



FOI MEMO

Projekt/Project
Tillämpad detonik

Sidnr/Page no
1 (3)

Projektnummer/Project no Uppdragsgivare/Client
A20403 Försvarsdepartementet
FoT-område
Vapen och skydd

Författare/Author
Oskar Parmhed, Rasmus Wedberg

Datum/Date Memo nummer/Number
2022-12-19 FOI Memo 8069

Tillämpad detonik, 2022

Projektet Tillämpad detonik valdes ut som egenfinansierat forskningsprojekt på avdelningen Vapen, skydd och säkerhet under 2022. Detta memo utgör den sammanhållande rapporten av genomfört arbete under året.

Internt projektarbete

Projektet startades i februari 2022 med målet att höja den allmänna kompetensen på detonikområdet, främst inom icke-ideala effekter i sprängämnen och termokemiska beräkningar av prestanda för energetiska material. Under året har det hållits flera projektmöten. Till följd av personalomsättning byttes projektledare och biträdande projektledare i samband med sommaren.

Arbetet har fördelats mellan dels att stötta det internationella samarbetsprojektet EUDetCode via EDA (European Defence Agency), för att ta fram en ny europeisk beräkningskod för detonik; och dels att studera modeller för att hantera icke-ideala effekter hos explosivämnen. Vad gäller icke-ideala effekter har medarbetare läst in sig på litteratur i området och implementerat två olika modeller. Dessa finns redovisade i två rapporter som skrivits under året (se nedan).

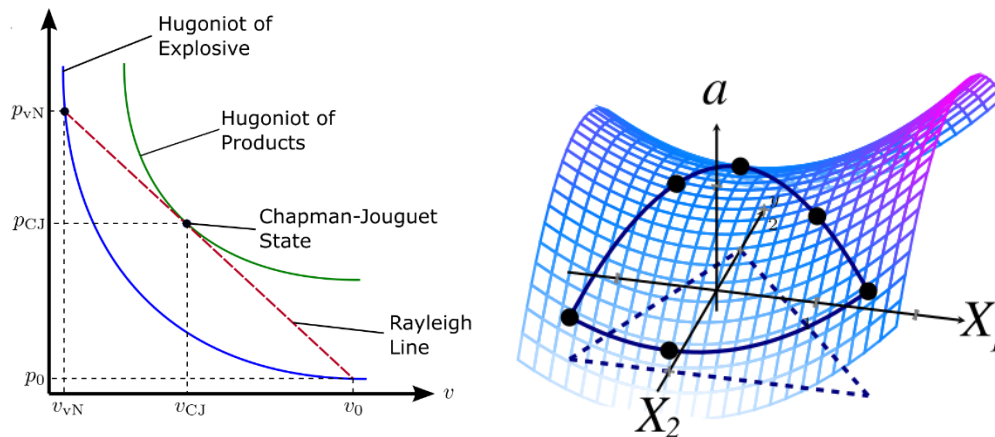
EUDetCode

EUropean DETonation Code är ett femårigt EDA-samarbete där Sverige genom FOI deltar tillsammans med Italien, Portugal, Tjeckien och Tyskland, där Tyskland koordinerar projektet. Samarbetet påbörjades officiellt i mars 2022. Bakgrunden till samarbetet är att ett flertal aktörer inom den europeiska försvarssektorn, däribland de svenska försvarsmyndigheterna, idag saknar tillgång till en modern termokemisk detonationskod. Med en sådan kod kan man givet ett sprängämnes kemiska komposition och initialtillstånd förutsäga prestandaindikatorer som detonationstryck och -hastighet, samt sprängämnets expansionsförmåga. Dessa indikatorer är kritiska för att kunna värdera ett sprängämnes funktion i t.ex. en stridsdel, ett reaktivt pansar eller ett aktivt skyddssystem. De moderna detonationskoder som finns idag är dock antingen otillgängliga på grund av exportrestriktioner, eller "svarta lådor" där underliggande modeller, algoritmer och källkod är okända för användaren. Det senare gör att koderna är av begränsad användbarhet i forskningssyfte, då modellerna varken kan anpassas eller vidareutvecklas. EUDetCode syftar till att samla ihop den kompetens inom explosivämnen termokemi som deltagande länder besitter, samt att nyttja denna för att utveckla en detonationskod för den europeiska försvarssektorn. Koden kommer i ett tidigt skede begränsas till grundläggande funktionalitet. Den kommer dock att vara modulär med syftet att i förlängningen kunna vidareutvecklas och på sikt bli världsledande.

Sverige planerar genom FOI att leda ett arbetspaket som syftar till att utvärdera och vidareutveckla nya modeller. Detta syftar bland annat på algoritmer för lösning av termodynamiska ekvationer samt tillståndsekvationer för detonationsprodukter, vilket illustreras i figur 1. En viktig grupp explosivämnen för vilken förbättrade modeller efterfrågas är metalliserade sådana, vilket har kopplingar till många delar av FOI:s pågående och kommande verksamhet.

Titel/Title
Tillämpad detonik, 2022

Memo nummer/Number
FOI Memo 8069



Figur 1. Till vänster illustration av termodynamiska tillstånd som en detonationskod beräknar i tryck-volym-planet. Till höger illustration av numerisk metod för multidimensionell optimering som en lösare för termokemisk jämvikt kan använda sig av.

