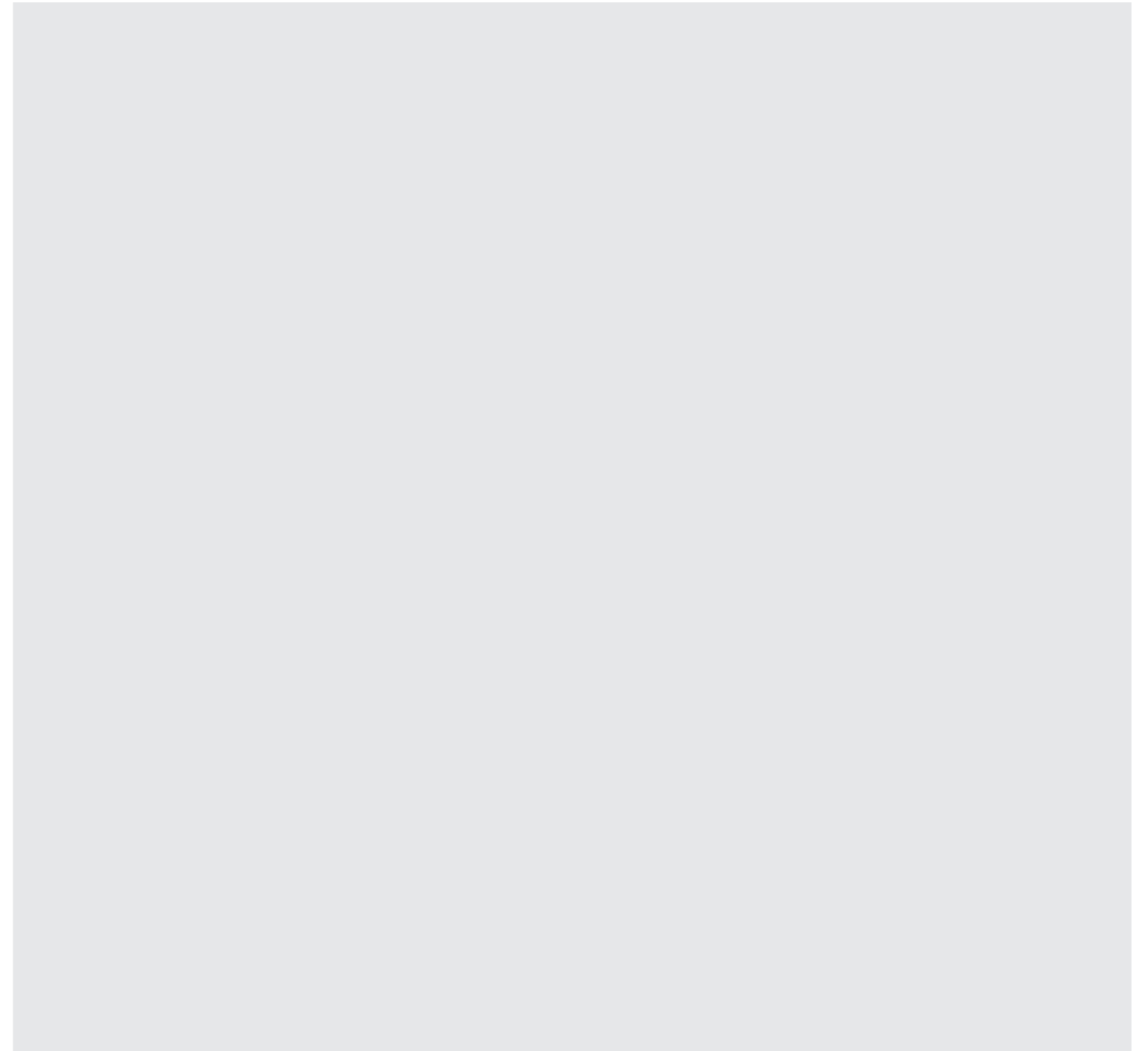


JÖRGEN CARLSSON, MATS HARTMANN



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1250 anställda varav ungefär 900 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.

Jörgen Carlsson, Mats Hartmann

Simulering av brand i samband med verkansvärdering

| | | |
|---|--|--|
| Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Vapen och skydd 147 25 Tumba | Rapportnummer, ISRN FOI-R--2100--SE | Klassificering Teknisk rapport |
| | Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd | |
| | Månad, år November 2006 | Projektnummer E2042 |
| | Delområde 51 VVS med styrda vapen | |
| | Delområde 2 | |
| Författare/redaktör Jörgen Carlsson Mats Hartmann | Projektledare Mats Hartmann | |
| | Godkänd av | |
| | Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarsmakten | |
| | Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig | |
| Rapportens titel Simulering av brand i samband med verkansvärdering | | |
| Sammanfattning <p>Att uppskatta effekten av en brand är centralt i verkans- och sårbarhetsanalys. Samtidigt är detta ett mycket komplicerat fenomen som endast i undantagsfall låter sig analyseras i förenklade termer. I denna rapport sammanfattas problematiken kring brandförloppssimuleringar, vilken metodik som ska användas beroende på scenarie behandlas och frågan hur olika komplexa beräkningsmetoder ska kunna kopplas till verktyget AVAL diskuteras.</p> <p>Arbetet har resulterat i såväl kortsiktiga som långsiktiga rekommendationer för hur brandsimulering kan användas inom verkansvärdering. Även en instruktion för konvertering av målbeskrivning från AVAL till en indatafil till ett CFD program ges.</p> | | |
| Nyckelord AVAL, Brand, CFD, Simulering, Sårbarhet, Verkan, Värdering | | |
| Övriga bibliografiska uppgifter | Språk Svenska | |
| ISSN 1650-1942 | Antal sidor: 18 s. | |
| Distribution enligt missiv | Pris: Enligt prislista | |

