild 2. Fragment av eldröret i Grytan [2].

Förutom Grytanolyckan så var en av de troliga olycksorsakerna även vid Kungsängsolyckan en gjutdefekt i granaten, se Figur 1.



Figur 1. Skiss på 9 cm PV-Granat med möjlig gjutdefekt [6].

Den internationella sammanfattade termen för problemet med vådainitiering av sprängämnet vid utskjutning är setback-initiering¹ (eng. *setback initiation*) och då det också tidigare använts i Sverige har vi valt fortsätta att använda uttrycket. Setback-initiering har studerats under lång tid. Tidiga studier är de av Jablansky (Picatinny Arsenal, 1955) [9] och O'Brian (National Northern, 1956) [10]. Rapporterna var tyvärr hemliga till 1981 och hade information varit mera känd är det möjligt att olyckor kunnat undvikas.

Problematiken med setback-initiering togs upp av Dr Baker från MSIAC [11] vid 2018 års Insensitive Munitions and Energetic Materials Technology Symposium där han konstaterade att det fortfarande inte finns några internationella accepterade testmetoder eller standarder inom området samtidigt som problematiken och risken för olyckor kvarstår.

Denna rapport är en inledande litteraturgenomgång av problematiken med kaviteter/sprickor i sprängämnesladdningar (smältgjutna och kompositmaterial). Den avser att ge en översikt av kunskapsläget i Sverige och internationellt, slutsatser samt rekommendationer hur man kan gå vidare för att minimera sannolikheten för framtida olyckor. Rapporten kommer ej att innehålla någon analys av kravställning på sprängämne, gjutkvalitet eller rekommendation för olika applikationer. Dessa frågeställningar bör dock behandlas i fortsatt arbete.

Rapporten kommer att innehålla följande delar; bakgrund, fysikalisk definition av problemet, sammanställning av mätmetoder, internationellt samarbete samt slutsatser och rekommendationer.

¹ Definition av Setback ="Oavsiktlig initiering under utskjutning på grund av mekanisk defekter i stridsdelens laddning."

2 Möjliga fysikaliska processer som kan leda till initiering

Problemet med setbackinitiering kan delas in i tre delar; miljön granaten utsätts för innan och under utskjutning (temperatur, tryck och acceleration), eventuella defekter i laddningen och granaten samt de möjliga fysikaliska och kemiska processer som kan leda till en oavsiktlig initiering. En bra översikt och sammanställning av setback-initiering är utgiven av MSIAC [11, 12].

De miljöfaktorer som är av betydelse vid utskjutning är normalt kända eller så kan de relativt enkelt uppskattas. Viktigast av dessa är:

- max eldrörstryck (trycket på bakstycket),
- lineär acceleration (max acceleration vid utskjutning),
- rotationsacceleration pga. eventuell räffling av eldröret, och
- temperatur och eventuell temperaturökning pga. eldrörets temperatur.

Typiska tryck och accelerationer vid utskjutning redovisas i Tabell 1. När en projektil accelereras vid utskjutning är den faktiska tryckprofilen i explosivämnet mindre än trycket från krutgaserna på projektilen. Detta då explosivämnet är accelererat av projektilen och ej direkt av krutgaserna. Ytterst få mätningar av det faktiska setback-trycket i explosivämnet har gjorts [13].

Tabell 1. Maximalt tryck och acceleration vid utskjutning [14].

Kanontyp	Max Projektil Acceleration (kG ²)	Max Tryck (MPa)
Artilleri	4-30	70-500
Granatkastare	1-13	20-140
Stridvangskanon	25-120	200-830
Mellankaliberkanon	50-200	140-1400

I Appendix 1 redovisas maximalt tryck och maximal acceleration för kaliberbundna svenska vapensystem och ammunition, data redovisade där bygger på uppgifter från FMVs ammunitions katalog [15]. Denna tabell är inkluderad för att ge en uppfattning av var riskerna finns i svenska vapensystem.

