

Linus Fast

Aspekter på värdering av tunga sjömålsvapens verkan

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Vapen och skydd
147 25 Tumba

FOI-R--1424--SE

November 2004

ISSN 1650-1942

Användarrapport

Linus Fast

Aspekter på värdering av tunga sjömålsvapens verkan

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Vapen och skydd 147 25 Tumba	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1424--SE	Klassificering Användarrapport
	Forskningsområde 5. Bekämpning och skydd	
	Månad, år November 2004	Projektnummer E2007
	Delområde 51 VVS med styrda vapen	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Linus Fast	Projektledare Gunnar Wijk	
	Godkänd av Carin Lamnevik	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarmakten	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Staffan Harling	
Rapportens titel Aspekter på värdering av tunga sjömålsvapens verkan		
Sammanfattning (högst 200 ord) Föreliggande rapport avser att belysa möjligheter och begränsningar att värdera effekter av tunga sjömålsvapens verkan i fartyg. Väsentliga slutsatser i rapporten är: <ul style="list-style-type: none"> • Kontinuumdynamiska modeller för beräkning av vapeninducerade skrovstrukturresponser är direkt applicerbara och används redan idag inom sårbarhetsstudier av nya ytstridsfartyg • Dessa modeller kräver stora datorresurser, varför det ej ännu är möjligt att simulera globala effekter i hela skrovstruktur. Vidare krävs vidareutveckling av modellerna, främst avseende kriterier för strukturell kollaps (brottmekanik) • Den svenska systemorienterade verkans- och sårbarhetsmodellen AVAL hanterar i stort sätt samtliga relevanta verkansformer (splitter, tryck etc.), med några viktiga undantag: utbredd stötverkan och degraderad skrovstyrka/skrovkollaps, orsakade av inombords explosioner I ett appendix presenteras förslag på hur man i AVAL, på kort och lång sikt, kan hantera degraderad skrovstyrka/skrovkollaps för värdering av nya internationella skyddskoncept för ökad överlevnadsförmåga: <ul style="list-style-type: none"> • Felträdbaserad metod för värdering av degraderad skrovstyrka och resthållfasthet • Direkta hållfasthetsberäkningar, utgående från en beräkningsmodell för simuleringar av böjsvängningar orsakade av undervattensexlosioner 		
Nyckelord vapen, verkan, sårbarhet, överlevnad, värdering, fartyg		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 20 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--1424--SE	Report type User report
	Programme Areas 5. Strike and protection	
	Month year November 2004	Project no. E2007
	Subcategories 51 Weapons and Protection	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Linus Fast	Project manager Gunnar Wijk	
	Approved by Carin Lamnevik	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces	
	Scientifically and technically responsible Staffan Harling	
Report title (In translation) Some notes on assessment of heavy naval weapons effects		
Abstract (not more than 200 words) This report highlights means and limitations of assessments of heavy anti-ship weapons effects in ships. Essential conclusions are: <ul style="list-style-type: none"> • Continuum dynamical codes are applicable and already in use in practical design studies, however • Limitations in computer power make it hard to fully study global effects in detail with such codes. • Future use of continuum dynamical codes call for further developments, like better material failure modelling • The Swedish vulnerability/lethality code AVAL principally handle all relevant weapons effects, but there are some exceptions like above water shock loading in complex structures and ultimate strength of damaged hull structures. <p>In an appendix, two proposals of how to handle ultimate strength of damaged hull structures are presented:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fault tree analyses, by use of vital structural components • Direct ultimate strength calculations, based on an existing model for simulations of UNDEX induced whipping. 		
Keywords weapon, weapons effects, vulnerability, survivability, assessment, ship		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 20 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning.....	5
2. Inledning/bakgrund.....	6
3. Värdering av verkan och sårbarhet.....	7
3.1 Kontinuumdynamiska modeller.....	7
3.2 AVAL.....	8
4. Värdering av tunga sjömålsvapens verkan med AVAL.....	10
5. Slutsatser och diskussion.....	12
Källförteckning.....	15
Appendix 1:	16
Kort om ökad överlevnadsförmåga hos ytstridsfartyg	
Appendix 2:	19
Möjliga metoder för att i AVAL hantera vapeninducerad degraderad skrovstyrka i fartyg	

1. Sammanfattning

Föreliggande rapport avser att belysa möjligheter och begränsningar att värdera effekter av tunga sjömålsvapens verkan i fartyg. Värdering av verkan och sårbarhet hanterar de komplementära fallen *vapens verkan i mål* och *målens överlevnadsförmåga vid vapenträff*.