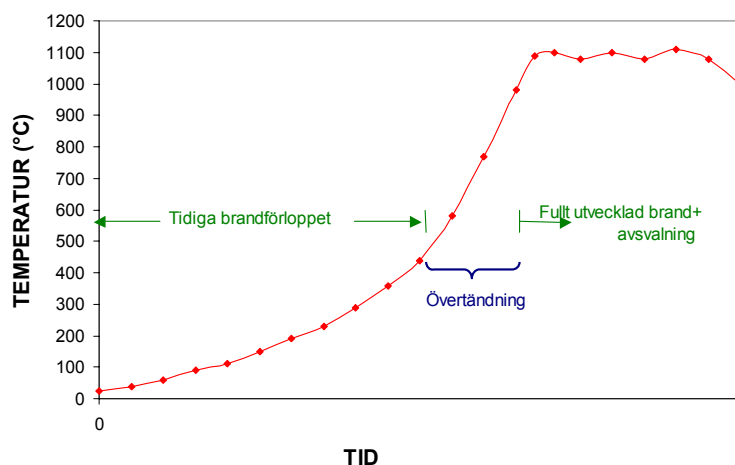
| | | |
|--|--|--|
| Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Weapons and Protection SE-147 25 Tumba | Report number, ISRN FOI-R--2100--SE | Report type Technical report |
| | Programme Areas 5. Strike and protection | |
| | Month year November 2006 | Project no. E2042 |
| | Subcategories 51 Weapons and Protection | |
| | Subcategories 2 | |
| Author/s (editor/s) Jörgen Carlsson Mats Hartmann | Project manager Mats Hartmann | |
| | Approved by | |
| | Sponsoring agency Swedish Armed Forces | |
| | Scientifically and technically responsible | |
| Report title (In translation) Fire modelling in vulnerability studies | | |
| Abstract <p>Estimating the consequences of fire is a core problem in Lethality- and Vulnerability simulations. A fire is, however, a complex phenomenon which cannot generally be simplified to fit into the overall vulnerability simulation. This report gives a review of the problems associated with fire simulation and addresses questions including the choice of model in a specific scenario and how to use a CFD analysis of fire as a complement to the toolkit AVAL.</p> <p>The analysis results in recommendations on both short- and long-term actions as well as a hands-on instruction in converting a target description from AVAL into a simple CFD-input file.</p> | | |
| Keywords AVAL,CFD, Fire, Simulation,Vulnerability, | | |
| Further bibliographic information | Language Swedish | |
| ISSN 1650-1942 | Pages 18 p. | |
| | Price acc. to pricelist | |

Innehållsförteckning

| | |
|--|----|
| 1. Inledning | 6 |
| 2. Tidigare modeller behöver kompletteras | 7 |
| 3. Brandsimulering i AVAL | 9 |
| 4. Användning av CFD i verkansvärdering | 10 |
| 4.1 SOFIE, Simulation Of Fires In Enclosures..... | 10 |
| 4.2 FDS, Fire Dynamic Simulator | 11 |
| 4.3 FOI:s egenutvecklade modell, FOAM..... | 12 |
| 5. Sammanfattning och slutsats..... | 14 |
| Bilaga 1. Förslag på konverteringsmetodik med exempel..... | 15 |
| Bilaga 2. Exempel på geometrifformat | 18 |

1. Inledning

Förmågan att förutsäga konsekvenserna av ett brandförlopp har förbättrats avsevärt under de senaste åren. Från att ha varit hänvisad till kraftigt förenklade, semi-empiriska, ekvationer och algoritmer kan en brandmodellerare idag använda generella transportekvationer för massa, energi och rörelsemängd för att ge en bra illustration av bland annat temperaturförlopp och spridningen av rök och giftiga ämnen. Utveckling pågår inom områden som värmetransport, flamspridning, vattensprinkler, övertändning och underventilerad brand men fortfarande är det i princip endast det tidiga brandförloppet som kan predikteras med någorlunda precision.

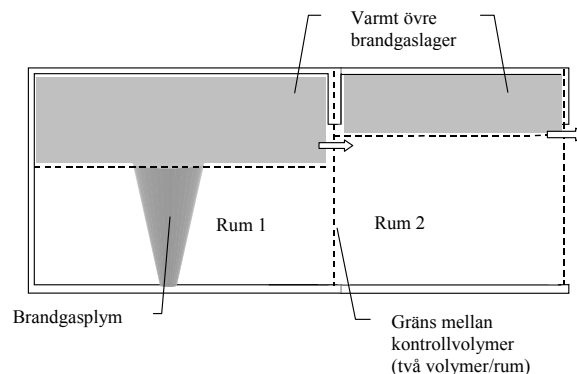


Figur 1. Brandförloppets faser. En brand kan, om lufttillförseln inte är tillräcklig, bli ”underventilerad” och kvävas, detta kan inträffa oavsett i vilken ”fas” branden befinner sig.

I det här dokumentet presenteras först skälen till att använda olika avancerade metoder för beräkning av brandförlopp. Därefter ges en sammanfattad genomgång av tre olika modeller som används inom FOI för strömnings- och brandsimulering och som bedömts vara attraktiva som verktyg inom modellering av verkan och sårbarhet i plattformar, såväl landbaserade fordon som fartyg eller flyg. Detta är en förstudie som framför allt fokuserat på möjligheterna att exportera den geometriska beskrivningen av en plattform mellan AVAL och respektive program för brand- och strömningsberäkningar.