Det är inte bara sprängämnet som är utsatt för krafterna vid utskjutning utan även eventuellt drivämne (t.ex. vid kanonutskjutna robotar och basflödesgranater) och pyrotekniska satser (t.ex. ljus och rök), dessa utgör emellertid en mindre risk för olycka men de måste beaktas främst ur funktionssynpunkt. Inledande studier på setback-mekanismer för pyrotekniska satser ges i referens [16].

Det är osannolikt att explosivämnet i en granat reagerar vid utskjutning och orsakar en olycka om det ej finns defekter i laddningen [12].

Möjliga defekter i explosivämnet kan vara:

² G=9,81m/s²

- hålrum³ (0.1- flera millimeter) är vanliga i explosiva laddningar,
- sprickor, som kan uppkomma i explosivaladdningar på grund av att explosivämnet krymper då det stelnar, åldras eller hanteras felaktigt,
- porositet (densitetsskillnader),
- kaviteter (större än hålrum), som kan uppkomma pga. fel vid tillverkningen av granaten (t.ex. genom volymminskning vid stelning eller luftinneslutning),
- geometriska diskontinuiteter, t.ex. sprickor i granatväggen,
- spalter (särskilt bottenspalter),
- främmande föremål, som kan komma in i laddningen under tillverkningen tex skruvar, verktyg, sten och grus

Eventuella defekter kan leda till en oavsiktlig initiering pga. den miljö granaten utsätts för vid utskjutning. I Tabell 2 ges exempel på möjliga mekanismer att generera energi och härigenom höja temperaturen i explosivämnet. En eller flera av dessa mekanismer kan generera en temperatur- och tryckökning som i sin tur kan leda till initiering.

Tabell 2 Möjliga mekanismer till energideposition i explosivämne.

Initieringsmekanism	Beskrivning	Referenser
Gaskompression	När gas komprimeras så snabbt att värmen inte kan ledas bort effektivt leder detta till en temperatur höjning av intilliggande explosivämne.	[17-21]
Bottenspalt-Adiabatisk kompression	För en bottenspalt är den enda rimliga [12] initieringsmekanismen adiabatisk uppvärmning av luften.	[21-23]
Skjuvning	När en kavitet kollapsar leder detta till energilokalisering och en hög lokaliserad temperatur.	[20, 22, 24-29]
Friktion	Friktion kan förekomma mellan granat-hölje och explosivämne pga. rotation eller pga. främmande föremål i explosivämnet. Friktion kan också förekomma i sprickplan.	[22]
Plastisk deformation	När ett explosivämne komprimeras genereras värme.	[22, 28, 29]

Ett flertal sprängämnen har studerats med avseende på känslighet för setback-initiering och härvid har olika metoder använts. I Tabell 3 ges en sammanställning. Generella slutsatser om sprängämnets lämplighet för utskjutningsapplikationer kan emellertid ej dras, utan man måste göra en bedömning för den specifika projektilen i en specifik utskjutningsmiljö (för svenska system se Tabell i Appendix 1).