Väsentliga slutsatser i rapporten är:

- Kontinuumdynamiska modeller för beräkning av vapeninducerade skrovstrukturresponser är direkt applicerbara och används redan idag inom sårbarhetsstudier av nya ytstridsfartyg
- Dessa modeller kräver stora datorresurser, varför det ej ännu är görligt att simulera globala effekter i hela skrovstrukturer. Vidare krävs vidareutveckling av modellerna, främst avseende kriterier för strukturell kollaps (brottmekanik)
- Den svenska systemorienterade verkans- och sårbarhetsmodellen AVAL hanterar i stort sätt samtliga relevanta verkansformer (splitter, tryck etc.), med några viktiga undantag: utbredd stötverkan och degraderad skrovstyrka/skrovkollaps, orsakade av inombords explosioner

I appendix 1 redogörs kortfattat för den internationella utvecklingen avseende fartygs överlevnad vid vapenträffar, vilken i hög grad syftar till att säkra såväl strukturell som systemmässig stryktålighet mot vapen, inkluderande tunga sjömålsrobotar.

I appendix 2 presenteras förslag på hur man i AVAL, på kort och lång sikt, kan hantera degraderad skrovstyrka/skrovkollaps för värdering av de nya internationella skyddskoncepten:

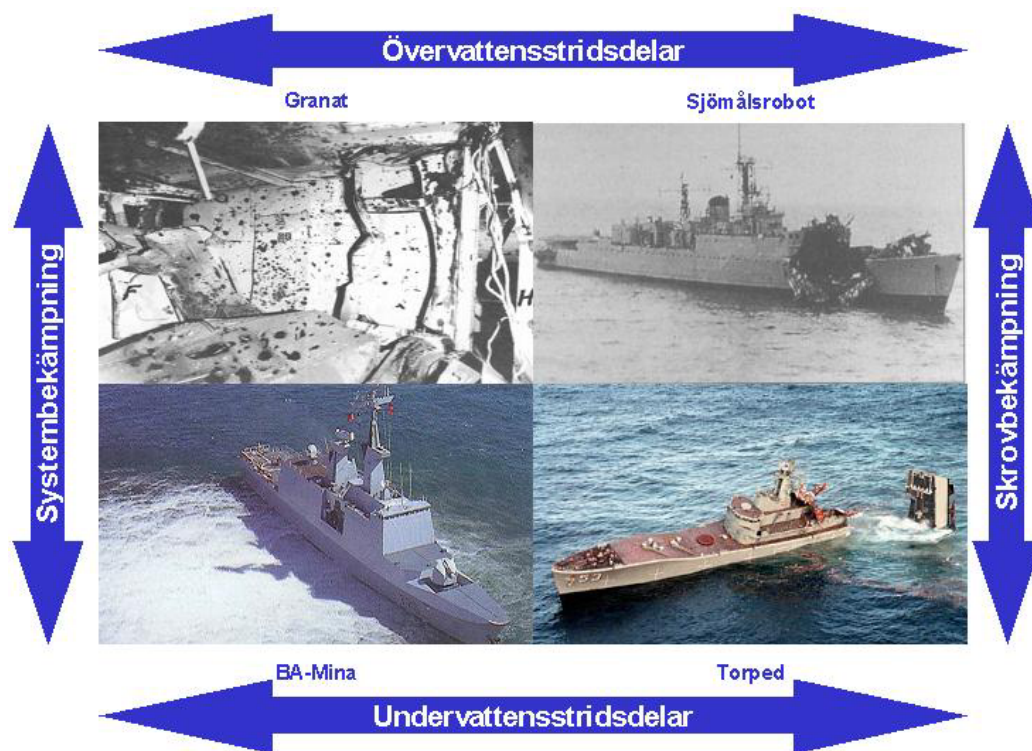
- Felträdsbaserad metod för värdering av degraderad skrovstyrka och resthållfasthet
- Direkta hållfasthetsberäkningar, utgående från en beräkningsmodell för simuleringar av böjsvängningar orsakade av undervattensexlosioner

2. Inledning/bakgrund

Den marina teknikutvecklingen efter VK2, i synnerhet då från sent 1950-tal/tidigt 1960-tal, har lett till att sjömålsbekämpning i hög utsträckning baserar sig på nyttjande av mer eller mindre långräckviddiga och målsökande vapensystem. Över ytan är sjömålsrobotar av olika typer dimensionerande vapenhot och under ytan motsvaras dessa av torpeder. Vid sidan av dessa bör dock andra vapenhot som flygbomber och, i kustnära sammanhang, minor och kustartilleri nämnas.

Typiskt för såväl sjömålsrobotar som torpeder är att vapnen innehåller stora mängder sprängämnen i stridsdelarna, typiskt innehåller dessa en mängd sprängämnen inom intervallet 50 kg till 300 kg även om mer extrema exempel förekommer.

Stridsdelar kan klassificeras på några olika sätt. Ur operativ synvinkel skiljes vanligen mellan övervattensstridsdelar och undervattensstridsdelar. Ur ett mer tekniskt verkansperspektiv kan det vara mer befogat att skilja mellan stridsdelar som primärt slår mot plattformars tekniska system eller plattformars skrovstrukturer, se figur 1.