2. Tidigare modeller behöver kompletteras

Datorstödd modellering av brandförlopp blev generellt applicerbart i början av 1990-talet, då tillgänglig datorkraft tillät förenklade modeller att användas. Så kallade zonmodeller ersatte då grova handberäkningsformler för att till exempel uppskatta temperaturen i brandröken. Principen för dessa, tidiga, brandsimuleringsverktyg visas i Figur 2. Beräkningsmetodikens baserar sig på att varje rum delas upp i två zoner, en övre zon med varma brandgaser och rök och en undre zon bestående av frisk luft. Brandgaser transporteras momentant från branden till den övre zonen i brandrummet via en empirisk ekvation för hur luft och brandgaser interagerar i den uppåtstigande rökplymen.



Figur 2. Zonmodellen bygger på förenklade ekvationssystem och geometrier.

Zonmodellerna offrar precision i beräkningen till förmån för förenklat handhavande och snabba beräkningstider. Kraven på datorkapacitet är mycket låg. Lokala effekter beaktas inte, vilket i praktiken innebär att resultaten blir samma oavsett var i rummet det brinner med konstanta värden över hela zonen. Hanteringen av strömning mellan zoner och mellan rum beskrivs normalt med måttlig eller dålig tillförlitlighet. Fler än tre rum är inte att rekommendera, främst på grund av den förenklade hanteringen av strömning i öppningar.

Dessa begränsningar, i kombination med de svårigheter som finns, att ytterligare utveckla och förbättra zonmodellerna, talar för att man vid beräkningar av en brands konsekvenser bör tillämpa mer generella metoder.

För att, i verkans- och sårbarhetssimuleringar, illustrera brandproblematiken i en singular volym är det bekvämt och helt korrekt att använda konceptet med zonmodellering. Ungefärliga värden på rökfyllnadsförloppet och temperaturen i gaserna kan erhållas, för rimlighetskontroll kan resultatet jämföras med handberäkningsformler. Om simuleringen gäller verkan i ett mål bestående av stora volymer eller många delvolym (rum) bör mer avancerade modeller användas med tanke på de begränsningar zonmodellerna medför. Det ska dock beaktas att det inte är praktiskt genomförbart att simulera lika många gånger (t.ex. en gång per Monte Carlo-cykel som AVAL arbetar) med de avancerade programmen som med zonmodeller med tanke på de relativt långa beräkningstider som krävs (i dagsläget storleksordningen 10-tals timmar eller mer). Istället krävs att användaren väljer

ut ett antal dimensionerande scenarier som granskas mer i detalj. Denna metodik rekommenderas starkt i situationer då beräkningen ska utgöra beslutsunderlag.

Mer avancerade program löser konserveringsekvationer för massa, rörelsemängd, energi och kemiska ämnen på en fin mesh. En fördel med detta är att även spridningsförlopp vid oavsiktliga utsläpp av toxiska gaser kan simuleras, inte bara brand och brandgasspridning.

3. Brandsimulering i AVAL

I AVAL används en zonmodell enligt ovan för brandsimuleringar. I de fall då modellen anger att en brand uppstår i ett mål kopplas brandmodellen in varefter olika komponenter kan skadas av hög temperatur eller rök (främst personal). Under simuleringen fås rök- och temperaturspridning i målet vid alla beräkningstidpunkter. Vid en viss uppnådd temperatur kan målets brandsläcknings-system aktiveras och släcka branden. Modellen kan inte göra skillnad på var i rummet branden uppstått vilket gör det svårt att göra bedömningar avseende lokala skador.

För att kunna simulera brand med AVAL krävs att man i målbeskrivningen definierar en eller flera beräkningsvolymmer. Dessa kan antingen utgöras av separata komponenter (polyedrar utan väggtjocklek eller fyllning) eller samma komponenter (polyedrar med väggtjocklek och eventuellt fyllning) som definierar geometrin hos målet. I det senare fallet utökas informationsmängden i komponentbeskrivningen. Till volymsdefinitionerna tillförs dessutom ytterligare information om kopplingar (öppningar) mellan olika volymer (hålareor) och hur stor del av volymerna som inte är fyllda av komponenter. Utöver de öppningar som är fördefinierade kan nya skapas under simuleringen till följd av till exempel explosioner.

Vanligen definieras separata komponenter för att beskriva beräkningsvolymerna. Genom detta förfaringssätt skapas redan under målbeskrivningsarbetet en förenklad beskrivning av målets inre utformning som lämpar sig väl att utnyttja i mer sofistikerade beräkningsprogram. Vid behov kan formnoggrannheten förbättras inför simuleringar med andra program.

4. Användning av CFD i verkansvärdering

Inom ramen för projektet har tre olika program för strömning och turbulent förbränning studerats som komplement till zonmodellanalys vid framtida verkans- och sårbarhetssimuleringar. Karaktäriserande för de studerade programmen är att de kan utvärdera turbulent strömning vid icke-förblandad förbränning (det vill säga förbränning där bränsle och syre blandas först i reaktionszonen). De tre CFD koderna, Computational Fluid Dynamics, som behandlats är SOFIE¹, FDS² samt en av FOI egenutvecklad modell baserad på programmeringsverktyget FOAM³.

För att kunna nyttja något av dessa program för verkanvärderingsändamål måste resultaten tas om hand på lämpligt sätt. I AVAL 6.1 kan temperatur och rökspridning i olika rum visualiseras endast i läget ”Single Shot”. Det finns ingen möjlighet att direkt importera data från något annat beräkningsprogram i syfte att visualisera resultaten i AVAL tillsammans med övriga resultat. Om AVAL sparade en resultatfil med data till visualiseringsfunktionen skulle data i denna fil kunna förändras med resultat från ett CFD-program. Då borde det vara möjligt att även utnyttja AVAL:s möjligheter till att studera statusen hos olika system i målobjektet.

Vid simuleringar i större mängd, vilket är vanligast vid verkansvärdering (”Lethality-” och ”Vulnerability simulations”) kräver CFD-programmen troligen för lång beräkningstid för att kunna vara en integrerad del av varje beräkningscykel. Istället måste alltså ett antal scenarier definieras och analyseras separat för att på så sätt komplettera beräkningen.

