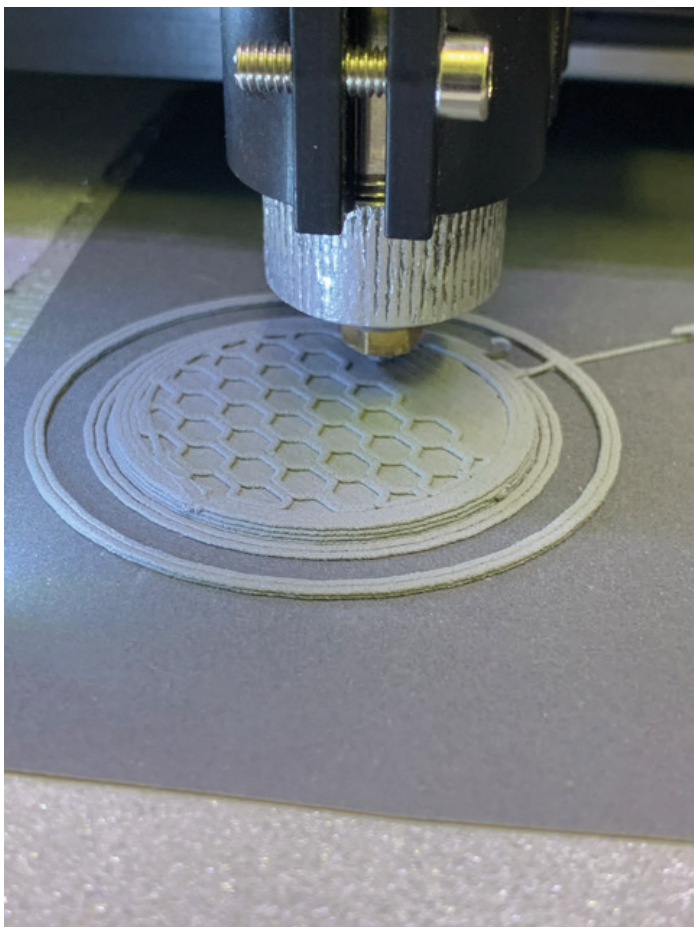


STEFAN EK, MAGNUS BERGH,
MATTIAS LILJEDAHL OCH RASMUS WEDBERG



Stefan Ek, Magnus Bergh, Mattias Liljedahl och
Rasmus Wedberg

Energetiska system – Årsrapport 2021

Årsrapport 2021

Titel	Energetiska system – Årsrapport 2021
Title	Energetic systems – Annual report 2021
Rapportnr/Report no	FOI-R--5272—SE
Månad/Month	December
Utgivningsår/Year	2021
Antal sidor/Pages	20
ISSN	1650-1942
Uppdragsgivare/Client	FM
Forskningsområde	Vapen, Skydd och säkerhet
FoT-område	Vapen och skydd
Projektnr/Project no	E20908
Godkänd av/Approved by	Henric Östmark
Ansvarig avdelning	Vapen, skydd och säkerhet

Bild/Cover: Viktor Bladholm, FOI

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 sammanfattar aktiviteterna i projektet Energetiska system inom FoT Vapen och skydd under 2021. Den beskriver också hur projektet försöker besvara de fyra frågeställningar det har i Försvarsmaktens FoT-plan. Hur och i vilka internationella samarbeten mycket av detta sker redogörs nedan. Vid varje frågeställning ges också exempel på hur projektet bidrar till att öka eller vidmakthålla Försvarsmaktens förmåga.

Nyckelord: Energetiska system, energetiska material, prestandamodeller, metalliserade sprängämnen, reaktiva material, additiv tillverkning

Summary

This report describes the activities in the R&T-project Energetic systems in 2021. It also describes how the project is trying to respond to the four questions it has the R&T-plan of the Swedish Armed Forces. How and in which international collaboration much of this work is done is accounted for below. At each such question, there are examples on how this project contributes to increased or maintained capabilities of the Swedish Armed Forces.

Keywords: Energetic systems, energetic materials, performance models, metallised explosives, reactive materials, additive manufacturing

Innehållsförteckning

1	Inledning	7
2	Möjligheter med nya energetiska material	8
3	Möjligheter och begränsningar med nya tillverkningstekniker.	10
4	Prestandamodeller för krut, sprängämnen och metallsystem ..	12
	4.1 Bakgrund	12
	4.2 Termokemisk beräkningskod	12
	4.3 Direkta tryckmätningar i energetiska system	17
5	Reaktiva material	19
6	Källförteckning	20

1 Inledning

Projektet *Energetiska system* inom FoT Vapen och skydd inleddes 2020 och pågår i tre år.