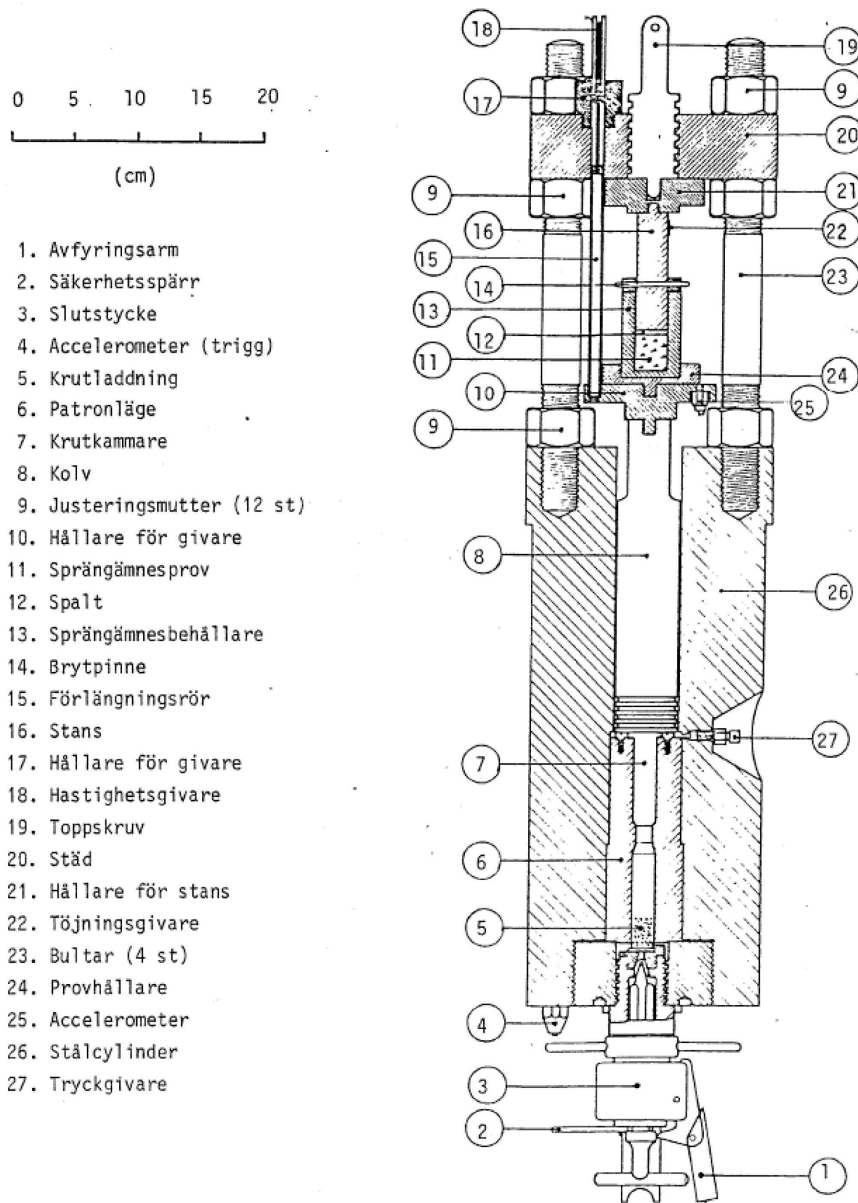
³ eng. voids

Tabell 3. Sprängämnen studerade med avseende på känslighet för setback-initiering.

Sprängämne	Referens
TNT	[26, 30]
Hexotol (Comp B)	[10, 26, 30-32]
Oktol	[5]
Comp A3	[26]
LX-14	[26]
PBXW-113	[26]
PBX-0280	[26]
Hexotonal	[5]
Oktonal	[5]
ANFO	[4]
B2211D	[20]
PBXN109	[33]

3 Testning

I samband med olycksutredning av Grytanolyckan och baserat på kunskap i Sverige och internationellt drogs slutsatsen att testning var den enda framkomliga vägen att bestämma riskerna för setback-initiering. Då fullskaliga tester ej normalt är möjliga så har det i Sverige [4, 5] och internationellt [9, 12, 21, 26, 30, 32, 34-36] utvecklats ett flertal experimentella metoder för att simulera setback-initiering. I Figur 2 ges en översiktlig skiss av den svenska setback-simulatorn.



Figur 2. Svenskutvecklad setback simulator [4, 5].

Det finns emellertid idag ingen nationellt eller internationellt överenskommen standardmätmetod för att bedöma lämpligheten av sprängämnen för utskjutningsapplikationer. NATO AC/326 Subgroup A, med stöd från MSIAC, har emellertid startat en arbetsgrupp, *Gun Launch Setback Ignition Study Working Group*, för att komma tillrätta med detta.

4 Slutsatser och Rekommendationer

Risken för vådainitiering på grund av defekter i laddningen kommer att kvarstå i befintliga och framtida vapensystem. Problemet med initiering av granater vid utskjutning kommer att kvarstå även vid en övergång till platsbundna explosivämnen (eng. *plastic bonded explosives, PBX*) i stridsdelen. Initieringsmekanismerna kan dock vara andra och ett tillkommande problem med plasten i PBXerna är att den åldras och härigenom får ändrade mekaniska egenskaper över tiden, vilket måste beaktas. Det finns idag ingen nationellt eller internationellt överenskommen standard-mätmetod för att bedöma lämpligheten av sprängämne för utskjutningsapplikationer.