Även om beräkningstekniker som baseras på CFD har stor potential och ger mer noggranna prediktioner än andra metoder finns det flera begränsningar, framför allt på grund av att forskningen inte hunnit med att täcka alla områden. Det är därför viktigt att vara extra försiktig i scenarier som innefattar fenomen som gränsar till okänd fysik, till exempel interaktion mellan ett släckmedel och en flamma, antändning som följd av värmestrålning, flamspridning och underventilerade bränder, områden som idag utgör forskningsfronten inom brandteknik.

4.1 SOFIE, Simulation Of Fires In Enclosures

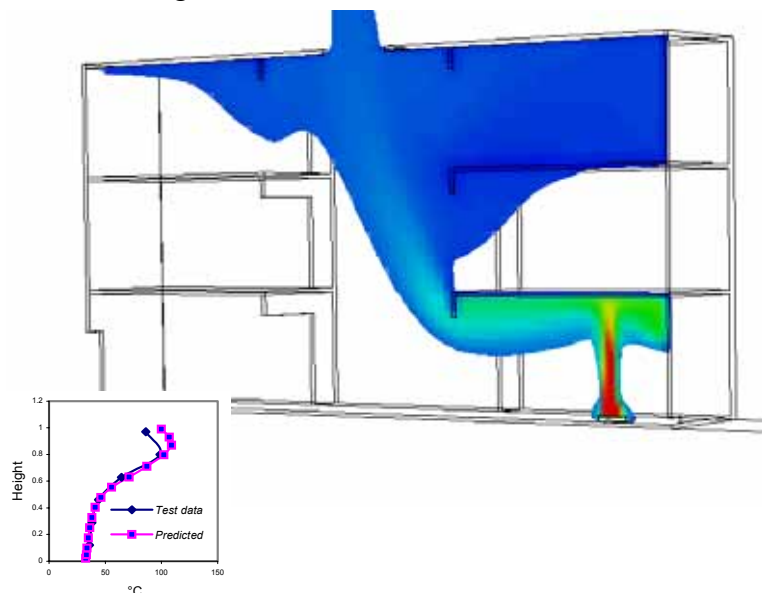
SOFIE är resultatet av ett internationellt samarbete mellan England, Finland och Sverige med huvudparten av programmet skrivet vid Cranfield University i England. Programmet har indata i form av script eller genom ett textinterface. Det finns inget visualiseringsverktyg inbyggt men utdata kan exporteras till en mängd olika format som lätt utvärderas med något lätt tillgängligt program såväl freeware som kommersiella program.

1 <http://www.cranfield.ac.uk/sme/sofie>

2 <http://fire.nist.gov/fds>

3 <http://foam.sourceforge.net/>

SOFIE är en RANS-kod (Reynolds Average Navier-Stokes) vilket innebär att programmet löser turbulensproblemet genom att medelvärdesbilda transportekvationerna. Ett flertal turbulensmodeller finns implementerade men den avgjort vanligaste är standard k-ε modellen. Detta innebär att utdata ges som medelvärdesbildade värden, se till exempel Figur 3. Figuren visar brandgasspridningen med en färgskala för gastemperatur vid en simulering av en försöksmodell i tre plan ursprungligen genomförd för validering av AVALs brandmodell men också för holländska TNO's motsvarighet till AVAL.



Figur 3. Temperatur i brandgaserna, utdata från SOFIE. Simulering av Jörgen Carlsson, FOI.

Överföring av geometrisk data från AVAL till SOFIE är mycket enkel. Det är enkelt att skriva en kort programkod som överför AVAL-koordinater till en VRML-fil som i princip skulle kunna läsas direkt av SOFIE. I praktiken kan det krävas viss modifikation vilket lätt kan göras med något 3D-Cad program, exempelvis AC3D⁴.

Efter flera års utveckling har man nu dessvärre valt att inte fortsätta att utveckla eller underhålla SOFIE. Programmet finns emellertid tillgängligt för den som vill använda det.

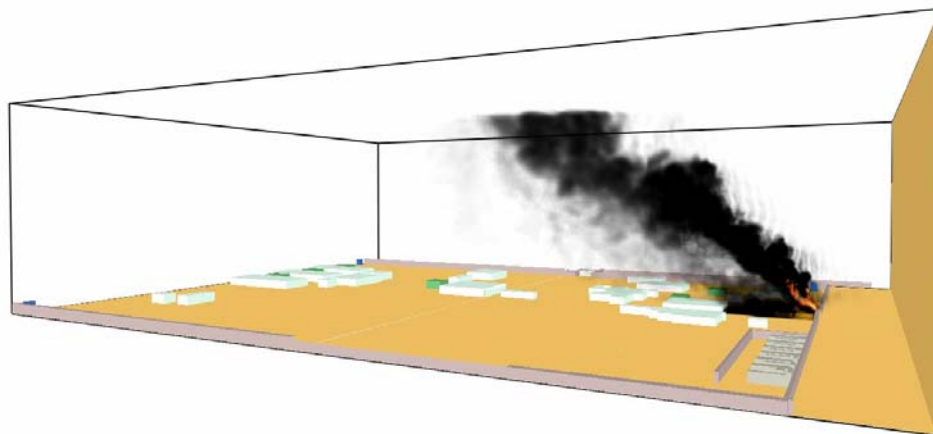
4.2 FDS, Fire Dynamic Simulator

FDS utvecklas av amerikanska BFRL-NIST (Building and Fire research Laboratory - National Institute of Standards and Technology). Programmet är mycket robust och enkelt att använda. Det är också mycket förlåtande och ger lösningar nästan oavsett indata vilket kan innebära att simuleringar ibland ger felaktiga lösningar som inte upptäcks om inte modelleraren är systematisk i utvärderingen. Indata ges via en textfil och utdata kan visualiseras med systerprogrammet Smokeview.