Arbetet inom projektet bedrivs till stor del i internationella samarbeten. Sådana som är pågående eller under beredning beskrivs nedan. Hur stor del av budgeten som respektive samarbete utgör framgår av Försvarsmaktens FoT-plan.

Projektet har fyra frågeställningar i FoT-planen:

- Vilka möjligheter bidrar nya energetiska material med i vapen-tillämpningar och hur ska sådana kravställas för att bidra till ökad förmåga?
- Hur bör prestandamodeller av krut och sprängämnen utformas för att kunna förutse prestanda på systemnivå?
- Hur kan prestanda hos metallsystem (t.ex. reaktiva metaller och metalliserade sprängämnen) bättre modelleras?
- Vilka möjligheter och begränsningar finns med nya tillverkningstekniker såsom additiv tillverkning av energetiska material?

2 Möjligheter med nya energetiska material

Ett exempel på nya energetiska material är de smält-gjutmatriser till ersättning för TNT som undersöks i samarbetet med det amerikanska DevCom AC (*United States Army Combat Capabilities Development Command Armaments Center* vid Picatinny Arsenal, tidigare kallat ARDEC och CCDC AC). Både DevCom AC och FOI har lång erfarenhet av sådant arbete. Parterna undertecknade ett projektavtal i juni 2019.¹ Detta pågår i fyra år. Den första årsrapporten gavs ut i februari 2020² och nästkommande kommer troligen att ges ut i februari 2021. Det är oklart vad denna rapport ska innehålla från USAs sida, då USA antingen varit helt nedstängt, eller haft påbjudet hemarbete under stora delar av året, vilket omöjliggjort praktiskt arbete med energetiska material. Detta samarbete har påverkats mycket negativt av Corona.

Arbete inom området nya energetiska material har också pågått också i EDA-projektet (*European Defence Agency*) EMTEEC (*Energetic Materials towards an Enhanced European Capability*), som hade sex deltagande länder (CZ, DE, FR, NL, NO, SE). Projektet skulle ha avslutats 2020, men blev försenat p.g.a. Corona, eftersom rapporter vanligen inte delas mellan parterna annat än vid fysiska möten. Denna gång delades rapporterna via rekommenderad post. En sammanfattning av detta projekt publiceras separat.³

Det samarbete som skett i projektet EMTEEC har varit mycket framgångsrikt och ett fortsatt samarbete planeras med utökade frågeställningar i projektet EMPOF (*Energetic Materials – Production, Obsolescence, and Formulation*). Obsolescens betyder att en komponent inte längre kan användas, trots att den är fullt fungerande. En anledning kan vara att den är giftig och därför förbjuds. Tungmetallinnehållande brinnmodifikatorer är en tänkbar sådan ämnesgrupp. Projektet ska identifiera sådana komponenter, utvärdera om det går att ersätta dem och hur detta påverkar funktion och prestanda. Produktion finns med av samma skäl som i EMTEEC, d.v.s. att det är viktigt att kritiska komponenter kan produceras i Europa till en rimlig kostnad. Detta är mycket viktigt för försörjningssäkerheten. Formulering kommer att undersöka nya bindemedel och mjukgörare för driv- och sprängämnen, eftersom den perfekta kombinationen av prestanda, känslighet, mekaniska egenskaper, ballistiska egenskaper och rökfrihet är svår att uppnå. Utöver deltagarna från EMTEEC, där samtliga fortsätter med

¹ FOI-2016-1390:15

² Stefan Ek, Alexander Paraskos, *Annual Report in Development of High Explosives PA (PA No. A-19-0001) – first report*, FOI MEMO H2140

³ Marita Sjöblom, *Sammanfattning av EDA-projektet Energetic Materials Towards an Enhanced European Capability (EMTEEC)*, FOI-RH--2424--SE, 2021

EMPOF, har Rumänien tillkommit. Polen kommer att gå med i projektet senare via ett tillägg till projektavtalet. Projektavtalet är klart, godkänt och underskrivet av fyra parter, då denna rapport skrivs. Förväntad projekthinledning är det första kvartalet 2022.