Komplexiteten hos setback-initieringsmekanismerna medger ej att fenomenet kan utredas med enbart modellering, utan testning är för närvarande den enda möjligheten att minimera riskerna för initiering. Testningen genomförs bäst med en experimentell setback-simulator kombinerad med modellering.

Rekommendationer är att

- Sverige fortsätter att medverka i internationella samarbeten, t.ex. NATO AC/326 Subgroup A Gun Launch Setback Ignition Study Working Group,
- kompetensen om setback-initiering återtas,
- metoder för att experimentellt simulera och modellera setback-initiering tas fram, samt att
- kvalitetskontroll av nya och befintliga laddningar genomförs med avseende på mekaniska defekter i laddningarna.

5 Referenser

1. *Expertgruppen för Grytanolyckan 1969, Slutrapport.* 1971, Försvarets Materielverk, FMV FMV A:VA A684/24/71
2. *Spaltgruppen Slutrapport.* 1982, Försvarets Materielverk A:A A761/3/82: Stockholm
3. Listh, O. *Effects of Confinement and Initial Pressure on the Deflagration of some High Explosives.* in *Proceedings Sixth Symposium (International) on Detonation.* 1976. Coronado, California, US: Office of Naval Research.
4. Listh, O., *Setback Testing of ANFO and Water-Based Explosives.* Propellant and Explosives, 1978. **3**(1-2): p. 36-41.
5. Listh, O., *Chockkänslighet (Setback Test) för gjutkroppar av Hexotonal, Oktol och Oktol.* 1982, Försvarets Forskningsanstalt C"0449-D1: Stockholm
6. *EXPERTGRUPPEN för Kungsängen-olyckan (loppbristad i 9cm pvpjäs) SLUTRAPPOORT.* 1973, Försvarets materielverk 1973-10-09 A:VA A684:80/73:
7. *Expertgruppen för Ravlundaolyckan 1969: Slutrapport.* 1970 FMV-A:VA A 684:24/71:
8. Blomqvist, G., et al., *Undersökningar av tändrör HK STIDAR M/51 med anledning av skjutolyckan i ravlunda.* 1970, Försvarets Forskningsanstalt (FOA) A1520-40: Stockholm
9. Jablansky, L. *Laboratory Scale Tests Device to Determine Sensitivity of Explosives to Initiation by Setback Pressure.* in *Report of the Conference on Explosives Sensitivity held at the U.S. Naval Ordnance Laboratory.* 1955.
10. O'Brian, A.W., *Setback Sensitivity Study.* 1956, National Northern NN-P-32: West Hanover, Massachusetts, US
11. Baker, E. *Gun Launch Setback and Laboratory Activator Tests.* in *IMEMTS 2018.* 2018. Portland, OR, USA.
12. Baker, E., *Use of laboratory setback activator test to assess suitability for gun launch.* 2017, MSIAC L-212: Bryssel
13. Collett, R.W., *Measurement of In-Bore Set-Back Pressure on Projectile Warheads Using Hard-Wire Telemetry.* International Telemetry Conference Proceedings, 1983. **19**.
14. Baker, E. and M. Sharp. *Gun Launch and Setback Actuators.* in *2018 Insensitive Munition & Energetic Materials Technology Symposium.* 2018. Portland, Oregon, US.
15. *AMMUNITIONSKATALOG DATA/BILD 2012,* F. Försvarets Materielverk, Editor. 2012: Stockholm.
16. Haynes, A.S., J. John, and A. Sherwood, *GUN LAUNCH DYNAMICS OF PYROTECHNIC MATERIALS.* Ballistics 2011: 26th International Symposium on Ballistics, Vol 1 and Vol 2, ed. E. Baker and D. Templeton. 2011, Lancaster: Destech Publications, Inc. 1048-1055.
17. Afanasev, G.T. and V.K. Bobolev, *Initiation of Solid Explosives by Impact.* 1971, Jerusalem Israel Program for Scientific Translations.
18. Bowden, F.P. and A.D. Yoffe, *Initiation and Growth of Explosions in Liquids and Solids.* 1952: Cambridge University Press.
19. Starkenberg, J., *Sensitivity of Several Explosives to Ignition in the Launch Environment,* in *Proceedings of Ninth Symposium (Int'l.) on Detonation.* 1989, Office of the Chief of Naval Research. p. 305-319.

