



Ammunitions och energilagringssäkerhet

Sammanfattande projektredovisning 2020

CARINA ELDSÄTER, EMMA LUNDELL,
MARKUS PASTUHOFF, WILHELM SAHLÉN,
RASMUS WEDBERG, NIKLAS WINGBORG

Carina Eldsäter, Emma Lundell,
Markus Pastuhoff, Wilhelm Sahlén,
Rasmus Wedberg, Niklas Wingborg

Ammunitions och energilagringssäkerhet

Sammanfattande projektredovisning 2020

Titel	Ammunitions och energilagringssäkerhet – Sammanfattande projektredovisning 2020
Title	Ammunition and energy systems safety. Progress report 2020
Rapportnr/Report no	FOI-R--5100--SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2020
Antal sidor/Pages	23
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	Försvarsmakten
Forskningsområde	Vapen, Skydd och säkerhet
FoT-område	Vapen och skydd
Projektnr/Project no	E60977
Godkänd av/Approved by	Lars Höstbeck
Ansvarig avdelning	Vapen, skydd och säkerhet

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

Inom ramen för Försvarmaktens FoT-program har projektet Ammunitions- och energilagringssäkerhet bedrivits under ett år. Projektet är kunskapsuppbyggande och vidmakthåller också kunskap inom ett brett spektrum av områden med verksamheter där alla syftar till att undersöka, förstå och värdera säkerhetsaspekter hos olika energetiska material och energetiska processer.

Rapporten redovisar huvuddelen av de verksamheter som bedrivits inom projektet under 2020.

Nyckelord: energetiska material, energetiska processer, termisk initiering, mekanisk provning, setback, sprängämnen, krut, litium-jonbatterier, termisk rusning, gasutveckling

Summary

The project Ammunition and energy systems safety, funded by the Swedish Armed Forces, has performed safety related research in the area of energetic materials and energetic systems, such as batteries during one year. The overall aim of the project is to investigate, understand and to evaluate safety aspects of energetic materials and energetic processes in order to maintain and develop knowledge.

This report presents the research and development performed during 2020. A summary of other projects, in which the knowledge developed in this project plays an important role, is also given.

Keywords: energetic materials, energetic processes, thermal initiation, mechanical testing, setback, explosives, propellants, lithium ion batteries, thermal runaway, gas evolution

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Genomförd verksamhet.....	8
2.1	Ammunitionssäkerhet	8
2.1.1	Oavsiktlig initiering	8
2.1.2	Mekaniska egenskaper hos kompositmaterial	9
2.1.3	Kemisk prov- och analysteknik	11
2.2	Energilagringssäkerhet.....	15
2.2.1	Kunskapsinventering av energilagringssystem	15
2.2.1.1	Litium-jonbatterier.....	15
2.2.1.2	Flödesbatterier.....	15
2.2.1.3	Bränsleceller.....	16
2.2.2	Termisk rusning hos litium-jonbatterier.....	16
3	Deltagande i möten, kurser och konferenser	18
4	Internationella samarbeten	19
4.1	PREMIUM.....	19
4.2	Gun Launch Setback Ignition Study Working Group.....	19
5	Samverkan med andra FoT-projekt.....	20
6	Slutkommentar	21
7	Dokumentation	22
8	Referenser.....	23

1 Inledning

Ammunition och energilagringssystem innehåller mycket energi, nödvändig för funktionen i vapensystem, plattformar och soldatsystem av olika slag. Energin kan vara lagrad i såväl energetiska material som batterier och andra lagringssystem.

Kunskap om energetiska material och processer i båda dessa fall är därför viktig för att kunna bedöma transport-, hanterings- och lagringssäkerhet både i ett kort men även i längre perspektiv.

Forskningen i projektet har inriktats mot att utveckla förmågan att analysera, undersöka och bedöma ammunition och energilagringssystem på såväl delkomponentnivå (krut, sprängämnen och kritiska delar hos exempelvis ett batteri) som på aggregerad systemnivå (säkerhets- och funktionsprovningsteknik). Vidare ska förmågan att modellera och simulera lagrings- och hanteringssäkerhet utvecklas. Metoder för att bedöma åldringsegenskaper hos ammunitions- och framdrivningssystem ska på sikt utvecklas för att kunna stötta livslängdsanalyser avseende vapen och ammunition.

Målet med den utvecklade kunskapen är att den ska vara tillämplig i säkerhetsanalyser och kravställning på system som innehåller energetiska material såsom stridsdelar, raketmotorer och kaliberbunden ammunition, och energilagringssystem som batterier i säkerhetskritiska tillämpningar.

Forskningsverksamheten har bidragit till ammunitionssäkerhetsarbetet genom kunskapsstöd till enskilda provningsuppdrag (från FMV) och genom rådgivning.

Projektet hade 2020 följande frågeställningar att beakta:

- Hur kan man bedöma åldringsegenskaper hos nya och befintliga ammunitions- och framdrivningssystem?
- Vilka krav (t.ex. avseende defekter, mekanisk hållfasthet och kemisk stabilitet) ska ställas på gammal och ny ammunition?
- Hur kan säkerhet hos energilagringssystem bedömas för Försvarmaktens behov?
- Hur kan ammunitionssäkerhet förbättras genom konstruktionslösningar för ammunition?

Denna rapport beskriver kortfattat huvuddelen av de aktiviteter som genomförts inom ramen för projektet under året.

2 Genomförd verksamhet

2.1 Ammunitionssäkerhet

Inom ammunitionssäkerhetsområdet fokuserar projektet på att utveckla förmågan att analysera, undersöka och bedöma ammunition på dels delkomponentnivå (t.ex. undersökning av krut och sprängämnen) men även på systemnivå avseende utveckling av säkerhets- och funktionsprovningsteknik. Målsättningen är att bygga kunskap avseende metodik och teknik med syfte att förhindra oavsiktlig initiering med ammunition och att effektivt kunna bedöma livslängd hos befintlig ammunition.