FOI deltar inom ramen för detta projekt även i NATOs AVT-panel (Applied Vehicle Technologies). Där finns många arbetsgrupper och tre tekniska kommittéer. FOI är aktivt inom tre grupper (en om framställning och karakterisering av energetiska material samt två om lagstiftnings [t.ex. REACH] inverkan på tillgång till olika komponenter till raketmotorer och vapensystem). Vanligtvis träffas upp mot 600 forskare två gånger om året under en vecka per tillfälle. Årets möten, som skulle ha ägt rum i Tyskland och Turkiet, ersattes av virtuella möten. Kommande möte till våren i Rumänien verkar hittills bli ett fysiskt möte. Eftersom förra vårens möte ersattes av ett virtuellt, bestämde sig gruppen för framställning och karakterisering av energetiska material (AVT-340) att ersätta sin planerade workshop med en onlinekonferens. Denna ägde rum under sex eftermiddagar i början av februari. Evenemangen blev mycket lyckat och hade rentav endast minimala IT-problem. 25 presentationer gavs. Dessa finns på FOI och kan delas med svenska myndigheter vid intresse. Varje konferenssession hade mer än 100 åhörare med som mest ca 150. Detta kan jämföras med de beräknade 40-50 vid ett fysiskt möte. Konferensen belönades med AVTs *Panel excellence award*.

Nya energetiska material kan ge nya möjligheter, när de kombineras med nya tillverkningstekniker, såsom additiv tillverkning, vilket beskrivs mer nedan.

3 Möjligheter och begränsningar med nya tillverkningstekniker

Ett exempel på nya tillverkningstekniker är så kallad additiv tillverkning, eller 3D-utskrift, av material. Den forskning som bedrivs inom projektet *Energetiska system* i detta område sker inom ramen för EDA-samarbetet AMTEM (*Additive Manufacturing Techniques for Energetic Materials*). AMTEM startade 2019 och är ett fyraårigt projekt, där Sverige är ett av sex deltagande länder. Projektet studerar tillverkning av såväl spräng- som drivmedelsladdningar. Resultaten från tidigare år har beskrivits övergripande i ett separat memo.⁴

Under det senaste året har projektet för FOIs del haft fokus på interaktionen mellan material och 3D-skrivare. Därigenom har viktiga kunskaper förvärvats rörande materialegenskaper samt 3D-skrivarens mjuk- och hårdvara. Detta är nödvändigt för att uppnå en god kvalitet på det utskrivna materialet. Vid dessa studier användes ett inert material med en fyllnadsgrad på 75 vikts-%. Detta motsvarar fyllnadsgraden hos många kompositkrut. Som bindemedel i dessa blandningar användes en termoplastisk elastomer (TPE), vilken är en polymer som har både plastiska och elastiska egenskaper. Utifrån ett stort antal undersökta TPEer har fyra stycken visat sig ha passande egenskaper (bl.a. smältpunkt och viskositet) för att kunna utgöra ett bindemedel i 3D-utskrivna spräng- eller drivmedelsladdningar. Alla fyra TPEerna har blandats med inert fyllmedel och skrivits ut med lyckat resultat. Det inerta materialet, ammoniumklorid, byttes sedan ut mot ammoniumperklorat, för att på så vis erhålla ett kompositkrut. Tester visade att kompositkruten var säkra att hantera, samt att de tålde temperaturer upp till 160 °C. Detta innebär en god marginal till de tänkta temperaturer som kommer att användas vid utskrift, nämligen 110-130 °C. Flera satser kompositkrut tillverkades. En utmaning med additiv tillverkning av energetiska material är den höga viskositeten som material med höga fyllnadshalter ger. Det har emellertid visat sig att kompositkrutet har lägre viskositet än de inerta blandningarna vid höga temperaturer, vilket är lovande inför den kommande additiva tillverkningen. Planen härnäst är att skriva ut provbitar av kompositkrutet, för att sedan karakterisera dessa och därefter jämföra resultaten med motsvarande material tillverkat med traditionella metoder.

⁴ Sten Andreasson, Viktor Bladholm och Mattias Liljedahl, *Sammanfattning av resultaten i EDA-projektet AMTEM*, FOI MEMO H2224, 2020

Vid två tillfällen under året har resultatet i projektet redovisats via digitala möten. Årets resultat finns dessutom dokumenterat i två rapporter.⁵⁻⁶ Projektet har påverkats av Corona, men är – åtminstone från FOIs sida – inte allvarligt försenat.

⁵ V. Bladholm, M. Liljedahl, Presentationer och rapporter från AMTEMs fjärde möte, FOI-SH-0360--SE, 2020.

⁶ V. Bladholm, M. Liljedahl, Presentationer och rapporter från AMTEMs femte möte, FOI-SH-0361--SE, 2020.

4 Prestandamodeller för krut, sprängämnen och metallsystem

4.1 Bakgrund

Försvarsmakten står inför omfattande modernisering av materiel. Exempel är pansarvärnsvapen och tunga markplattformar med relevanta skyddssystem. Det är också ett faktum att växelverkan mellan dagens och vapen- och skyddssystem ökar i komplexitet. Det effektivaste sättet att analysera och prediktera dessa förlopp är genom en kombination av instrumenterade försök och beräkningsmodeller.