20. Lécume, S., A. Lefrançois, and P. Chabin. *Structural and Chemical Changes in PBX Induced by Rapid Shear followed by Compression*. in *12th Detonation Symposium (international)*. 2002. San Diego, US.
21. Sandusky, H.W., H.R. Granholm, and E. Felts, J., *Survivability of Explosives with Dynamically Collapsing Cavities*, in *15th International Detonation Symposium* Office of Naval Research: San Francisco, CA, US. p. 34-43.
22. Bouma, R.H.B. and v.d.H. A., *Simulations of Deformation Processes in Energetic Materials*, in *Numerical Simulations of Physical and Engineering Processes*. 2011.
23. Meyers, T.F. and J. Hershkowitz *The effect of Base Gaps on Setback-Shock Sensitivities of Cast Composition B and TNT as Determined by the NSWC Setback-Shock Simulator*. in *Seventh Symposium (int.) on Detonation*. 1982.
24. Boyle, V., R.B. Frey, and O. Blake. *Combined Pressure Shear Ignition of Explosives*. in *Ninth Symposium (International) on Detonation*. 1989. Portland, Oregon, US.
25. Frey, R.B. *The Initiation of Explosive Charges by Rapid Shear*. in *Seventh Symposium (International) on Detonation*. 1981. Naval Surface Weapons Center,.
26. Starkenberg, J., D. McFadden, and D. Pilarski, *The sensitivity of several explosives to ignition in the launch environment*. 1990, Ballistic Research Laboratory Aberdeen proving ground BRL-TR-3095: Maryland, US
27. Tasker, D.G., *The Design of an Experiment to Study the Initiation of Explosives by Rapid Shear*. 1982, Propellants, Explosives and Rocket Motor Establishment Waltham Abbey, UK
28. Pinto, J. and D.A. Wiegand, *Yield and Plastic Flow in Composition B and TNT*. 1993, U.S. Army Armament Research, Development and Engineering Center ARAED-TR-92024: Picatinny Arsenal, New Jersey, US
29. Walley, S.M., N.E. Taylor, and D.M. Williams, *Temperature and strain rate effects on the mechanical properties of a polymer-bonded explosive*. Eur. Phys. J. Special Topics, 2018. **227** p. 127-141.
30. Taylor, B., J. Starkenberg, and L. Ervin, *An Experimental Investigation of Composition-B Ignition under Artillery Setback Conditions (U)*. 1980, US Army Armament Research and Development Command ARBRL-TR-02276:
31. Starkenberg, J., D. McFadden, and O. Lyman, *Cavity Collapse Ignition of Composition B in the Launch Environment*. 1986, US Army Ballistic Research Laboratory BRL-TR-2714: Aberdeen Proving Ground, Maryland, US
32. Cartwright, M. and P. Delany, *Design and Operation of a Small Scale Set back Test Simulator and its Use in Investigation into Composition B Filling Subjected to Hot Gun Scenarios*. Central European Journal of Energetic Materials 2009. **6**(1): p. 103-117.
33. Huntington-Thresher, W., et al., *Response of PBXs and Inert Substitutes in Launch and Impact Scenarios*.
34. Fishburn, B., *Design Modification and Calibration of the Picatinny Activator for Setback Safety Testing of SADARM*. 1992, Picatinny Arsenal ARAED-TR-92001:
35. Starkenberg, J., L. Ervin, and D. McFadden, *Air Compression Heating Ignition of High explosives in the Launch Environment*. 1986, US Army Ballistic Research Laboratory BRL-TR-2709: Aberdeen Proving Ground, MD, US. p. 34
36. Bélanger, C. and G.R. Walker, *DREV Setback Simulator: Design and Performance*. 1982, Defence Research Establishment DREV Report 4274/82: Valcartier, Québec, Canada