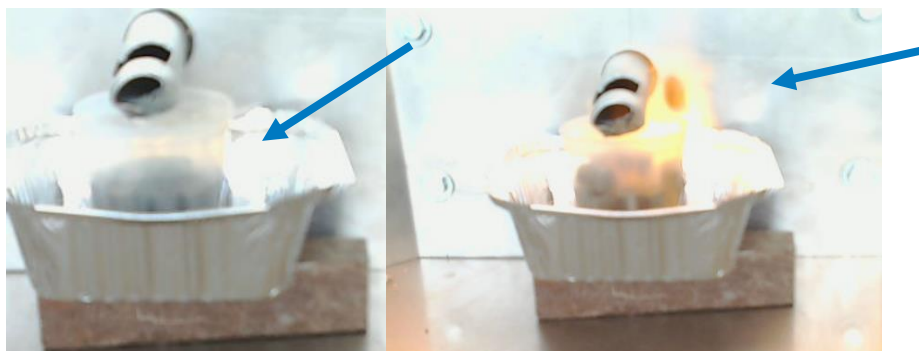
Flera aktiviteter som var planerade under 2020 har flyttats fram i tid pga. Corona-pandemin, bl.a. att inventera kända risker (inklusive eventuella olyckor) och identifiera kritiska ammunitionsobjekt kopplat till hantering och användning av ammunition.

Under året har projektet därför fokuserat på ammunitionssäkerhetsfrågor kopplat till oavsiktlig initiering av ammunition och på mekaniska egenskaper hos energetiska material, såsom kompositsprängämnen och kompositkrut. Projektet har även ett fokusområde som heter prov och analysteknik. Under året har projektet därför studerat metoder för kemisk analys av kompositkrut och -sprängämnen.

2.1.1 Oavsiktlig initiering

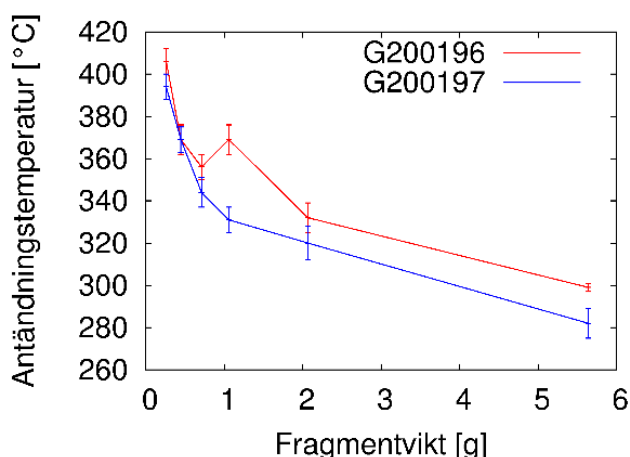
Vid beskjutning av beväpnade plattformar riskerar den medförda ammunitionen att initieras av splitter. En kort litteraturoversikt [1] har tagits fram vilken beskriver varianter av försöket *Hot fragment conductive ignition* (HFCI). Detta försök bestämmer den minsta temperatur ett stålsplinter behöver ha för att orsaka antändning av en krutbädd vid kontakt. HFCI-försök har visat sig vara en relativt enkel och effektiv försöksmetod vilken både ger kvalitativa insikter i initieringsförloppet samt genererar dataunderlag för validering av modeller och värdering av verkan och sårbarhet hos beväpnade plattformar.

Under året har i projektet ett HFCI-test satts upp och utvärderat med hjälp av två kanonkrut, av typen enkel- respektive dubbelbaskrut (Figur 1). Dessa krut används vid utskjutning av övnings- respektive pansarprojektiler med stridsvagnskanoner



Figur 1. Bildsekvens från webbkamera från prov med fragmentvikt 5,65 g och temperatur 300 °C. Till vänster visas provet fem sekunder efter nedsläpp. Nitrosgaser har då börjat utsöndras och kan ses som brungul rök, markerad med blå pil. Till höger visas provet efter 13 sekunder då krutet antänts. Enstaka korn kastas ut ur bägaren, vilket markeras med blå pil.

Utvärderingen visar att HFCI ger tydliga resultat vilka stämmer väl med de som återfinns i litteraturen. T.ex. erhålls den kritiska temperaturen för antändning som funktion av fragmentets vikt, och provet visar även vilket av de två kruten som är mest känsligt för initiering (Figur 2).



Figur 2. Antändningstemperatur som funktion av fragmentvikt.

För att koppla resultaten från HFCI testen till verkliga initieringsförlopp krävs information om de sekundärsplitter som kan genereras vid beskjutning, i synnerhet dess temperatur, form och massa. Det kan tänkas att de två senare egenskaperna kan hittas i litteraturen eller bestämmas genom försök. Temperaturen hos sekundärsplitter förefaller dock svårt att mäta, men kan kanske uppskattas med hjälp av hydrokodssimulering. Hela prediktionskedjan från generering av sekundärsplitter till termisk initiering och förbränning skulle då kunna valideras med skjutförsök.

Termisk initiering via varma sekundärsplitter utgör ett komplext förlopp och det är ännu inte helt uppenbart hur de ingående fysikaliska och kemiska fenomenen samspelar. Det är därför värdefullt att utveckla modeller för sådana förlopp i syfte att öka förståelsen och undersöka betydelsen av olika fysikaliska egenskaper och förlopp. Då modeller i litteraturen ofta är komplexa och till viss del bygger på empiriska samband [2, 3] är det nödvändigt att de experimentella uppställningarna utvecklas parallellt.

Detta arbete sker i samarbete med andra projekt inom FoT området Vapen och skydd, såsom projekten ”Värdering av verkan, sårbarhet och risk”, ”Beräkningsmodeller för underlag till verkans- och sårbarhetsvärdering”, ”PV-verkan och skydd” samt ”Utskjutning och framdrivning”.