⁴ <http://www.ac3d.org>

FDS baseras på en (förenklad) variant av LES, Large Eddy Simulation. Genom förenklingar och smart programmering, som visserligen minskar flexibiliteten, har man åstadkommit en relativt snabb CFD lösare. Dessutom finns flera intressanta funktioner implementerade, exempelvis kan man i likhet med modellen i AVAL göra hål i väggar på grund av avbrinning, penetration eller explosion.

Programmet har bland annat använts vid FOI för att simulera brand i cisternparken på en militär camp, se Figur 4. I skrivande stund används det även för att utvärdera konsekvenserna vid brand i några av försvarets undermarksanläggningar.



Figur 4. Simulering av flamma och rökplym vid brand i bränsledepå vid en militär camp. I simuleringen blåser det en vind från höger i bild, 5 m/s. Simulering av Jörgen Carlsson, FOI.

Överföringen av koordinater för simuleringsgeometri från AVAL kräver en viss arbetsinsats. Geometrisk beskrivning kan läsas in till FDS via standard cadfiler (DXF) men eftersom FDS endast läser ytor av typen 3D-face måste alla ytor från AVAL ritas av. Geometrin måste alltså ritas om, men eftersom AVAL-beskrivningen kan användas som mall går detta förhållandevis enkelt.

En fördel med FDS är att arbete med att utveckla nya beräkningsrutiner och förbättra de befintliga pågår för fullt. Enkelhet och användarvänlighet prioriteras ofta på bekostnad av noggrannhet men resultatet har blivit ett flertal enkla och praktiskt intressanta funktioner. Exempelvis finns färdiga rutiner för simulering av detektoraktivering, aktivering av sprinkler och även interaktion mellan vattensprinkler och brand. Vikten av att känna till de begränsningar som finns inom den befintliga kunskapen innan nya funktioner används kan inte nog poängteras.

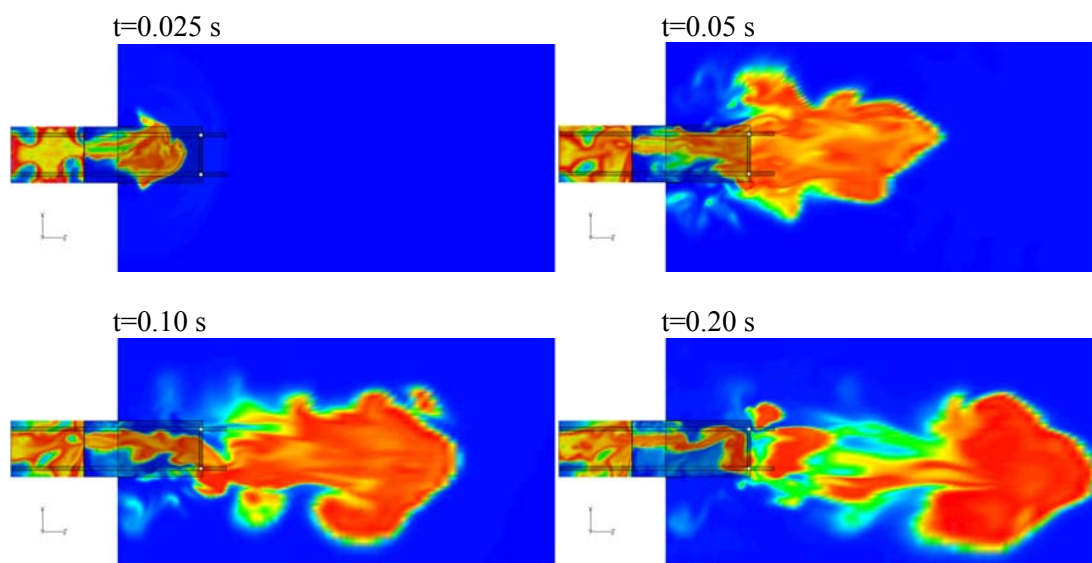
4.3 FOI:s egenutvecklade modell, FOAM

FOI ligger i framkant inom tillämpad beräkningsfysik. FOAM (Field Operation And Manipulation) heter det numeriska verktyget som används för att utveckla skräddarsydda modeller för olika strömningsfall. Detta inkluderar de mest sofistikerade beräkningsmetodikerna som beaktats inom denna studie. Det följer att koden innehåller färre förenklingar samtidigt som den är mer svåränvänd. Programmet kräver en rad indatafiler och det saknas visualiseringsverktyg, på

FOI används kommersiella programvaror för att illustrera resultaten grafiskt, till exempel Fieldview⁵.

Turbulent strömning simuleras främst genom olika LES-metoder, en populär metodik inom tillämpad strömningsforskning. Det är först på senare tid som man tagit upp problematiken med icke-förblandad förbränning och tyngdkraftstyrda flöden. Vad som framför allt är intressant med detta spår är att man principiellt skulle kunna bygga in flera olika förbränningsfenomen och samköra dem. Geometrin behöver heller inte förenklas nämnvärt vilket kan vara en stor fördel.

I Figur 5 visas en tidssekvens från simulering av en detonation i ett rum (ca 25 m²) med öppen dörr. Laddningen är en modell av första generationens ryska termobar.



Figur 5. Simulerad effekt av en termobarladdning. Gasmolnet är färglagt enligt en temperaturskala. Simulering av Oskar Parmhed, FOI.

FOAM används enklast tillsammans med en kommersiell meshgenerator. På FOI används till exempel ICEM⁶. I likhet med SOFIE kan man här importera VRML filer till ICEM vilket gör konverteringsskriptet som nämndes ovan användbart. Även här krävs att hela geometrin av simuleringsojektet ritas om samt att ytor och block definieras i ICEM för att en mesh ska kunna genereras och att programmet ska förstå skillnaden mellan de olika delarna i geometrin.