Figur 1, Klassificering av stridsdelar för sjömålsbekämpning
(BA: Bottenliggande/Avståndsvirkande)

Vid analyser av vapenverkan i fartyg, alternativt fartygs sårbarhet mot vapenverkan, krävs grundläggande förståelse för de skademekanismer, s.k. verkansformer, som de respektive stridsdelarna ger upphov till. Typiskt ger t.ex. övervattensstridsdelar upphov till såväl splitterverkan som tryckverkan, med brand- och rökspridning och vatteninströmning som möjliga sekundäreffekter.

Föreliggande rapport avser att belysa möjligheter och begränsningar att värdera effekter av skrovbekämpande stridsdelar, med visst fokus på sjömålsrobotar.

3. Värdering av verkan och sårbarhet

I huvudsak kan två huvudinriktningar identifieras inom verksamhetsområdet värdering av verkan och sårbarhet. Vid utveckling, anskaffning och modifiering av vapensystem är det av central betydelse att erforderlig verkansprestanda kan kravställas, specificeras och utvärderas. Vid utveckling, anskaffning och modifiering av plattformar, i detta fall fartyg, är det på motsvarande sätt av central betydelse att fartygssystemets egenskydd kan kravställas, specificeras och utvärderas. I detta fall ökar komplexiteten då hänsyn måste tagas inte bara till stryktålighet mot vapenverkan. För att uppnå högsta möjliga systemeffekt krävs en kostnadseffektiv balans mellan signaturanpassning över och under ytan, aktiva och passiva motmedel samt stryktålighet. I dagsläget saknas modeller för sådana totalvärderingar, varför dessa vanligen baseras på resonemangsspel som stöttas med simuleringar och annat tekniskt underlag täckande de relevanta teknikområdena, se exempelvis [1].

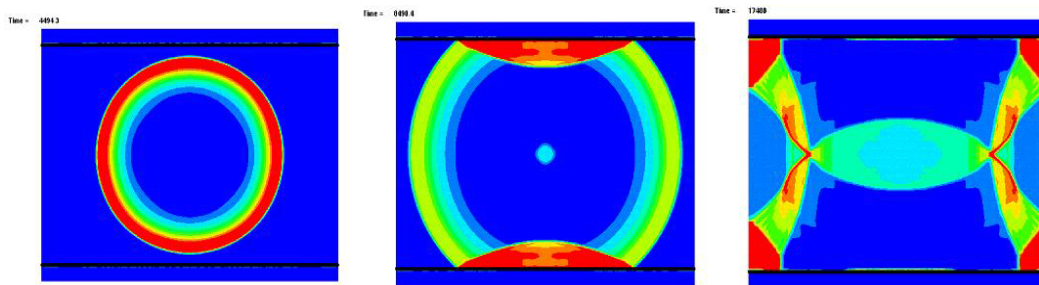
Värdering av verkan och sårbarhet bedrivs på olika systemnivåer. På grundläggande nivå används kontinuumdynamiska modeller, stöttade med experiment, för att analysera t.ex. tryckverkan från inombords detonerande robotstridsdelar eller undervattensstridsdelar i torpeder och/eller minor. På högre systemnivå används komplexa modeller för att analysera totaleffekter av vapenträff i ett mål.

3.1 Kontinuumdynamiska modeller

Kontinuumdynamiska beräkningsprogram medger komplexa och högupplösande fysikaliskt realistiska beräkningar där man i en och samma beräkning tar hänsyn till detonationsprocessen i explosivämnet, interaktion mellan explosivämne och omgivande luftmassa (stötvåg och tryckuppbyggnad), belastning av strukturpaneler (skott, däck m.m.) samt strukturell respons i målets skrovstruktur (deformationer, töjningar och spänningar). I princip kan t.o.m. mekaniska brott i paneler modelleras. Dock är man i de flesta praktiska fall begränsad av datorkapacitet och bristfälliga materialparametrar, främst dynamiska sådana.

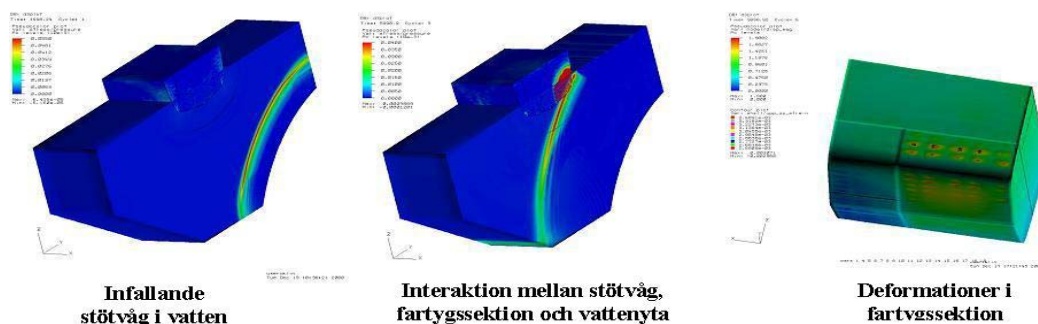
De beräkningstunga modellerna lämpar sig väl för detaljerade studier av skrovstrukturer som är dynamiskt belastade, t.ex. av luftstötvågor eller stötvågor från undervattensexlosioner.