2.1.2 Mekaniska egenskaper hos kompositmaterial

Beroende på användningsområde för ammunition har mekaniska egenskaper hos krut och sprängämnen olika betydelse för ammunitionssäkerheten. För en raketmotor med hylsbunden laddning ställs t.ex. stora krav på krutets mekaniska egenskaper då en uppkommen spricka i krutet kan leda till haveri. En granat som accelereras kraftigt kan detonera i eldröret om det finns defekter eller spalter i laddningen. Det finns annan ammunition där de mekaniska egenskaperna inte alls påverkar säkerhet och funktion, t.ex. en stridsdel till en sjömålsrobot som inte utsätts för speciellt höga accelerationskrafter.

Undersökning av mekaniska egenskaper hos krut eller sprängämnen under ett vapensystems livstid kan i princip endast göras genom att ta isär ammunitionen och det är en dyrbar undersökning och det kan också vara svårt att avgöra hur mycket egenskaperna får försämrats innan de skapar ett säkerhets- eller funktionsproblem. Ett komplement till experimentella undersökningar är att modellera vad försämrade mekaniska egenskaper kan leda till för effekter hos krutet eller sprängämnet om det utsätts för olika laster.

Under 2020 har ett arbete påbörjats med syfte att utveckla modeller för att kunna simulera effekter kopplade till oavsiktlig initiering av kompositkrut och -sprängämnen.

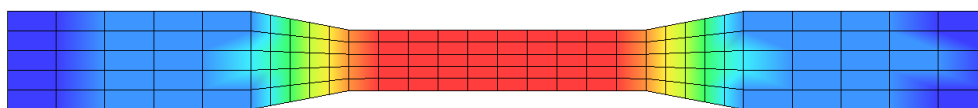
Exempel på frågeställningar som har varit vägledande för arbetet är:

1. Under vilka förhållanden, exempelvis vid beskjutning, fall eller termiskt inducerade spänningar, erhålls permanenta skador i ett energetiskt material?
2. Givet en viss last i ett ammunitionsobjekt, var och när uppstår dessa skador?
3. Vilken är risken för initiering i samband med belastningen och hur ändras materialets känslighet för initiering vid brott och fragmentering?
4. Om initiering sker, vilken respons kan förväntas?

Det är ett komplext arbete att beskriva ett plastbundet sprängämne eller ett kompositkrut i ett simuleringsprogram. För att göra detta behöver man verifiera den materialmodell man byggt upp. Verifieringen kan genomföras genom att utföra verkliga försök på materialet för att sedan jämföra resultaten mot en simulering av samma försök. Stämmer resultaten överens så har man en bra modell.

Ett arbete har påbörjats för att ta fram en lämplig materialmodell i programmet LS-Dyna. För att verifiera materialmodellen kan experiment göras med dragprovsmaskin, *Split Hopkinson Pressure Bar* (SHPB) samt andra metoder. Det krävs både långsamma och snabba försök för att få en bra kalibrering av modellen. Dragprovsmaskinen har hastigheter på ett antal mm/min medan man med SHPB kan få en stötvåg som når km/s.

Figur 3 visar hur spänningsfältet hos en provbit vid ett dragprovsförsök kan se ut. Utifrån denna simulering kan man få ut motsvarande dragprovskurva för materialmodellen man använt. Denna dragprovskurva kan sedan jämföras med ett verkligt försök av samma material.

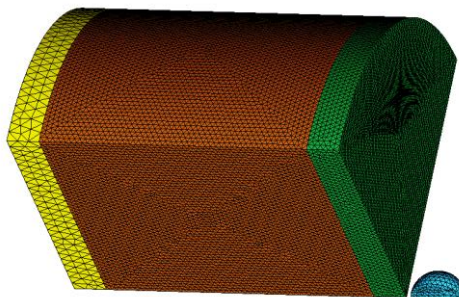


Figur 3. Tvärsnitt av en modellerad dragprovstav som visar spänningsfältet under dragning.

För att kunna göra simuleringar och plocka ut data från simuleringarna på ett smidigt sätt har det även påbörjats att skapa ett script i Python där det ska vara enkelt att ändra parametrarna för SHPB-simuleringarna. Detta script ska också göra det möjligt att få ut färdiga grafer från simuleringarna som motsvarar graferna man får ut vid verkliga försök av SHPB. Metoden kan användas för kalibrering av liknande typer av simuleringar, till exempel av dragprovning.

När väl materialmodellen är kalibrerad och verifierad kan man ställa upp olika simuleringar som representerar olika verkliga fall för att svara på ovanstående frågor.

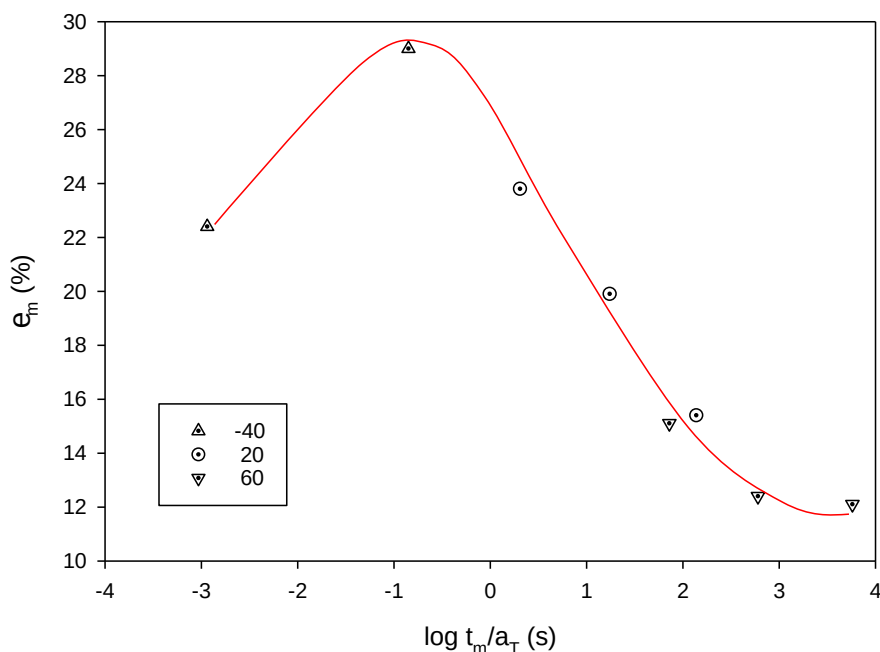
Figur 4 visar hur en initieringsmodell kan se ut framöver när materialmodellerna är kalibrerade. Modellen ska demonstrera beskjutning av en krutladdning som är innesluten i ett hölje. Kulan kommer med hög hastighet från höger.