Appendix 1 Maximala projektilaccelerationer i svenska eldrörsvapen

För vapen med slutet bakstycke har det accelererande trycket på projektilen p_{prj} uppskattats mha Lagrange approximation av tryckgradienten, som används allmänt i 0D innerballistiska beräkningar,

$$p_{bak} = p_{prj}(1 + m_{lng}/2m_{prj})$$

där p_{bak} är trycket mot bakstycket (dvs där högsta trycket råder), m_{lng} drivladdningens massa och m_{prj} projektilvikt (total accelererad massa). Projektilens acceleration blir

$$\begin{aligned} a_{prj} &= F_{prj}/m_{prj} = p_{prj}A/m_{prj} = \frac{p_{bak}A}{(1 + m_{lng}/2m_{prj})m_{prj}} \\ &= \frac{p_{bak}A}{m_{prj} + m_{lng}/2} \end{aligned}$$

där F_{prj} är kraft på projektilen och A loppets tvärsnittsarea. Maximal projektilacceleration blir

$$a_{\max} = \frac{p_{\max}A}{m_{prj} + m_{lng}/2}$$

Försummande av motstånd mellan projektil och eldrör medför att $a_{\max}$ enligt ovan blir skattat lite för högt.

För bakblåsare, där det inte finns någon motsvarande enkel approximation av tryckgradienten, har använts

$$a_{\max} = \frac{p_{\max}A}{m_{prj}}$$

vilket medför en något större överskattning (~10 %) av $a_{\max}$.

Beteckningar, $p_{\max}$, m_{prj} respektive m_{lng} har tagits ur FMV:s Ammunitions katalog data/bild 2012 [15]. (Det är rimligt att Ammunitions katalogs $p_{\max}$ gäller för ”extrema förhållanden”, dvs. högsta temperatur, men det är inte bekräftat. För de tre-fyra fall där jämförelser finns tillgängliga verkar dock det vara så.)

Kolumnen *Ref* i Tabell A1:

1. $p_{\max}$ ur FMV:s Ammunitions katalog
2. $p_{\max}$ från tryckmätning (utan referens)
3. $p_{\max}$ från känd tryckmätning
4. $p_{\max}$ från innerballistisk beräkning
5. $a_{\max}$ från innerballistisk beräkning

Tabell A1. Maximal acceleration, beräknad/uppskattad enligt ovan. m_{prj} projektilvikt (total accelererad massa), m_{lng} drivladdningens massa, p_{max} ⁴, a_{max} maximal projektilacceleration.

Vapen	Projektil	m_{prj} (kg)	Laddn	m_{lng} (kg)	p_{max} (MPa)	a_{max} (km/s ²)	Ref	T (°C)
20 mm akan m/47D								
	20/41 SLÖVNPRJ 98	0.120		0.0320	330	762	1	
	20/41 SLSGR 71	0.121		0.0347	330	749	1	
	20/41 SLBRHPGR 95	0.120		0.0330	330	759	1	
27 mm akan m/85								
	27/85 SGR 06 VBAND	0.26		0.085	475	899	1	
	27/85 HPGR 07 VBAND	”		”	”	”	1	
	27/85 HPGR 06 VBAND	”		”	”	”	1	
	27/85 SLHPGR07VBAND	”		”	”	”	1	
	27/85 PPRJ 06 VBAND	”		”	”	”	1	
	27/85 ÖVNPRJ85VBAND	”		”	”	”	1	
40 mm apjäs Mk2, 40 mm akan m/70B								
	40/48 SLSGR484	0.98		0.5	450	460	1	
	40/48 SLSGR486	0.96		0.5	-	?	1	
	40/48 SLSGR487	-		0.5	450	?	1	
	40/48 SLSGR485M	0.96		0.5	450	467	1	
	40/48 SLSGR90	”		”	”	”	1	
	”, 1D ib-ber	”		0.48	405	425	4,5	21
	40/48 KULSGR 90	0.88		0.5	450	500	1	
	40/48 SLÖVNPRJ484C	0.96		0.46	450	475	1	
	40/48 SLÖVNPRJ 484D	”		”	”	”	1	
	40/48 ELDMARKPRJ48	0.85		0.46	450	524	1	
	40/48B KULSGR 95 LK	0.975		0.5	510	523	1	
40 mm apjäs Mk2								
	40/48 KULSGR87	0.88		-	450	?	1	

⁴ Amkat refererar pmax till en STANAG men preciserar inte vilken av flera olika definitioner som avses. Eftersom data i FMV:s Ammunitionskatalog lämnas av ansvarig för respektive system är det möjligt att olika definitioner har tillämpats.