⁵ <http://www.ilight.com>

⁶ <http://www.ansys.com/products/icemcfd.asp>

5. Sammanfattning och slutsats

I mindre enstaka utrymmen, till exempel ett markfordon, är det rimligt att även fortsättningsvis använda en zonmodell för att uppskatta konsekvenserna av en brand. Kontrollberäkningar med handberäkningsformler rekommenderas för att uppskatta rimligheten i resultaten. Tvåzonsmodeller ska inte användas i scenarier med många separata rum/utrymmen eller om geometrin är avlång, exempelvis i en korridor eller en tunnel.

I de fall då ett mer detaljerat beslutsunderlag avseende brand efterfrågas rekommenderas att någon CFD-modell används. Detta kan till exempel vara fallet vid analys av brandskyddets utformning vid fartygsdesign. I sådana fall måste ett antal intressanta scenarier tas fram för att detaljgranskas och i efterhand komplettera verkans- och sårbarhetssimuleringen. I skapandet av dessa scenarier kan man ta nytta av genomförda AVAL-simuleringar och därvid ta hänsyn till träffpunkter som kan ge upphov till brand och risk att släcksystem skadats.

Tre olika beräkningskoder baserade på CFD har valts ut och möjligheterna att koppla den geometriska beskrivningen av ett mål i AVAL till respektive CFD-kod har utvärderats.

CFD-koden SOFIE är den enda modell som inte kräver att man ritat om hela geometrin, men det är ändå troligt att vissa justeringar är nödvändiga. Detta, i kombination med att koden utvecklats specifikt för brandtekniska beräkningar, talar till förmån för denna. Att koden inte längre utvecklas eller underhålls talar starkt emot vidare användning av SOFIE.

FDS är framtagen av BFRL-NIST och är open source och freeware. Programmet är lätt att använda och har relativt korta exekveringstider. Scenariot måste visserligen ritas om med 3D-faces istället för vanliga linjer och ytor men detta görs enkelt i AutoCad utifrån den befinliga AVAL-beskrivningen.

För användning i samband med verkansvärdering utgör FDS den bästa lösningen på kort sikt.

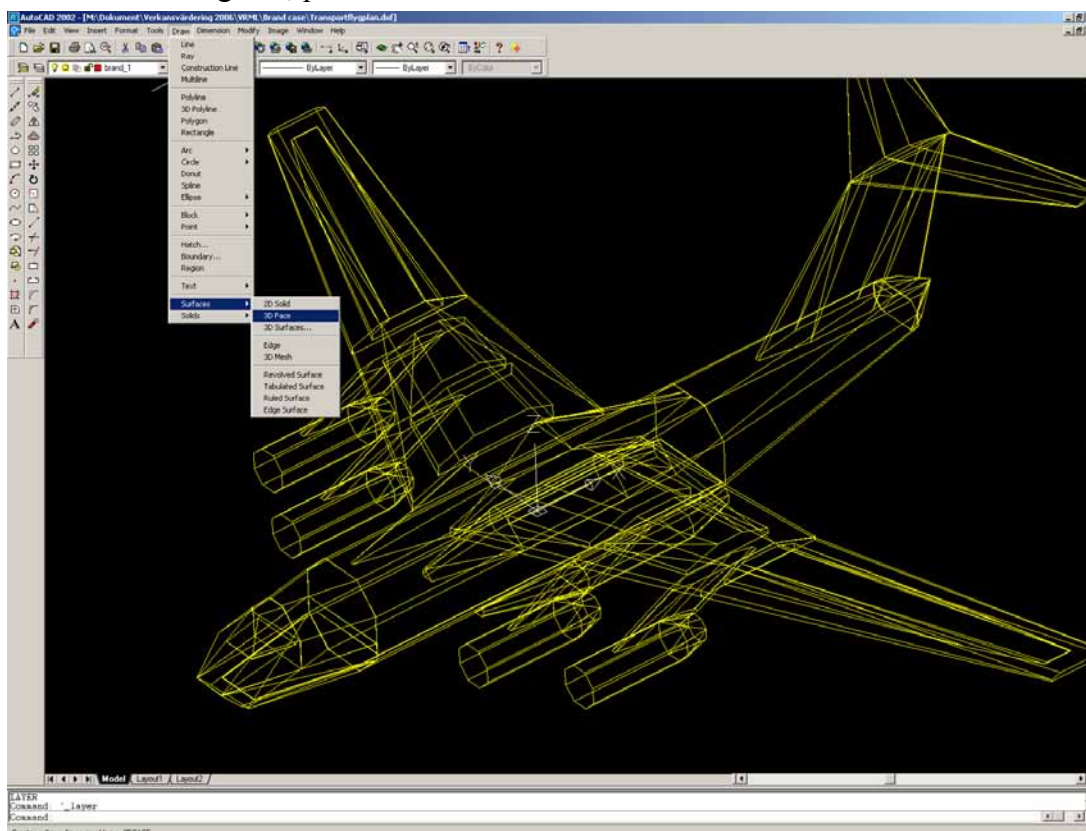
På lång sikt är den klart bästa lösningen att jobba aktivt i samarbete med Grindsjöns grupp för beräkningsfysik och då utveckla FOAM för brandtekniska simuleringar. Detta har potential att leda till synergieffekter om fler, olika beräkningsmetoder, kan samverka till exempel explosion och brand. Det är också en mycket stor fördel att ha kontakt med modellutvecklarna utan mellanled och utan fördröjning. Att använda geometrin direkt från AVAL går inte här heller men eftersom filer av VRML-format kan läsas in handlar det mest om att rita av befintliga strukturer.