Figur 4. Beräkningsnät över initieringsmodell. En kula åker in i ett hölje från höger (grönt och gult), detta hölje skyddar en krutladdning (brunt). Modellen är symmetrisk och därmed är endast en fjärdedel av helheten modellerad.

En annan frågeställning med koppling till mekaniska egenskaper och ammunitionssäkerhet rör hylsbundna krutraketsmotorer. Laddningen i en krutraketsmotor har en given geometri där mängden gas som alstras per tidsenhet är proportionell mot den brinnande ytan. Om laddningen spricker ökar den brinnande ytan, och därmed trycket i motorn, och detta är den vanligaste orsaken till att krutraketer havererar [4]. Kompositkrut och dubbelbaskrut är polymerbaserade material och har därför viskoelastiska materialegenskaper vilka varierar kraftigt med tid och temperatur. Liksom andra polymera material förändras de mekaniska egenskaperna även på grund av åldring. Ofta är det just krutets försämrade mekaniska egenskaper med tiden som är gränssättande för motorns livslängd.

För att bedöma om en laddning riskerar att spricka behövs materialkaraktärisering, strukturanalys och brottkriterier. Inom projektet "Ammunitions och energilagringssäkerhet" och ett närliggande projekt inom ammunitionssäkerhet har en studie syftandes till att förstå sambandet mellan mekaniska egenskaper och risk för sprickbildning initierats under året [5]. Ett klassiskt ammoniumperkloratbaserat kompositkrut har undersökts med dragprov och relaxationsprov för att konstruera en s.k. masterkurva (Figur 6Figur 5). Masterkurvan kan sedan användas som komplement till FEM-modellering att avgöra om en hylsbunden laddning kommer att spricka vid en given en temperatur eller ej.



Figur 5. Töjning vid maximal spänning mot reducerad tid till maximal spänning för ett kompositkrut.

Arbetet med att utveckla denna metodik fortsätter nästa år och kommer att kopplas samman med det arbete som görs tillsammans med FoT-projekten "Energetiska system" och "Utskjutning och framdrivning" avseende åldring och hållfasthet av krutraketsmotorer (se avsnitt 5).

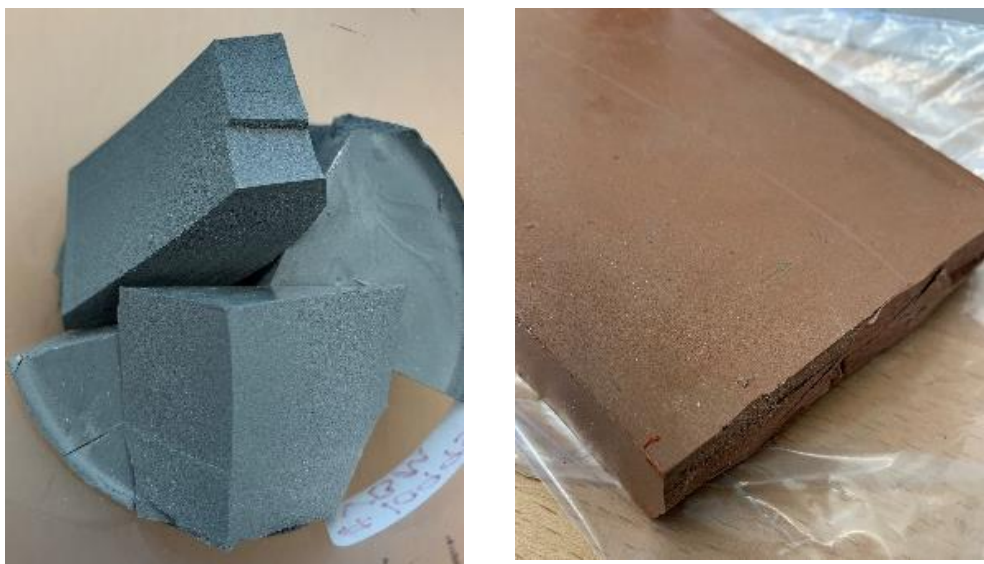
2.1.3 Kemisk prov- och analysteknik

Projektet har under året haft ansvar för ett fokusområde som kallas *Prov- och analysteknik*. Det är ett brett område och inkluderar allt från kemisk, termisk och mekanisk analys till specialiserade metoder såsom t.ex. instrumenterade cook-off test (som har utvecklats inom föregångaren till detta projekt, se exempelvis referens [6]) eller HFCI (se avsnitt 2.2.1). Projektet "Ammunitions- och energilagringssäkerhet" använder sig av flertalet av dessa

metoder för att undersöka olika säkerhetsrelaterade frågeställningar men allt eftersom teknik utvecklas och förfinas finns det också anledning att utvärdera nya metoder.

Under året har fokus för detta arbete legat på kemisk analys. Kemisk analys används vid säkerhetsteknisk kontroll av krut och sprängämnen i t.ex. ammunition både i förebyggande syfte för att upptäcka säkerhetsmässiga risker med en fortsatt hantering eller vid problemutredningar då ammunition inte fungerar som den ska. Kemisk analys används också till att säkerställa innehållet i ett krut eller sprängämne för att med hjälp av termokemiska beräkningar ta reda på prestanda hos dem.