Energetiska material, i form av sprängämnen och krut, har ofta en avgörande roll för utfallet i denna växelverkan. Sprängämnen används idag inte bara i vapen, utan återfinns ofta i både aktiva skyddssystem och tilläggsskydd på markplattformar. I detta avsnitt beskrivs arbetet med grundläggande modell- och metodutveckling som bland annat syftar till att stödja analys av olika växelverkansförlopp som involverar energetiska material.

Olika energetiska system nyttjar olika delar av den energi som frigörs från energetiska material. Ett RSV-vapen är typiskt beroende av den energi som frigörs under de första mikrosekunderna i ett sprängämne, medan granater och vissa aktiva och reaktiva skydd nyttjar en större del av den lagrade energin. I system med metalliserade sprängämnen, exempelvis undervattensvapen, nyttjas väsentligen hela den frigjorda energin. En relevant prestandamodell måste således ge en god beskrivning av när energin frigörs och hur trycket varierar under expansionen av spränggaserna efter detonationen. Beräkningar av dessa förlopp görs typiskt i flera steg. På plattformsnivå nyttjas någon typ av värderingsverktyg. För att modellera ett enskilt växelverkansförlopp, som kan generera underlag till värdering, krävs dock en fenomenbaserad beräkningsmodell, vanligen s.k. hydrokod. Hydrokoden i sin tur nyttjar vanligen en modell med parametrar unika för varje energetiskt material. Denna delmodell, ofta benämnd som *termokemisk kod* eller *detonationskod*, är en central komponent i växelverkansanalys då den beskriver vilken respons som erhålls efter initiering.

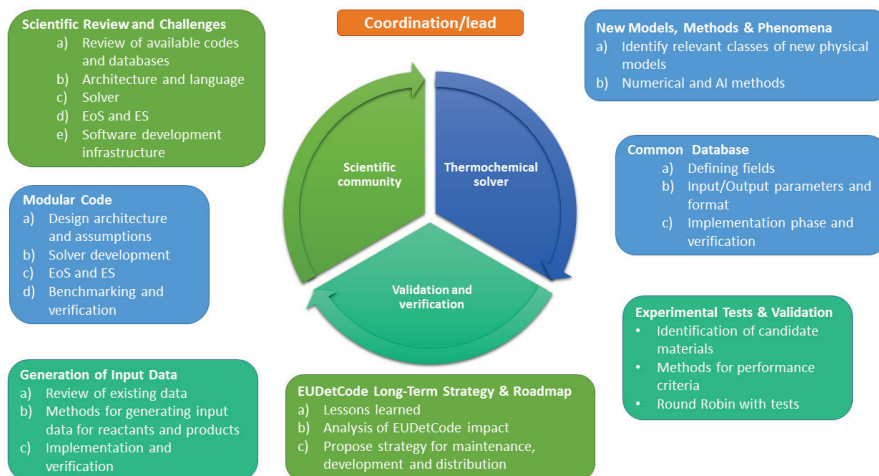
4.2 Termokemisk beräkningskod

FOI, i likhet med ett flertal andra aktörer inom försvarssfären världen över, har nyttjat ett amerikanskt beräkningsprogram benämnt *Cheetah 2.0* för prestandaberäkningar. Dock har inga uppdateringar delgivits aktörer utanför USA sedan slutet av 90-talet och version 2.0 kan idag betraktas som föråldrad. Senare versioner inkluderar bland annat nya tillståndsekvationer med tydligare fysikalisk förankring, förbättrade kalibreringar och högre noggrannhet för icke-ideala (t.ex.

plastbaserade) sprängämnen samt möjligheten att koppla ihop den termokemiska modellen med hydrokod för att följa tidsberoende förlopp såsom efterförbränning. Ett initiativ till kodutveckling har därför inletts som ett samarbete under *European Defence Agency (EDA)* benämnt *EUDetCode*. Visionen är att ett välorganiserat samarbete ska samla fragmenterade kunskaper och resurser och därmed möjliggöra utvecklandet av en modern termokemisk kod med en omfattande databas. En sådan förmåga skulle utgöra en viktig investering för framtiden och stärka forsknings- och teknikutvecklingen på försvarsområdet i både Sverige och Europa.