Även om ett avancerat program för turbulent förbränning och brandgasspridning används i samband med värderingar återstår problemet med antändning och brandtillväxt, det vill säga att för det första avgöra om en given händelse leder till brand och för det andra hur stor branden blir och med vilken hastighet den växer.

Bilaga 1. Förslag på konverteringsmetodik med exempel

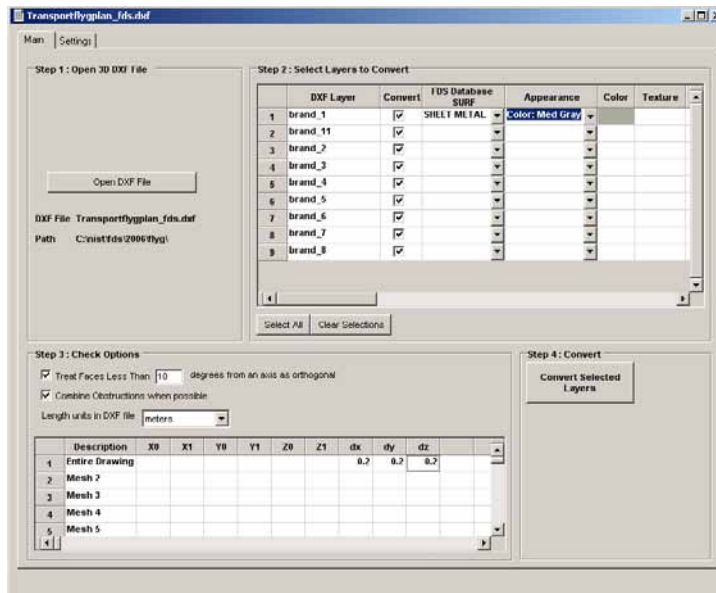
Eftersom konceptet med CFD-simulering är nytt inom verkansvärdering är det rimligt att börja med det mest lättanvända programmet, FDS. Detta kan sedan ge en fingervisning om de behov som finns och hur de kan täckas. Här ges, i punktform, en instruktion för konvertering av en målbeskrivning från AVAL till CFD-programmet FDS. Det medföljande exemplet visar tillvägagångssättet och slutresultatet på ett flygplan.

1. Öppna den befintliga AVAL-målbeskrivningen via dess trg-fil i AutoCad/AVALCAD. Så länge AVALCAD-funktionen *save target inte* används kommer inte beskrivningen ändras.
2. Använd AutoCad för att ta bort de komponenter som inte behövs för brandsimuleringen. Det räcker egentligen att släcka de lager som inte behövs. Efter detta moment bör ritningen endast visa väggar, golv och tak samt eventuellt några stora komponenter, generellt sådant som kan påverka luftströmmar eller som kan vara potentiella brand- och/eller skyddsobjekt.
3. Rita ytor av typen 3D-face på alla begränsningsytor som ska utnyttjas i brandsimuleringen. Helst bör man här utnyttja separata ritningslager för olika delkomponenter, ju fler lager desto lättare att läsa koden i efterhand. Öppningar kan skapas på två sätt: 1. i efterhand genom att i FDS definiera hål (kommando &HOLE x_start x_end y_start y_end z_start z_end) alternativt 2. genom att rita väggar runt öppningen i AutoCad. Om man vill göra hål i efterhand kan det vara behändigt att, med ett 3d-face, markera en yta på den struktur i vilken hålet ska göras, på så sätt erhålls enkelt koordinaterna för hålet.



Figur B1. Flygplanet måste ritas om med 3D-faces. Det är fullt möjligt att ”spegla” ett 3D-face vilket i praktiken innebär att endast halva planet behöver ritas av.

- Resultatet sparas i en dxf-fil. Vid konvertering till FDS väljer användaren själv vilka lager som ska konverteras till FDS-geometri, endast lager som innehåller 3d-face ytor kan konverteras. Praktiskt innebär detta att ritningen egentligen inte behöver rensas från andra lager.
- Använd tilläggsprogrammet DXF2FDS för att läsa in dxf-filen och skapa en indatafil till programmet FDS (Fire Dynamic Simulator). Här kan olika lager definieras som olika material, till exempel väggar av ett material, balkar av ett annat. Om en brand inne i flygplanet ska simuleras räcker det att konvertera de lager som bygger upp flygplanskroppen, men om en extern brand ska studeras måste hela ritningen tas med.



Figur B2. Konvertering av olika Cad-lager, endast 3D-face kan konverteras.

- Konverteringen i DXF2FDS resulterar i en grov indatafil där geometrin är klar men där det återstår att definiera brandkälla, bränsle, önskad utdata osv.
- CFD bygger på att en beräkningsvolym delas in i flera små delvolym. Ju mindre delvolym desto bättre upplösning av flödet. Med dagens beräkningskapacitet är det möjligt att simulera scenarier med i storleksordningen 1 miljon delvolym. Därför kan upplösningen bli betydligt bättre om beräkningsdomänen begränsas till flygplanskroppen än om hela planet inklusive vingar, motorer och liknande inkluderas. Figur B3 på nästa sida visar resultatet från konverteringen jämfört med originalritningen.