Att identifiera och kvantifiera energetiska material i en komplex matris, t.ex. ett kompositkrut, är något av det svåraste man kan göra när det kommer till kemisk analys eftersom upparbetningsmetoden har så stor betydelse för resultatet. Vi valde därför att använda oss av kompositmaterial (Figur 6) för att utveckla metodiken, både metodmässigt men även instrumentmässigt. Arbetsgången beskrivs i ett flödesdiagram där det framgår vilka metoder man bör använda i de olika stegen av identifieringsarbetet, se Figur 7 och Figur 8 på sid 11 och 12.

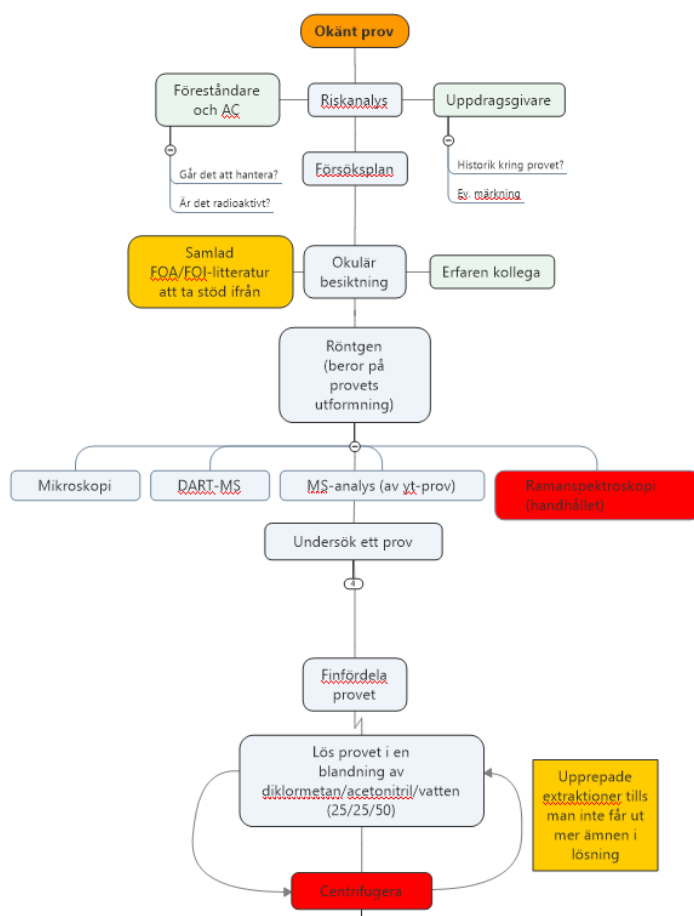


Figur 6. Bilderna visar de inerta kompositkruten som undersökts vid valideringen.

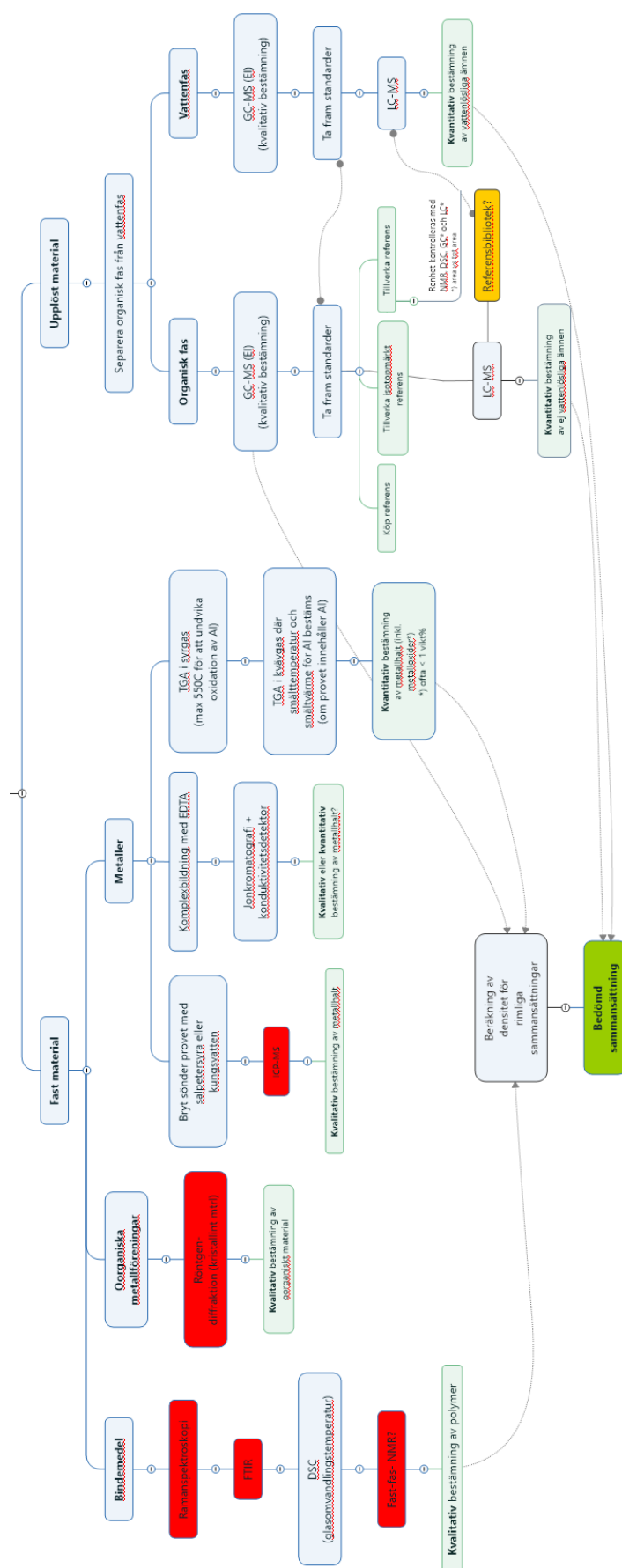
Utvecklingen av metodik är inte färdig men några erfarenheter har erhållits. Förmågan att *kvalitativt identifiera* följande ämnen i ett kompositmaterial redovisas enligt nedan:

- Organiska kristallina material och mjukgörare - förmågan är god
- Polymerer - förmågan otillräcklig och bör utvecklas både metodmässigt och instrumentmässigt
- Metaller och metallorganiska föreningar - förmågan otillräcklig och bör utvecklas både metodmässigt och instrumentmässigt

Nästa steg är att utveckla metoderna för *kvantifiering* av de ämnen som har identifieras. Här är utmaningen att hitta effektiva metoder för extraktion och provupparbetning för att säkerställa efterfrågad noggrannhet.