Projektet har haft en relativt lång beredningsprocess och försenats ytterligare, varför projektstart inte kunnat ske under 2021 som planerat. Förväntad projektstart är under 2022, eftersom projektavtalet blivit klart och undertecknat under 2021. Dock har ett visst förberedande arbete redan påbörjats då uppgiften är komplicerad och inbegriper matematiska modeller, programmering, kalibrering av parametrar samt försök. Inom projektet Energetiska system påbörjades 2020 insamlandet av relevant litteratur samt studier av en termokemisk undervisningskod. Under 2021 har litteraturstudien fortsatt och relevanta forskningsfrågor har identifierats. FOI kommer att leda ett arbetspaket med rubriken *Nya modeller* och fokusera särskilt på tillståndsekvationer. Dessa beskriver tryck som funktion av volym och temperatur för olika gasblandningar samt flytande och fasta ämnen och är av central betydelse för en termokemisk kods förmåga att prediktera prestandaparametrar. Vidare behövs särskilda tillståndsekvationer för att kunna inkludera metallpartiklars förbränning under expansionsfasen. Detta är ett utmanande arbete som kräver metodutveckling både på modell- och experimentsidan och därmed ett lämpligt område för samverkan med andra europeiska aktörer.

Figur 1 visar en schematisk bild över de sju arbetspaketen i EDA-projektet *EUDetCode*. FOI kommer att leda *New models, Methods and Phenomena*, och deltaga i ett flertal andra, bland annat *Modular Code*, där programmeringen kommer att utföras. Projektet löper över 5 år.



Figur 1. Schematisk bild av arbetspaketen i EDA-projektet EUDetCode.

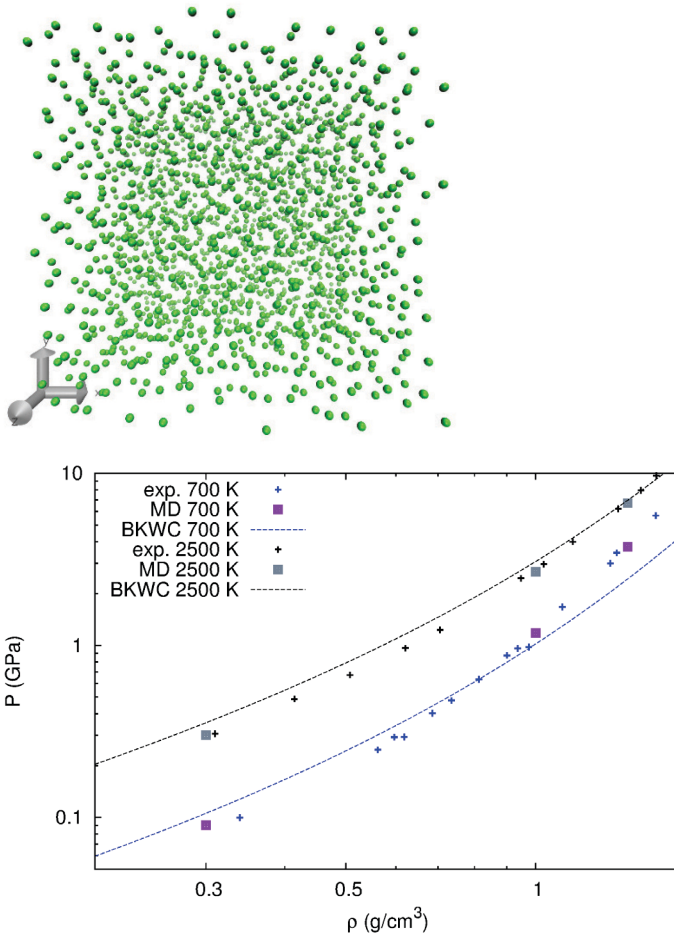
Förarbetet under 2021 har i huvudsak studerat tillståndsekvationer för produkter från detonation eller krutförbränning. Arbetet har fokuserat på frågeställningen om vilka fysikaliska fenomen som är centrala och vilka metoder för att hantera dessa som finns tillgängliga. Arbetet har dokumenterats i FOI-rapporten *EUDetCode – Mot förbättrade prestandamodeller för sprängämnen och krut*.⁷ Utvalda delar återges nedan.

I äldre termokemiska koder, t.ex. Cheetah 2.0 används ofta en tillståndsekvation benämnd Becker-Kistiakovsky-Wilson (BKW) för att beskriva gasblandningen som bildas vid detonation. Ekvationen är relativt enkel och varje produktslag (t.ex. koldioxid CO₂, kolmonoxid CO, vatten H₂O osv.) representeras av en så kallad kovolym, vilket motsvarar den volym som själva molekylerna upptar. BKW används med en av flera parameteruppsättningar som kalibrerats mot detonationsegenskaperna hos ett antal utvalda sprängämnen. För dessa och liknande sprängämnen förutsätts ekvationen vara tillförlitlig. På grund av sin enkelhet saknar BKW dock flexibilitet och riskerar ge sämre resultat då den tillämpas för egenskaper eller energetiska material som ligger långt ifrån de den kalibrerats mot.