I figur 2 ges ett exempel på hur stötvågsutbredningsförloppet kan se ut vid detonation i en sluten, containerliknande, volym. Notera särskilt de kraftiga interferensfenomen som uppkommer i samband med att stötvågen reflekteras mot de olika väggarna, särskilt i volymens hörn. Denna typ av interferensfenomen påverkar i hög grad skadeutfall på den studerade skrovstrukturen, men kan ej studeras med enklare, "ingenjörsmässiga", modeller.



Figur 2, Luftstötvågsutbredning i sluten volym

I figur 3 ges ett exempel på stötvågsutbredning i vatten, med åtföljande belastning av och respons i en sektion av ett fartyg.



Figur 3, Stötvågsutbredning under vatten och verkan på skrovstruktur

I värderingssammanhang har kontinuumdynamiska modeller använts inom ramen för studier av nytt ytstridsfartyg, med syfte att värdera nya skrovkonstruktioner med väsentligt höjd överlevnadsförmåga mot tryckverkan av inombords detonerande stridsdelar, se exempelvis [2] och [3].

3.2 AVAL

Akronymen AVAL står för Assessment of Vulnerability And Lethality. AVAL är en systemorienterad datorbaserad modell för värdering av verkan och sårbarhet. Modellen baserar sig i hög utsträckning på förhållandevis enkla, "ingenjörsmässiga" och semiempiriska matematiska delmodeller för beskrivning av, i stort sett, samtliga primära och sekundära verkansformer som konventionella stridsdelar ger upphov till, se tabell 1. Omfattande behov av statistisk databehandling i samband med skattning av komponentutslagning och dessas systempåverkan (felträdsanalys med Monte Carlo-teknik) gör det ogörligt att nyttja kontinuumdynamiska modeller för beskrivning av vapeninducerade belastningar och responser.

Tabell 1, Modellerade verkansformer för konventionella stridsdelar i AVAL

Primära verkansformer	Kommentarer
Penetration	KE-projektiler, splitter, RSV
Tryck	Luftstötvåg, kvasistatiskt tryck i "slutna" volymer, skrovgenombrott av undervattensexlosion
Hydraulic RAM	
Strukturskador	Resthållfasthet i enskilt skrovelement (främst avsett för luftmål)
Minverkan (mark)	
Stötverkan (sjö)	Stötvågsbelastning från undervattensexlosioner
Böjsvängningar (sjö)	Införs i AVAL version 6.0
Sekundära verkansformer	
Brand- och rökspridning	
Initiering av lagrad ammunition	
Bränsleläckage	
Vatteninströmning	Flytbarhet och läckstabilitet

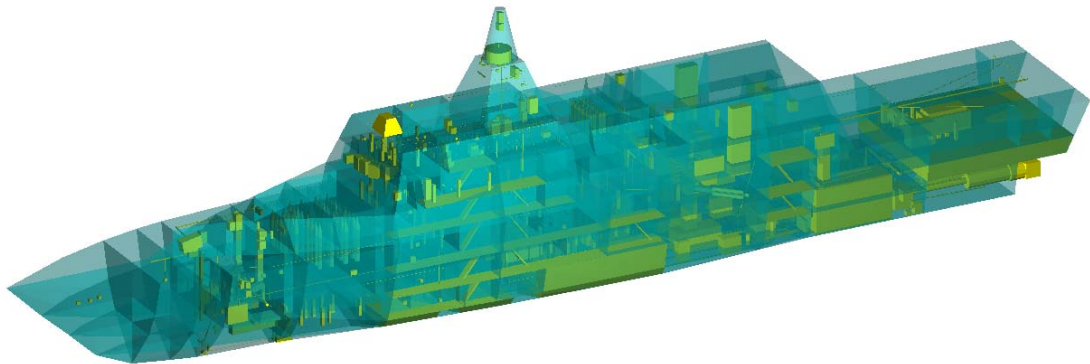
Med begreppet systemorienterad modell avses här att simulerade vapeneffekter i ett mål skall kunna kvantifieras i funktionella termer snarare än i tekniska termer. Typiska resultat av en AVAL-studie avser att ge svar på typiska frågor såsom:

- Med vilken sannolikhet bibehålls ett fartygs förmåga till ytstrid efter X träffar av vapentyp Y?
- Hur många insatser med vapentyp X krävs för att, med specificerad sannolikhet, försätta målfartyget Y ur stridbart skick?
- Hur skall systemredundans arrangemangsmässigt konstrueras för att minimera risken att funktionsmässigt redundanta system slås ut av en och samma vapeninsats?