Vapen	Projektil	m_{prj} (kg)	Laddn	m_{lng} (kg)	p_{max} (MPa)	a_{max} (km/s ²)	Ref	T (°C)
40 mm akan m/70B								
	40/48B SLÖVNPRJ 95	0.4		0.50	475	918	1	
	40/48B SLPPRJ 90	0.5		0.55	510	827	1	
	40/48B SLPPRJ 90 LK	”		”	”	”	1	
	40/48B SLPPRJ 01 LK	fel vkt		0.5	-	?	1	
57 mm allmålsbjäs Mk 2, Mk 3, Mk 3B								
	57/70 KULSGR92Z ZAR	2.4		1.19	324	276	1	
	57/70 SMGR70 FKS	2.7		1.10	300	236	1	
	57/70 KULSGR70 BARL	2.4		1.19	324	276	1	
	57/70 KULSGR 2000LK	2.4		1.14	435	374	1	
12 cm kanon strv 122								
	120/95 SLSGR 95	17.5		3.4	190	112	1	
	120/95 SLPPRJ 95	8		8	670	631	1	
	120/95 SLÖVNGR 95	17.5		3.4	190	112	1	
	120/95SLÖVNGR95 BARL	”		(” ?)	”	”	1	
	120/95 SLÖVNPRJ01	5.9		7.5	570	668	1*	
	”	”		”	460	539	3	21
	”	”		”	600	703	3	63
25 mm övningsvapen strv 122								
	25/98 SLSGR 98	0.185		0.08	360	785	1	
	25/98 SLÖVNPRJ 98	0.065		0.095	410	1789	1	
	25/98 SLSGR 98 BARL	0.185		0.08	360	785	1	

Vapen	Projektil	m_{prj} (kg)	Laddn	m_{ing} (kg)	p_{max} (MPa)	a_{max} (km/s ²)	Ref	T (°C)
8 cm grk m/84								
	80 SVINGGR80	4.35	6	0.1344	75	85	1	
	80 SVINGGR80 Z	”	”	”	”	”	1	
	80 RÖKVIINGGRANAT 10	3.74	6	0.1472	74	98	1	
	80 LYSVINGGR85	3.9	6	0.1344	75	95	1	
	80 ÖVNVINGGR29-32D	3.4	6	0.0399	43	63	1	
	80 LADDÖVNVINGGR	3.4	-	-	-			
12 cm grk m/41								
	120 SVINGGR58 Z	13.3	9	0.39	86	72	1	
	120 RÖKVIINGGR74	13.1	9	0.39	86	73	1	
	120 LYSVINGGR70	”	”	”	”	”	1	
	120 ÖVNVINGGR 42B	12.8	8	0.351	88	77	1	
	120 SVINGGR 86Z	13.5	8	0.81	140	114	1	
	”	”	”	”	111	90	2	21?
Strix, utan banmotor:	120PSVINGGR94 SLUFA	20.8	8	0.6405	94	50	1	
Strix, med banmotor:	”	24.4	”	”	101	46	1	
15,5 cm ARCHER								
	155 SGR77	43.4	6	16.44	275	101	1	
	155 SGR 77B BFL	42.2	6+	17.19	330	123	1	
	155 ÖVNGR54-77 Z	42.4	5	13.7	-	< 80 ?	1	
	155 mm Excalibur/Mk1	47.2	6+	17.19	325	110	1	
	155 mm Bonusgranat	45.1	6+	17.19	325	114	1	
	155 Bonusgranat Mk2	44.6	6+	17.19	325	115	1	