Figur 7. De första delmomenten i att analysera ett okänt prov utgörs av allmän informationsinhämtning, okulär underökning, säkerhetsrelaterade undersökningar, samt provupparbetning med separation i fast och löslbart material.



Figur 8. Metodik för analys av fast och upplöst material (fortsättning från Figur 6).

2.2 Energilagringssäkerhet

Arbetet inom energilagringssäkerhet har inletts med en översikt av olika energilagringstekniker som kan vara relevanta för Försvarsmakten och Totalförsvaret. Syftet med översikten är att få en bred bild av vilka tekniker som finns för att i nästa steg identifiera de mest centrala säkerhetsfrågorna kopplade till tekniken, så som problem/risker och metoder/metodik för bedömning av dessa.

Projektet har valt litium-jonbatterier som ett första energilagringssystem att studera då det finns en del erfarenhet från säkerhetstekniska undersökningar av dessa från andra projekt. Under 2020 har arbete med att analysera gasutveckling vid termisk rusning påbörjats tillsammans med FOI CBRN-säkerhet och skydd.

Nedan redovisas i korthet det arbete som gjorts.

2.2.1 Kunskapsinventering av energilagringssystem

I syfte att öka kunskapen kring energilagringssystem har en rapport [7] sammanställts för att ge en översiktlig teknisk information om ett antal olika alternativa energilagringssystem vilka kan vara av intresse för Försvarsmakten. Rapporten fokuserar på mogna teknologier som redan idag är kommersiellt tillgängliga men där ytterligare forskning kan behövas innan integration kan ske i Försvarsmaktens befintliga energilagringssystem.

Nedan ges en kortare sammanfattning av innehållet i rapporten.

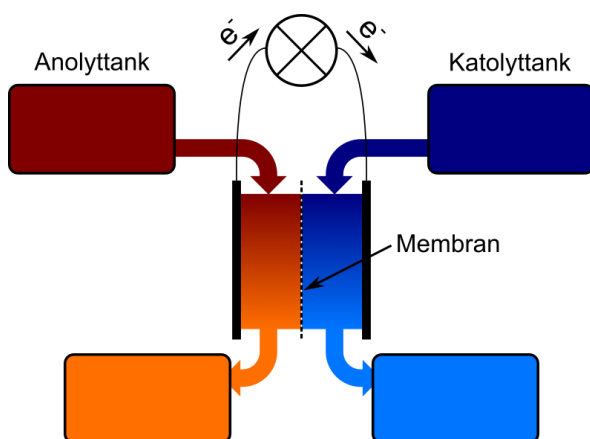
2.2.1.1 Litium-jonbatterier

Litium-jonbatterier karaktäriseras av sin låga vikt per energiinnehåll jämfört med mer traditionella batterityper och begreppet innefattar ett antal olika kemisystem med olika för- och nackdelar.

FOI har sedan några år genomfört provning på litium-jonbatterier med avseende på brandsäkerhet och utvecklar också batteriövervakningssystem och batterimoduler för att minska riskerna att brand uppstår och minimera riskerna för spridning om sådan ändå skulle inträffa.

2.2.1.2 Flödesbatterier

Flödesbatteriet fungerar enligt samma princip som konventionella batterier med skillnaden att anod och katod är i flytande form och batteriet kan således laddas genom att vätska fylls på i en tank. Batteriet kan vara intressant som energikälla på sällan besökta stationära plattformar då det kan lagra stora mängder energi och är enkelt att underhålla.



Figur 9. Flödesbatteri.

2.2.1.3 Bränsleceller

Bränslecellen består av anod, katod och elektrolyt där den senare i bränslecellen förbrukas och elektrisk energi och värme bildas. Den vanligaste, billigaste och mest effektiva varianten använder ren vätgas som elektrolyt. Då vätgas inte medför försumbara problem vid transport och lagring finns också alternativ som drivs på flytande elektrolyter, exempelvis metanol. Dessa kräver dock en högre drifttemperatur.

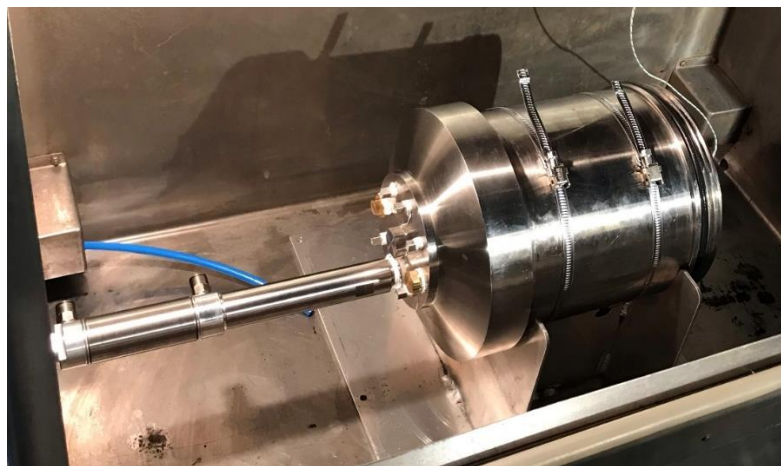
Inom Försvarsmakten skulle t.ex. bränsleceller med flytande elektrolyt kunna vara lämpligt som energibärare för förband i fält.