För att reproducera högtrycksegenskaper för alla relevanta gaser med hög noggrannhet kan det därför vara nödvändigt att nyttja en mer sofistikerad tillståndsekvation. I moderna termokemiskoder används allt oftare fysikaliskt baserade tillståndsekvationer som direkt relaterar till krafterna mellan molekyler. Ett exempel är tillståndsekvationen exp6. För att koppla en matematisk

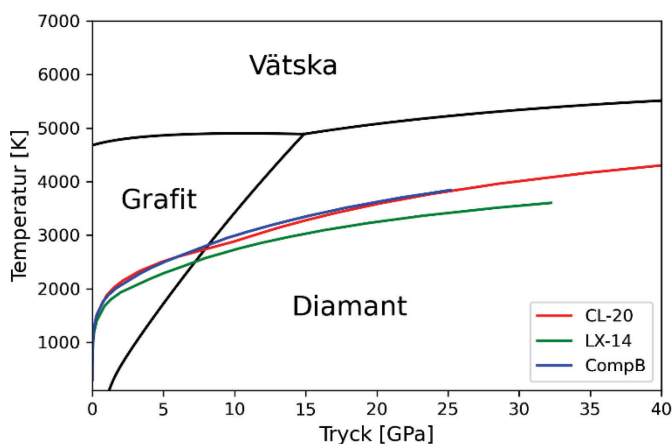
⁷ Magnus Bergh och Rasmus Wedberg, FOI-R--5254--SE, 2021

beskrivning av de intermolekylära krafterna med makroskopiska tillstånd som tryck, temperatur och densitet används teorier från statistisk mekanik och termodynamik. Dessa bygger dock på avancerad matematik och kan lämpligen valideras mot atomära beräkningar, t.ex. molekylodynamik eller Monte Carlo. För att exemplifiera har molekylodynamiska simuleringar genomförts för ett system av kvävemolekyler som växelverkar genom exp6-potentialen. Resultaten jämförs i Figur 2 med motsvarande beräkning med BKW.



Figur 2. Till vänster bild från molekylodynamiksimulering av 2000 punktformiga kvävemolekyler med exp6-potentialen. Till höger jämförs resultat för tryck som funktion av densitet vid olika temperaturer från molekylodynamik med motsvarande beräkning med BKW, samt referensdata från litteraturen.

Utöver en tillståndsekvation som beskriver gaserna som bildas vid detonation eller krutförbränning behöver även tillståndsekvationer tas fram för de produktslag som förekommer i fast eller flytande form och således inte blandas med andra ämnen. Exempel på sådana produktslag är kol, metaller som aluminium och magnesium samt metalloxider som aluminium- och magnesiumoxid. För att erhålla resultat med hög noggrannhet krävs tillståndsekvationer för de produktslag som kan förekomma som är tillförlitliga över de tryck- och temperaturområden som är relevanta. Det behöver också beaktas att produkterna kan förekomma i olika faser beroende på det termodynamiska tillståndet. Exempelvis kan kol förekomma som grafit, diamant eller i flytande form. Metaller och metalloxider kan förekomma i fast eller flytande form. I äldre produktbibliotek, t.ex. de som nyttjar BKW för att beskriva gaserna, används ibland en förenklad tillståndsekvation som endast beskriver kol som en enda effektiv fas. I modernare produktbibliotek ges däremot en tillståndsekvation för varje förekommande fas.



Figur 3. Fasdiagram över koles tre vanliga faser (svarta kurvor), beräknat med tillståndsekvationer från produktbiblioteket exp6 i Cheetah 2.0, samt isentrop expansion från Chapman Jouguet-tillståndet för CL-20 (röd), LX-14 (grön) och Comp-B (blå), beräknade med samma produktbibliotek. Chapman Jouguet-tillstånden är markerade med stjärnsymboler, och reaktionsprodukterna följer de färgade kurvorna i riktning mot vänster och neråt, då de expanderar