För att kunna besvara denna typ av frågor krävs att det analyserade målet är utförligt beskrivet. En målbeskrivning i AVAL innehåller:

- Geometriska beskrivningar av målets skrovstruktur (inkl. däckshus/överbyggnader) och vitala komponenter (skeppstekniska och vapentekniska system m.m.)
- Mekaniska egenskaper hos skrovstrukturer och vitala komponenter (materialdata)
- Utslagningkriterier för vitala komponenter m.a.p. modellerade verkansformer
- Logiska systembeskrivningar (felträd) där vitala komponenter funktionsmässigt knyts samman i tekniska (del-)system som bygger upp målets övergripande förmågor och funktioner (framdrivning, ytstrid, ubåtsjakt m.m.)

I figur 4 ges ett grafiskt exempel på hur en målbeskrivning kan se ut för ett fartyg. Exemplet är taget från sårbarhetsstudier av nytt ytstridsfartyg, [4]. I figuren åskådliggörs vitala komponenter i gul färg (gul-grön för komponenter inombords).



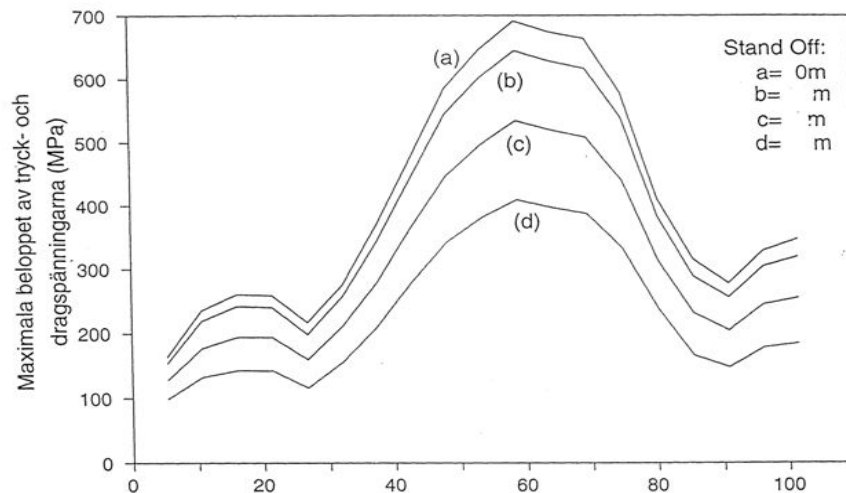
Figur 4, Målbeskrivning av fartyg

4. Värdering av tunga sjömålsvapens verkan med AVAL

Som framgått i tabell 1 kommer torpedinsats mot fartyg, i princip, att kunna modelleras fullt ut i samband med att AVAL 6.0 distribueras. Relevanta verkansformer vid torpedinsats är:

- Böjsvängning (explosionsinducerade vertikala skrovvibrationer)
- Lokal tryckverkan mot målets bordläggning (ibland kallat "kolvverkan")
- Stötverkan

Av dessa verkansformer är det primärt böjsvängningarna som har förmåga att skada ett fartygs skrovstruktur. I figur 5 ges exempel på rådata ur en verkanssimulering med en modell, liknande den som kommer att finnas i AVAL 6.0. Figuren visar hur maximala skrovbelastningar, i ett fartyg liknande målet i figur 6, varierar som funktion av laddningsläge (med stand off avses sidoavstånd från fartygets köllinje). I det aktuella fallet har en mindre torpedstridsdel tänkts detonera på ett specificerat djup under fartyget.



Figur 5, Simulering av böjsvängningar: Maximala beloppet av drag- och tryckspänningar (MPa) i skrovet som funktion av laddningsläge (m) från fören

Denna typ av rådata kommer i AVAL att jämföras mot kriterier för när skrovkollaps inträffar. Det möjliggör bl.a. beräkningar av erforderliga verkansavstånd för motmedelsinsatser, för en given fartygskonstruktion och ett givet torpedhot.

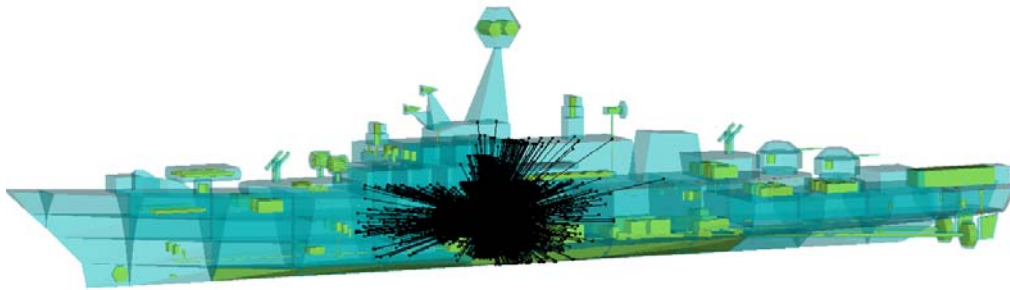
När det gäller värdering av sjömålsrobotar är läget något annorlunda. I formell mening hanterar AVAL de väsentliga primära verkansformerna:

- Penetration (splitter)
- Tryck

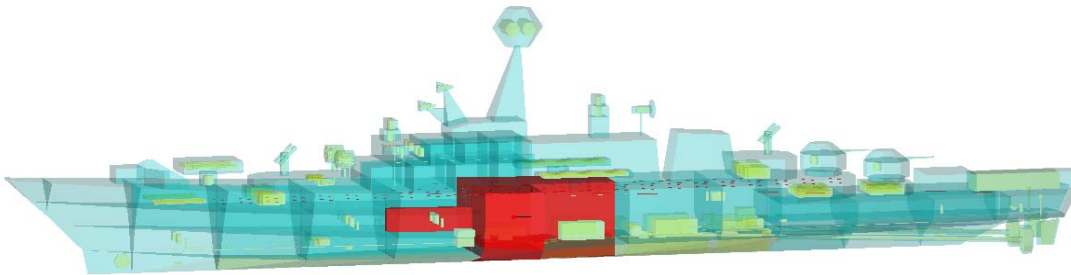
När det gäller penetration beaktas även möjligheten att roboten, vid utebliven initiering av stridsdelen, kan åstadkomma skada som en extrem "KE-projektil". I händelse av inombords detonation av roboten kommer tryckbelastningen att ge upphov till en stötvågstransmission i skrovstrukturen, något som kan skada

komponenter i andra utrymmen i fartyget än där brisaden sker (fenomenologiskt jämförbart med stötverkan av undervattensexpllosioner). Detaljerad kunskap om detta fenomen är dessvärre mycket bristfällig inom Sverige. Att fenomenet uppträder och att det beaktas vid dimensionering av andra nationers örlogsfartyg är dock känt.

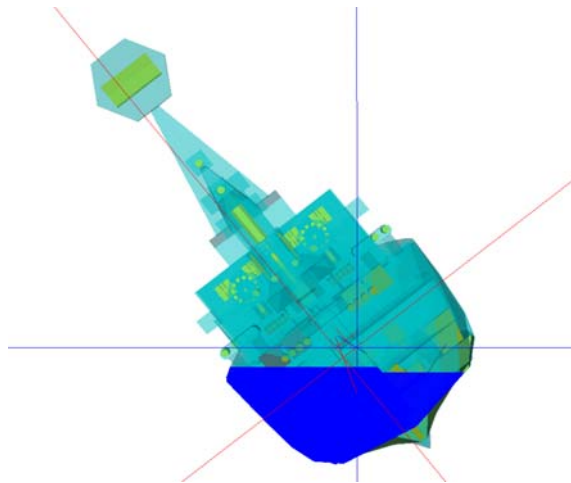
I figurerna 6, 7 och 8 ges exempel på en AVAL-simulering av sjömålsrobots verkan i ett generiskt sjömål av fregatts storlek.



Figur 6, Sjömålsrobots splitERVERKAN i generisk fregatt



Figur 7, Sjömålsrobots tryckVERKAN i generisk fregatt



Figur 8, Sjömålsrobots sekundärVERKAN i generisk fregatt: vatteninströmning

Det bör påminnas om att AVAL i huvudsak är ett systemorienterat verktyg för skattning av verkan och sårbarhet. I det exemplifierande bekämpningsfallet ovan har, med insats av en tung sjömålsrobot, följande typiska utslagnings sannolikheter erhållits:

Ytstridsfunktionen utslagen: 93%

Ubåtsjaktsförmågan utslagen: 85%

Luftförsvarsförmågan utslagen: 89%

Dessa utslagnings sannolikheter baserar sig i grunden på skattningar om att en mängd vitala tekniska systemkomponenter slagits ut av splitter, tryck och/eller väta. I figur 7 framgår tydligt att tryckbelastningen i detonationsvolymen, d.v.s. den sektion av fartyget i vilken stridsdelen briserar, överskridit kritiska nivåer så att t.ex. tvärskeppsskott i skrovstrukturen brustit. Detta har föranlett att tryckökning skett i förligt och akterligt angränsande sektioner. Detta är ju vackert i sig, men vad värre är att den mest kritiska effekten av vapeninsatsen, global skrovkollaps, överhuvudtaget inte modelleras. I figur 9, hämtad från [5], åskådliggörs på ett tydligt sätt verkan av sjömålsrobot för en tung sjömålsrobot. Utslagnings sannolikheter enligt ovan torde i detta fall bli:

Ytstridsfunktionen utslagen: 100%

Ubåtsjaktsförmågan utslagen: 100%

Luftförsvarsförmågan utslagen: 100%



Figur 9, Verkan av stridsdel för tung sjömålsrobot

5. Slutsatser och diskussion

Syftet med denna rapport är att belysa möjligheter och begränsningar att värdera effekter av skrovbekämpande stridsdelar, främst sjömålsrobotar. Mot bakgrund av erfarenheter från nyligen genomförda sårbarhetsstudier inom ramen för utveckling av framtida ytstridsfartyg, [1, 2, 3, 4] och kompletterande resonemang i avsnitt 3 och 4 kan ett antal slutsatser dras.