2.2.2 Termisk rusning hos litium-jonbatterier

Användandet av energilagring i litium-jonbatterier har ökat dramatiskt de senaste åren. Litium-jonbatterier har integrerats i till exempel fordon, för att ersätta den traditionella förbränningsmotorn, soldater bär idag större mängd energikonsumerade utrustning och man använder då, allt som oftast, litium-jonbatterier. Flera av försvarets applikationer är brandkritiska såsom u-båtar, stridsflygplan, torpeder med mera. En brand kan orsaka katastrofala konsekvenser då man inte har möjlighet till utrymning, eller om det finns explosivämnen ombord. Det är viktigt att man har kunskap om litium-jonbatterier, samt sina system, ur säkerhetssynpunkt, innan de integreras.

Litium-jonbatterier rusar termiskt vid höga temperaturer, kortslutning, överladdning etc. och vid denna brand eller termiska rusning av battericeller kan det skapas farliga gaser som till exempel vätefluorid. Tidigare försök har visat på hur mycket gas en cell genererar vid brand men inte kunnat göra någon analys på gaserna. I ett samarbete med avdelningen för CBRN skydd och säkerhet har projektet utvecklat utrustning och metodik för att kunna analysera innehållet i de gaser som bildas vid termisk rusning.

Utrustningen är ett cylindriskt tryckkärl som är byggt för att stå emot mot svetslågan från batteriet och även vara väldigt resistent mot den reaktiva och aggressiva miljön som uppstår vid termisk rusning av batterier. Batteriet kortsluts genom nålpenetration där nålen styrs fjärrmanövrerat med en tryckluftscylinder, se Figur 10.



Figur 10. Behållaren med ena locket monterat, i locket sitter en tryckluftscylinder med nål.

Behållaren är placerad inuti en så kallad tät handskbox (Figur 11). Från denna handskbox finns ett utlopp med en fläkt som suger ut gaserna, som är blandade med luft. De gaser, bl.a. vätefluorid, som bildas fångades upp med olika metoder och analyserades.



Figur 11. Behållaren i handskboxen, till vänster syns utsugsröret där en fläkt suger ut blandningen från boxen.

Nästa år fortsätter arbetet med att analysera gasutveckling vid termisk rusning tillsammans med utökade åldringsstudier som bl.a. innebär att man vill ta reda på hur batteriet åldras av antalet laddningscykler. Resultaten kommer på sikt att utgöra underlag till en standard för säkerhetsteknisk provning av relevanta energilagringssystem.

3 Deltagande i möten, kurser och konferenser

Med anledning av Corona-pandemin har projektets medlemmar i princip inte deltagit i några möten, kurser eller konferenser då de flesta ställdes in.

Det som dock kunde genomföras var en workshop kring energilagringssystem och energilagringssäkerhet. Den genomfördes tillsammans med projektet Granskningsstöd gällande Torped 47 och med deltagare från Försvarmakten, FMV och Fortifikationsverket [8]. Syftet med denna workshop var dels att presentera forskningsverksamheten inom energilagringssäkerhet men också att diskutera vilka forskningsfrågor, kopplade till energilagringssystem mer generellt, som kan vara relevanta för framtida FoU-arbete.

Vid workshopen identifierades ett antal intressanta forskningsfrågor relaterade till batterisäkerhet, t.ex. hur farliga gaser bör hanteras vid en eventuell batteribrand, hur batterisäkerheten påverkas vid åldring och hur batterier bör avvecklas på ett säkert och miljömässigt sätt.

Workshopen uppskattades av deltagarna och planer finns på att genomföra den årligen.

4 Internationella samarbeten

FoT-projektet är knutet till två internationella samarbeten.

4.1 PREMIUM

Under året har EDA-projektet *Prediction models for implementation of munition health management, PREMIUM*, beretts klart. Bakgrunden till projektet är att man idag använder sensorer till att samla in information om vilka miljöfaktorer som ammunitionen har utsatts för, t.ex värme, fukt, vibration. De insamlade mätvärdena används i princip bara vid haveriutredningar och i efterhand. Projektet kommer därför att utveckla smartare sensorer, sk. Health Usage Monitoring Systems, HUMS, som kan prediktera när ammunition nått sin kritiska livslängd.

I projektet ska FOI tillsammans med institut och industri från Sverige, Italien, Nederländerna, Tyskland och Portugal studera hur olika energetiska material åldras för att sedan kunna utveckla algoritmer till sensorerna. Målet är att demonstrera en prototyp i början av 2025. Projektet beräknas starta i maj 2021.

4.2 Gun Launch Setback Ignition Study Working Group

Defekter i form av tunna luftspalter, sprickor eller andra kaviteter i en stridsdel kan utgöra en risk vid utskjutning, vilket har bekräftats av allvarliga olyckor, så kallad *setback*-initiering, i en rad olika länder såsom USA, Frankrike, Australien, Storbritannien och i Sverige. De flesta av olyckorna skedde på sent 60-tal men de har inträffat så sent som 2002 i Australien och berodde då på en trolig spalt i den trotylbaserade laddningen [9]. Den centrala frågan i detta sammanhang blir: *Vilka typer och storlekar av defekter är kritiska under utskjutning?* I syfte att öka förståelsen för denna typ av initieringsfenomen har Nato startat en arbetsgrupp sedan några år tillbaka: *NATO AC/326 SG/A Gun Launch Setback Ignition Study Working Group*. Arbetsgruppen har som mål att på sikt utarbeta en AOP (*Allied Ordnance Publication*) för sprängämnen med avseende på *setback*-problematiken. FOI har deltagit sedan 2018 och under mötena har man bland annat diskuterat vilka testmetoder som är lämpliga för att efterlikna olika utskjutningsförhållanden, hur sprängämnens mekaniska egenskaper kan bestämmas, vilka beräkningsmodeller som är relevanta samt hur nya plastbundna sprängämnen skiljer sig från traditionella smältgjutna sprängämnen. Man har efter ett antal möten kommit fram till att det inte är ett enkelt problem att lösa och man bedömer att arbetet med att ta fram en Nato-standard inte är möjligt i dagsläget eftersom det inte finns några entydiga testmetoder att luta sig mot vid en kvalificering. Däremot har gruppen valt att sammanfatta rekommendationer för att på sikt få fram en standardmetod till att bedöma risken för setback. Under 2020 hölls ett arbetsmöte där man jobbade med detta dokument, en s.k. STANREC.