För att illustrera betydelsen av detta visar Figur 3. Fasdiagram över koles tre vanliga faser (svarta kurvor), beräknat med tillståndsekvationer från produktbiblioteket exp6 i Cheetah 2.0, samt isentrop expansion från Chapman Jouguet-tillståndet för CL-20 (röd), LX-14 (grön) och Comp-B (blå), beräknade med samma produktbibliotek. Chapman Jouguet-tillstånden är markerade med stjärnsymboler, och reaktionsprodukterna följer de färgade kurvorna i riktning mot vänster och neråt, då de expanderar fasdiagrammet för kol som beräknats med tillståndsekvationer från produktbiblioteket exp6. I diagrammet visas också den

isentropa expansionen från Chapman-Jouguet-tillståndet för tre olika explosivämnen, också beräknad med $\exp 6$. I Chapman-Jouguet-tillståndet, som är sprängämnets tillstånd omedelbart bakom detonationsfronten och avgör parametrar som detonationshastighet och $-$ tryck, förekommer kol i form av diamant. Tidigt under expansionen, som avgör explosivämnets arbetsförmåga t.ex. för att accelerera splitter, övergår kolet till grafit. För att erhålla en noggrann beskrivning av explosivämnets egenskaper och prestanda krävs därför att båda faserna modelleras.

4.3 Direkta tryckmätningar i energetiska system

I energetiska system innehållande sprängämnen omsätts kemisk energi till mekanisk energi på mikrosekundsskala. Direkta tryckmätningar i systemet är utmanande då en fysisk inbäddad givare, i form av en mycket tunn film, utsätts för starka stötvågor och hög temperatur. En tryckgivare placerad inuti ett sprängämne eller i ett inert material i anslutning till ett sprängämne ger värdefull information som kan nyttjas för att förstå och kvantitativt värdera ett system. Vidare möjliggör mätningar av tryck över tid en direkt jämförelse med hydrokodsmodeller. Detta är av stor vikt eftersom beräkningsverktyg ökar i betydelse och kontinuerlig validering mot försök är en förutsättning för dessa empiriska modeller.

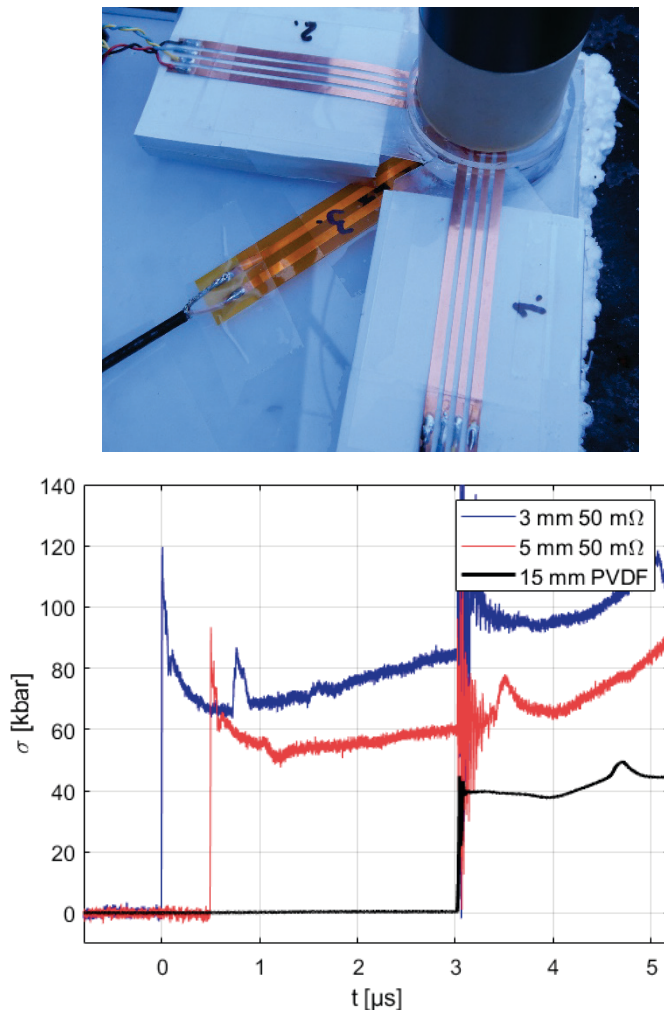
Direkta tryckmätningar testades i viss mån vid FOI på 90-talet samt nyligen i projekt MIMEV 2017.⁸ Användbara signaler erhöles, dock blev slutsatsen att viss metodutveckling är nödvändig för att kunna nyttja den fulla potentialen i denna mätmetod. Bland annat behöver olika typer av givare utvärderas samt jämföras med annan metod (t.ex. optisk metod som *photonic doppler velocimetry*). Vidare behövs en snabb switch utprövas och integreras i mätsystemet för att reducera störningar mellan spänningssatta givare av manganintyp.