För nyttjande av kontinuumdynamiska modeller för värdering av verkan och sårbarhet, konstateras att:

- Modellerna är direkt applicerbara för att i detalj studera tryckverkansbelastningar över och under vattenytan. Då modellerna kräver omfattande datorkapacitet är det i dagsläget, utan nyttjande av stora datorkluster, ej görligt att simulera globala effekter i hela skrovstrukturer.
- Modellerna är direkt applicerbara för att, åtminstone lokalt, i detalj studera strukturella responser (förskjutningar, töjningar och spänningar) i tryckverkansbelastade skrovstrukturer.
- Modellerna behöver vidareutvecklas, särskilt avseende kriterier för strukturell kollaps (brottmekanik).

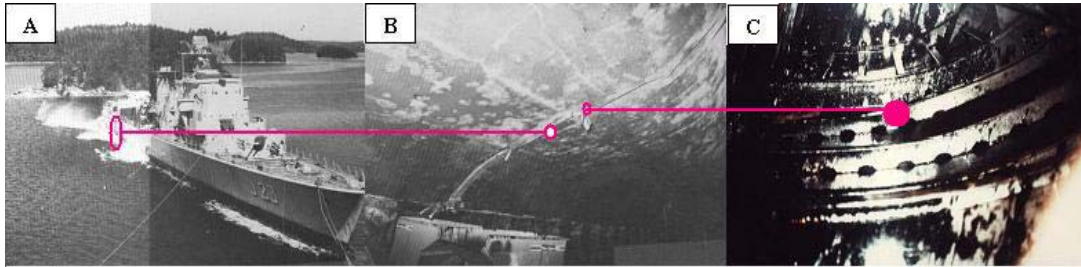
När det gäller mer systemorienterad värdering av verkan och sårbarhet, konstateras att:

- Värderingsprogrammet AVAL utgör en integrerad plattform för värdering av verkan och sårbarhet på systemnivå enskild plattform.
- AVAL hanterar/kommer att hantera flertalet relevanta verkansformer över och under vattenytan, dock saknas:
 - Beräkningsmodell för att värdera utbredd stötverkan från inombords explosioner
 - Beräkningsmodell för att värdera degraderad skrovstyrka (eng. *residual strength*) och skrovkollaps, särskilt för fallet med inombords explosioner

I AVAL 6.0 kommer undervattensexplusionsinducerade böjsvängningar i fartygets s.k. skrovbalk att beaktas. Beräkningsmodellen för denna verkansform baseras på att hela skrovkonstruktionen kan approximeras med en enda "teknisk balk" (med i längskeppsled varierande balkegenskaper), för vilken töjningar och spänningar i balkens flänsar (skrovets botten och styrkedäck) beräknas utgående från belastningar från skrovets displacementsfördelning (flytkraften), fartygets massfördelning och explosionsinducerade dynamiska laster.

Skrovskada anses inträffa om spänningarna, någonstans i skrovet, överskrider skrovmateriallets flytgränser eller om tryckspänningar lokalt överskrider skrovpanelers bucklingsstyrka. Denna modell torde vara tillräckligt noggrann för att skatta när skrovsador inträffar, men är ej tillräckligt detaljerad för att i detalj analysera fortsatt skadeutbredning. Vidare föreligger möjligen svårigheter att korrekt specificera kritiska spänningsnivåer. Detta beroende på att beräkningsmodellen endast beaktar de globala egenskaperna hos skrovkonstruktionen.

I figur 10 ges ett konkret exempel på hur lokala diskontinuiteter i en fartygskonstruktion kan initiera en skrovkollaps i samband med böjsvängning, [6]. I detta specifika fall inträffade (och berodde) skrovkollapsen (B) vid en diskontinuerlig övergång mellan lång- och tvärskeppsspantning av skrovet (C). Det kan inte uteslutas att motsvarande strukturella svagheter kan förekomma i skrov byggda i kompositmaterial och sandwichteknik.