Under 2022 har projektet Tillämpad detonik stöttat FOI:s arbete i EUDetCode genom att ge projektets medarbetare möjlighet att inhämta djup kunskap om hur en detonationskod fungerar. Detta har skett genom litteraturstudier och regelbundna möten där kunskaper delgivits. En detonationskod som tagits fram i utbildningssyfte har också studerats. Koden, som skrivits av den brittiske forskaren Martin Braithwaite (Cambridge, alumni) har delgivits FOI via UnPardubice (Tjeckien). En intern workshop om kodens algoritmer och underliggande modeller hölls för projektmedarbetarna i mars 2022. På förfrågan hölls även en anpassad variant av samma workshop för EUDetCode:s internationella deltagare i december 2022.

Arbete med att skriva om koden, som ursprungligen är skriven i FORTRAN, till det mer moderna programmeringsspråket C++ har också påbörjats. Detta syftar dels till att fördjupa kunskaperna samt att i ett tidigt skede skapa ett verktyg för att kunna testa idéer och studera nya modeller.

Icke-ideala effekter

Funktionen hos sofistikerade stridsdelar och skyddssystem som innehåller sprängämne modelleras ofta med hjälp av en hydrokod som simulerar detonationen och hur de producerade produkterna växelverkar med omgivningen. Det resultat som fås från en termokemisk detonationskod används som indata till en sådan hydrokodsmodell. Då energetiska system blir allt mer komplexa ställs högre krav på hydrokoden att kunna hantera mer komplexa detonationsförlopp. Exempel på komplexa förlopp är detonation av en RSV-stridsdel där laddningen skadats lokalt, initiering av reaktivt pansar samt verkan av aktiva skyddssystem mot inkommande granater, raketer och robotar. Dessa förlopp involverar densitets- och porositetsvariationer samt initieringsförlopp där flera splitter och stötvågor samverkar, vilket kräver sofistikerade detonationsmodeller, även mer sofistikerade än Lee och Tarvers modell, Ignition & Growth, som använts av FOI tidigare. Civila och improviserade explosivämnen uppvisar också denna typ av icke-ideala effekter.

Ju mer komplex en detonationsmodell är, desto mer beräkningsresurser krävs, och desto större arbetsinsats krävs för att kalibrera denna för ett givet sprängämne. Ett effektivt modelleringsarbete kräver därför ett urval av detonationsmodeller med olika detaljeringsgrad så att lämplig modell kan väljas utifrån tillämpning.

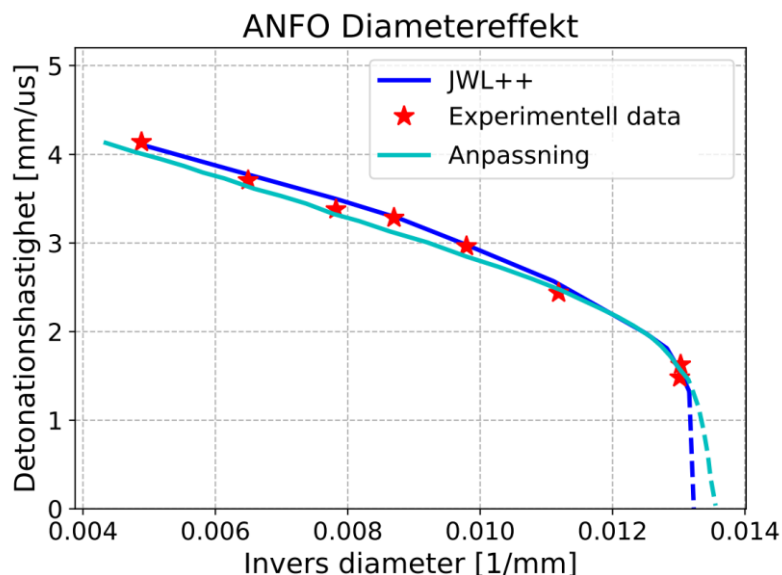
Titel/Title
Tillämpad detonik, 2022

Memo nummer/Number
FOI Memo 8069

Inom Tillämpad detonik har två detonationsmodeller studerats, implementerats för användning i hydrokoden LS-DYNA, samt testats för verifiering. Den ena modellen, JWL++, är relativt enkel, effektiv och kan kalibreras mot en mindre mängd experimentell data. Den andra, CREST, är en ny ansats för att hantera komplexa initierings- och detonationsförlopp. Arbetet med dessa modeller har dokumenterats i två rapporter (se nedan).

Rapporter

- **Modellering av icke-ideala detonationer med JWL++ i LS-DYNA**
Den reaktiva brinnmodellen JWL++ implementeras som egendefinierad tillståndsekvation i LS-DYNA. Implementationen valideras mot tre olika fall: en endimensionell modell för trotyl, samt tvådimensionella modeller för ANFO (se Figur 2) och PBXN-109.
- **Implementation of the CREST model for detonation initiation and propagation**
CREST-modellen för stötvågsinitiering beskrivs baserat på existerande publikationer. Modellen implementeras också i LS-DYNA och jämförs med existerande, publicerade data.



Figur 2. Detonationshastighet som funktion av invers diameter i så kallade "rate stick"-försök med cylindriska ANFO-laddningar. Simulering med den implementerade JWL++ modellen jämförs med experimentell data och en anpassning från litteraturen.