5 Samverkan med andra FoT-projekt

Projektet har kopplingar till andra FoT-projekt inom FoT Vapen och skydd och lämnar underlag i form av teoretiskt och experimentellt underlag avseende t.ex. egenskaper för oavsiktlig initiering samt hållfasthets- och åldringsegenskaper hos delkomponenter.

Projektet har ansvarat för ett fokusområde avseende prov- och analysteknik för ammunitionssäkerhet där projekten ”Utskjutning och framdrivning” samt ”Energetiska system” samverkar kring identifiering av åldring och hållfasthet hos krutrobotmotorer. Detta görs med hjälp av både kemiska och mekaniska analysmetoder.

Projektet har även bidragit till projektgemensamma studier av framtida stridsvagnar i form av kunskap kring känslighet hos stridsvagnskrut. Inom denna frågeställning samarbetar projektet även med FoT-projekten ”Värdering av verkan, sårbarhet och risk”, ”Beräkningsmodeller för underlag till verkans- och sårbarhetsvärdering” samt ”PV-verkan och skydd”.

6 Slutkommentar

Projektet "Ammunitions och energilagringssäkerhet" fokuserar på att utveckla förmågan att analysera, undersöka och bedöma ammunition och energilagringssystem på dels delkomponentnivå (t.ex. undersökning av krut, sprängämnen, tändsystem eller delar av ett batteri) men även på systemnivå avseende utveckling av säkerhets- och funktions-provningsmetodik.

Målsättningen är att bygga kunskap avseende metodik och teknik med syfte att förhindra oavsiktlig initiering med ammunition och att effektivt kunna bedöma livslängd hos befintlig ammunition. Här har projektet under året studerat initieringskänslighet hos stridsvagnskrut och resultatet används nu i FoT-projekten "Värdering av verkan, sårbarhet och risk", "Beräkningsmodeller för underlag till verkans- och sårbarhetsvärdering" samt "PV-verkan och skydd". Metodik för kemisk och mekanisk analys av kompositkrut och -sprängämnen har utvecklats i syfte att kunna förstå säkerhetsrisker hos ammunition men också för att bättre kunna bistå vid utredningar av exempelvis ammunition som inte fungerar som den ska. Modellering och simulering av kompositprängämnen och -krut är också en viktig pusselbit i att kunna bedöma livslängden hos dessa.

Målsättningen för arbetet med energilagringssystem är att uppbyggd kunskap på sikt ska leda till en relevant provningsstandard för risker kopplade till hantering och användning av dessa. Här har projektet gjort en bred litteraturstudie och genomfört en workshop med Försvarmakten, FMV m.fl. i syfte att identifiera fortsatt viktiga forskningsfrågor. Praktiska experiment med att analysera giftiga gaser då litium-jonbatterier brinner har också påbörjats.

Den kunskap som genererats i de olika verksamheterna har haft bäring på de frågeställningar som definierat projektet. Projektets resultat har också omsatts i samarbetet mellan FoT-projekt inom Vapen och skydd, vilket kommer att fortsätta nästa år och då kommer att generera nya frågeställningar.

Forskningsverksamheten har också bidragit till ammunitionssäkerhetsarbete i stort genom att kunskapen använts i provningsuppdrag (från FMV). Normala år ges även kunskapsstöd till FMV:s rådgivningsgrupp för explosiv vara.

7 Dokumentation

Under 2020 har följande rapporter producerats inom ramen för detta projekt:

- Andreas Lindborg, Dan Martelin, Rasmus Wedberg. Termisk initiering av kanonkrut via varma splitter. Litteraturoversikt och inledande försök. FOI-DH--0250--SE. Oktober 2020.
- Dan Martelin. Termisk initiering av NC-krut från 12,7 mm patroner. FOI-D--0986--SE. November 2020.
- Hanna Ellis, Markus Pastuhoff. Energilagringssystem för robust elförsörjning. FOI-R--5000--SE. December 2020.
- Niklas Wingborg. Mekanisk karaktärisering av krut. FOI-D--1016--SE. December 2020.

8 Referenser

1. Andreas Lindborg, Dan Martelin, Rasmus Wedberg. Termisk initiering av kanonkrut via varma splitter. Litteraturoversikt och inledande försök. FOI-DH--0250--SE. Oktober 2020.
2. K. K. Kuo, W. H. Hsieh, K. C. Hsieh, och M. S. Miller, "Modeling of Hot Fragment Conductive Ignition of Solid Propellants With Applications to Melting and Evaporation of Solids," Journal of Heat Transfer, vol. 110, no. 3, pp. 670-679, 1988.
3. T. H. Huang, S. T. Thynell, och K. K. Kuo, "Modeling of partially confined hot fragment conductive ignition," I 25th Symposium (International) on Combustion, The Combustion Institute, pp. 1595-1601, 1994.
4. Alain Davenas. Solid Rocket Propulsion Technology: Pergamon Press, 1993.
5. Niklas Wingborg. Mekanisk karaktärisering av krut. FOI-D--1016--SE. December 2020.
6. Magnus Bergh et al., Energetiska material – prestanda och processer. Sammanfattande projektredovisning 2017-2019. FOI-R--4796--SE. December 2019.
7. Hanna Ellis, Markus Pastuhoff. Energilagringssystem för robust elförsörjning. FOI-R--5000--SE. December 2020.
8. Wilhelm Sahlén. Anteckningar från Workshop rörande energilagring. FOI MEMO H2235. December 2020.
9. Ernest L Baker. Artillery Projectile Prematures. Historical Review. Report O-218. MSIAC. Juni 2020.

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