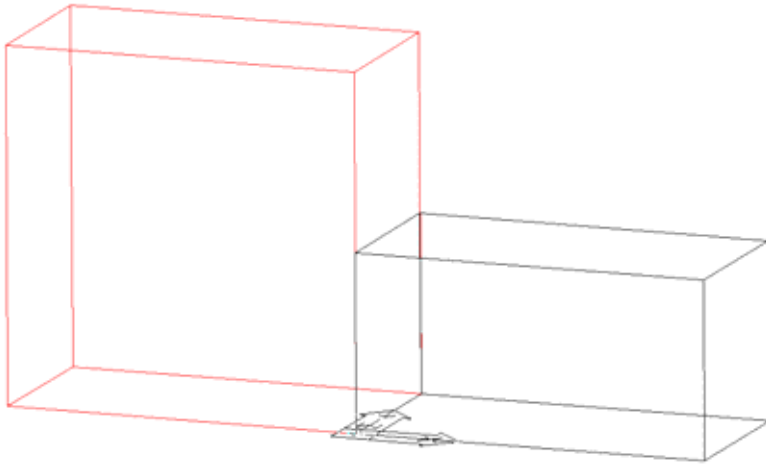
Beräkningsdomänen för simulering av extern brand, till exempel på grund av bränslespill, är i grundutförandet uppdelad i en mesh med ca 6 miljoner delvolym medan geometrin för brand ombord byggs upp av ca 2 miljoner delvolym. I en CFD analys är det väsentligt att genom kontrollberäkningar förvissa sig om att resultatet inte är beroende av antalet delvolym.



Figur B3. Yttre geometri från ordinalritningen (överst) samt FDS-geometri för simulering av extern brand (nere till vänster) respektive för simulering av invändig brand (nere till höger, en av lånsidorna har tagits bort för åskådligheten).

Bilaga 2. Exempel på geometriformat

Som exempel redovisas nedan två AVAL-komponenter med tillhörande data. Mellan den större (röda, vänstra) och den mindre (svarta, högra) finns ett hål med tvärsnittsarean 0.5 m^2 . Komponenterna är ritade med AutoCad, varigenom de kan sparas i ett antal olika format.



Figur 1: De två komponenterna som tillsammans definierar beräkningsvolymen.

Nedan visas del av AVAL-data för en av de två komponenterna (den högra) med blå förklaringstext.

| | | | |
|--------------------------|---|--------------------------|---|
| " | | | |
| !----- | | | |
| 1 | 'Volym höger' | ! Component no. and name | Komponentnamn |
| !----- | | | |
| '0' | ! Layer name | | |
| 1 | ! Component type | | |
| 2 | 1 ! Geometry type, Internal material type | | |
| ! | Internal protection | | |
| ! | Probability and protection (m/m) for each pair value | | |
| 0 | !Number of pair values | | |
| 8 | ! Number of corners | | |
| ! | Corner#, X: Y: Z: | | Hörnkoordinater |
| 1 | 0.00000 1.00000 1.00000 | | |
| osv för alla hörnpunkter | | | |
| 8 | 0.00000 0.00000 0.00000 | | |
| 6 | ! No. of surfaces | | |
| ! | Surface #, Material type, Splintergen. flag, Linertype, Thickness, No. of corners and Corners | | |
| 1 | 1 0 0 0.0000 4 8 4 1 5 | | |
| osv för alla ytor | | | |
| 6 | 1 0 0 0.0000 4 6 7 8 5 | | |
| 2 | !Which volume number this structure is representing 0 if none | | Vilken volym komponenten definierar |
| ! | Data for each surface: | | Data för respektive sida |
| ! | Surf. #, Area(m2), Open. (m2), Loc(1-F,2-W,3-C), Water leakage flag. | | |
| ! | Pressure damage criterion (-1 if not sensitive), Out. press. sens. flag. | | |
| ! | No. of adjacent volume polyhedron surfaces, Pol No., Surface No. | | |
| ! | No. of vital parts close to the side, Vital part No:s | | |
| 1 | 1.000 0.500 2 0 | | Sida 1, area 1 m^2 , öppning $0,5 \text{ m}^2$, vägg |
| -1 | 0 | | |
| 1 | 2 3 | | Sida 3 på komponent 2 är kopplad till denna sida |
| 0 | | | |
| osv för alla sidor | | | |
| 6 | 2.000 0.000 1 0 | | |
| -1 | 0 | | |
| 0 | | | |
| 0 | | | |

Genom att AVAL uteslutande arbetar med in- och utdata i form av textfiler är det enkelt att läsa data och vid behov konvertera den till ett annat lämpligt format, tex VRML-formatet (ViRtual Modelling Language).

En geometribeskrivning enligt VRML-format, version 1.0, ser typiskt ut enligt nedanstående:

```
# Object s:beam1
Separator {
Coordinate3 {
point [
0.00 7.93 6.00,           Här anges koordinaterna för balkens åtta hörn
0.00 8.23 6.00,
14.0 8.23 6.00,
14.0 7.93 6.00,
0.00 7.93 6.30,
0.00 8.23 6.30,
14.0 8.23 6.30,
14.0 7.93 6.30]
}
IndexedFaceSet {

    coordIndex [ 2, 0, 1, -1,
0, 2, 3, -1,           Här bildas balkens ytor genom att de åtta hörnen
2, 7, 3, -1,           (numrerade 0-7) paras ihop till 12 linjer genom att
7, 2, 6, -1,           gå motsols.
7, 5, 4, -1,
5, 7, 6, -1,
5, 0, 4, -1,
0, 5, 1, -1,
5, 2, 1, -1,
2, 5, 6, -1,
7, 0, 3, -1,
0, 7, 4, -1 ]
    materialIndex [ 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2, 2 ]
}
}
```

Såväl SOFIE som ICEM (som används tillsammans med FOI:s egen kod) läser filer med ovanstående format.

FDS har ett mycket enkelt indataformat vid beskrivning av den geometriska utformning på ett scenario. Väggar, tak och andra solida hinder läses in genom att ange hindrets diametrala koordinater enligt x1, x2, y1, y2, z1, z2. Balken enligt ovan beskrivs då genom kommandot:

```
&OBST XB = 0, 14, 7.93, 8.23, 6.00, 6.30 /
```

Alternativt kan man rita en geometri med 2d-tytor (3d-faces) i AutoCad och därefter låta FDS's tillägsprogram DXF2FDS sätta ihop geometrin själv.