Vapen	Projektil	m_{prj} (kg)	Laddn	m_{lng} (kg)	p_{max} (MPa)	a_{max} (km/s ²)	Ref	T (°C)
BAK-BLÅSARE								
8,4 cm grg m/48, m/86								
	84/48B SGR58	2.1		0.38	65	< 172	1	
	84/48B SGR86	2.3		0.34	55	< 133	1	
	84/48F SLPSGR66	1.83		0.35	62	< 188	1	
	84/48F SLPSGR75	1.77		0.36	62	< 194	1	
	84/48B RÖKGR68	2.2		0.37	60	< 151	1	
	84/48B RÖKGR73	2.23		0.37	60	< 149	1	
	84/48B RÖKGR81	”		”	”	”	1	
	84/48B LYSGR82	2.2		0.4	60	< 151	1	
	84/48B SLÖVNPRJ56C	1.75		0.38	50	< 158	1	
	84/48 SLÖVNPRJ66B	1.83		0.38	60	< 182	1	
	84/48B SLÖVNPRJ66B	1.83		0.38	64	< 194	1	
	84/48B ÖVNPRJ66C	1.83		0.38	60	< 182	1	
	84/48B ÖVNPRJ56D	1.75		0.38	50	< 158	1	
	84/48B SGR00	-		0.4	79	?	1	
	84/48B SGR00B	”		”	”	”	1	
Pansarskott 86								
	SK PSKOTT86SLPSGR8 6	1.8		0.355	60	< 185	1	
	SKPSKOTT86BUPS GR86B	1.9		0.087	-	?	1	

* Projektil- och laddningsmassa fel i Ammunitions katalog 2012.

Appendix 2 Mötesanteckningar MSIAC

Sammanfattning från: NATO AC/326 Subgroup A *Gun Launch Setback Ignition Study Working Group Meeting*

Plats: NATO HQ i Bryssel

Tid: 2018-10-09

Närvarande organisationer: ARL/ARDEC (USA), NSWC (USA), FOI (SE), BAE (UK), TNO (NL), FFI (NO)

Sammanhållande: Sean Swaszek (ARDEC), Ernest Baker (MSIAC)

Representanter från FOI: Magnus Bergh och Magnus Lindström

MSIAC samordnar en ny arbetsgrupp benämnd *Gun Launch Setback Ignition Study Working Group*. Syftet med gruppen är att i ett första skede samla underlag rörande laboratorietestning, beräkningsmodeller, relevanta typer av defekter och hur dessa relaterar till problematiken med oavsiktlig initiering i ammunition under utskjutning. På sikt är målet att arbetet ska utmynna i en ny standard (*Allied Ordnance Publication*) för energetiska material i denna tillämpning.

Centrala vetenskapliga/tekniska frågor för gruppen är:

- Vilka fysikaliska/kemiska mekanismer dominerar vid *setback ignition*? (Exempelvis void-kollaps, plastiskt arbete, friktion, spallation av sprängämneskorn, porositet etc.).
- Vilka typer av defekter är kritiska? (Exempelvis olika typer av kaviteter, porer, sprickor).
- Hur kan belastningen (t.ex. tryck som funktion av tid i laddningen) som erhålls under utskjutning simuleras i laboratiemiljö?
- Hur kan försök instrumenteras för att möjliggöra validering av beräkningsmodeller?
- Vilken diagnostik är lämplig för att identifiera defekter i system med smältgjutna/plastbundna sprängämnen? (röntgen, *CT-scan* uppsågning etc.)

Ett deltagande från svensk sida kan tänkas vara av intresse för att:

- Följa och påverka det arbetet som ligger till grund för ett nytt testningsförfarande av energetiska material (huvudsakligen sprängämnen) avseende *setback ignition*.
- Öka kunskapen om vilka risker (kritiska defekter/mekanismer) som är förknippade med nya plastbunda sprängämnen kontra traditionella smältgjutna sprängämnen.
- Delta i ett forum med tillgång till världsledande forskning och produktionsteknik avseende *setback ignition* och sprängämnens mekaniska egenskaper.

Möten kommer att äga rum ca 2 ggr per år i Europa och USA. Deltagare förväntas bidra med underlag till arbetet (idag oklart i vilken omfattning).

FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 08-55 50 31 00

www.foi.se