Den försöksserie med detta syfte som inleddes 2020 avslutades i december 2021 där tre olika typer av tunnfilmsgivare utvärderades. För höga tryck (>100 kbar) fungerar endast manganingivare av typen $50\text{ m}\Omega$, medan för tryck under 100 kbar kan man nyttja manganingivare 50Ω eller s.k. PVDF-givare. Av de sistnämnda typerna har PVDF-givaren en stor fördel då den inte kräver någon avancerad kringutrustning och resultatet är väldigt lätt att utvärdera. Ett stort problem med manganin $50\text{ m}\Omega$ är att de matas med hög spänning och genererar väldigt mycket störningar när givaren förstörs av detonationsförloppet, och risken är stor att vid försök där laddningen är instrumenterad med flera givare, att den första manganin

⁸ MIMEV = Modellering och utvärdering av lågkänliga sprängämnen,

M. Bergh, R. Wedberg, D. Martelin, A. Lindborg, J. Lundgren, M. Sjöblom, *et al.*, "Project MIMEV: Delivery 2," FOI-RH--1913--SE, 2017.

50 m Ω givaren stör övriga givare. Det visade sig att PVDF-givaren blev väldigt lite påverkad av dessa störningar, Figur 4. Resultaten från mätningarna med både manganin- och PVDF-givare är lovande. Samtliga försök är genomförda och kommer att rapporteras tidigt 2022.



Figur 4. Bild på försöksuppställning och mätdata från experiment med 2 manganin 50 m Ω givare och en PVDF-givare. Vid 3 μ s genereras mycket störningar då givare 1 brister (blå), men PVDF-givaren (svart) påverkas inte speciellt mycket.

5 Reaktiva material

Reaktiva material kan användas i ett vapensystem för att ge ökad verkan. Detta sker genom att kemisk energi tillförs i målet, utöver den kinetiska energi, som tillförs vid anslaget. Ett exempel är reaktiva splitter, som antänds vid anslaget. Dessa kan bestå av bl.a. metall-metallföreningar eller metall-fluorpolymerkompositer. Möjliga tillämpningar presenterades i en litteraturstudie 2014.⁹

Olika tillverknings- och karakteriseringstekniker beskrevs 2019.¹⁰ FOI ämnar gå vidare med s.k. *arrested ball milling*, där pulvren blandas i kulkvarn och mals tills de konsoliderats till ett strukturellt reaktivt material. En fördel med denna teknik är att den inte använder nanomaterial. De senare kan orsaka arbetsmiljöproblem, eftersom det är svårt att förhindra inandning av så små partiklar även om man använder andningsskydd.

Under 2021 har FOI deltagit i beredningen av EDA-samarbetet ERICA (*rEactive mateRIals for enhanCed wArheads*), som leds av italienska MBDA. Övriga partner är belgiska Thales, franska MBDA, fransk-tyska ISL, nederländska TNO, spanska Instalaza, svenska BAE och tyska WTD 91. Förväntad projekthinledning är januari 2023.

⁹ P. Lundberg, *Strukturella material med reaktiva egenskaper. En litteraturöversikt.*, FOI-R--3902--SE, 2014

¹⁰ D. Menning, *Utveckling av reaktiva material. Aspekter av tillverkning och karakterisering.*, FOI-RH--2157--SE, 2019

6 Källförteckning

Nedanstående är sammanställning av de fotnoter, som använts ovan.

1. FOI-2016-1390:15
2. Stefan Ek, Alexander Paraskos, *Annual Report in Development of High Explosives PA (PA No. A-19-0001) – first report*, FOI MEMO H2140
3. Marita Sjöblom, *Sammanfattning av EDA-projektet Energetic Materials Towards an Enhanced European Capability (EMTEEC)*, FOI-RH--2424--SE, 2021
4. Sten Andreasson, Viktor Bladholm och Mattias Liljedahl, *Sammanfattning av resultaten i EDA-projektet AMTEM*, FOI MEMO H2224, 2020
5. V. Bladholm, M. Liljedahl, Presentationer och rapporter från AMTEMs fjärde möte, FOI-SH--0360--SE, 2020.
6. V. Bladholm, M. Liljedahl, Presentationer och rapporter från AMTEMs femte möte, FOI-SH--0361--SE, 2020.
7. Magnus Bergh och Rasmus Wedberg, FOI-R--5254--SE, 2021
8. M. Bergh, R. Wedberg, D. Martelin, A. Lindborg, J. Lundgren, M. Sjöblom, *et al.*, "*Project MIMEV: Delivery 2*," FOI-RH--1913--SE, 2017.
9. P. Lundberg, *Strukturella material med reaktiva egenskaper. En litteraturöversikt.*, FOI-R--3902--SE, 2014
10. D. Menning, *Utveckling av reaktiva material. Aspekter av tillverkning och karakterisering.*, FOI-RH--2157--SE, 2019

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