Figur 10, Böjsvängningsinducerad skrovkollaps orsakad av lokal diskontinuitet i skrovstrukturen. (B): Foto, utsida av skrovet, (C): Foto, insida av skrovet

När det gäller värdering av sjömålsrobotars globala verkan i fartygs skrovkonstruktioner finns i dagsläget ingen "universalmetod". Uppenbart är att:

- Dagens datorkapacitet avseende nyttjande av kontinuumdynamiska modeller ej räcker till mer än studier av lokala förlopp (tryckutbredning och strukturell respons i enstaka fartygsutrymme(n?).
- AVAL saknar möjlighet att hantera den, för fartyg, kanske mest betydande effekten av tryckverkan (se t.ex. bild 9). I appendix 2 ges förslag på hur sistnämnda brist kan hanteras på kort och lång sikt.

Det kan tyckas att man inte skall behöva omfattande simuleringar för att värdera verkan av tunga sjömålsrobotar, då en "evig sanning" säger oss att dessas stridsdelar, vid detonation i målet, alltid åstadkommer full utslagning av målet. Sådant resonemang kan bemötas med motargument:

- I den framtida breddade hotbilden förekommer en mångfacetterad flora av robothot, inte bara de tyngsta sjömålsrobotarna.
- Internationellt sjösättes redan idag ytstridsfartyg (fregatter) som upphäver den "eviga sanningen" om sjömålsrobotars verkan. Typiskt är dessa fartyg av typ fregatt, men tekniskt har man påvisat ökad överlevnadspotential även för mindre fartyg (korvetter), se t.ex. [7] och appendix 1.
- Ökad standardisering av marina fartygskonstruktioner, inte minst framtagande och nyttjande av regelverk från "civila" klassificeringssällskap som DNV och Lloyd's, lär kräva att en "total sårbarhetsbild" skall kunna kvantifieras, se t.ex. [8] och [9].

Källförteckning

- [1]: YS Ny Systemeffektstudie, Erik Berglund m.fl., FOI-RH--0306--SE
- [2]: YS Ny Överlevnad och vapenverkan, etapp 2, Linus Fast m.fl., FOI-RH--0213-- SE
- [3]: YS Ny Överlevnad och vapenverkan, etapp 3, Lars Olovsson m.fl., FOI-RH--0213-- SE
- [4]: Studiepaket ytfartyg 2001, pos 2.7 - Sårbarhet, Kockums AB, K515-0000-44201549-00 (FMV beteckning: ProjSjöH35758:1559/03)
- [5]: Marinens robotvapensystem - precision och verkan, Ronnie Lindahl, FMV Vapen, april1998
- [6]: Explosionsinducerade böjsvängningar i fartygsskrov, AndersFischer, FOA CH 20312-2.5
- [7]: Reduced vulnerability for naval vessels smaller than frigates, Dieter Prange, BWB, Naval Forces Special Issue 5/97
- [8]: Combat Survivability, DNV Rules for classification of high speed, light craft and naval surface craft, Part 6 Chapter 13, January 2004
- [9]: Military Design & Military Load Specification, Lloyd's Register, Rules and regulations for the classification of naval ships, Volume 1, Part 4, Chapters 1 & 2

Appendix 1:

Kort om ökad överlevnadsförmåga hos ytstridsfartyg

Vid utveckling av ytstridsfartyg har, under lång tid, främst hotet från sjömålsrobotar varit dimensionerande ur egenskyddssynpunkt även om andra hot från andra sjömålsvapen självklart har beaktats. Det kanske mest påtagliga exemplet på detta är att fartygen, till en viss specificerad nivå, dimensioneras för att motstå verkan av avståndsverkande minor, se exempelvis figur A1-1.



Figur A1- 1, Sprängprov mot Kv Stockholm: Leveransprov av stötdimensionering

När det gäller sjömålsrobotar har man i princip postulerat att ytstridsfartyg, i synnerhet då mindre sådana (korvetter m.m.) ej kan överleva en direkt träff. Överlevnadsförmågan har då istället byggts upp på tekniker för att undgå träff. Detta kan möjliggöras genom kombinationer av signaturanpassningar samt nyttjande av motmedel av typ "soft kill" och "hard kill", se figur A1-2.



Figur A1-2, Signaturanpassning och motmedel

Nedan sammanfattas de skyddstekniker och -funktioner som finns tillgängliga för att öka överlevnadsförmågan betingat träff av vapen.

- *Vattentät indelning* av skrovet, kompletterat med fasta och mobila läns-pumpar
- Indelning av skrovet i *brandzoner*, kompletterat med fasta och mobila *brandsläcknings- och ventilationssystem* samt *BIBS* (Built In Breathing Systems)
- Kraftiga, tryckbeständiga tvärskeppsskott ("*blast resistant bulkheads*", se nedan)
- Styrkebärande lådbalkar ("*box-girders*", se nedan)
- Ventilationspaneler ("*sprängbleck*", *blow-out panels*", se nedan)
- Elastiska upphängningar av såväl durkar som enskilda komponenter ("*shock hardening*")
- Ballistisk skydd av skott och vitala komponenter
- Redundans och rumsmässig separation av vitala komponenter och tekniska system
- Skyddstjänst (organisation och materiel)

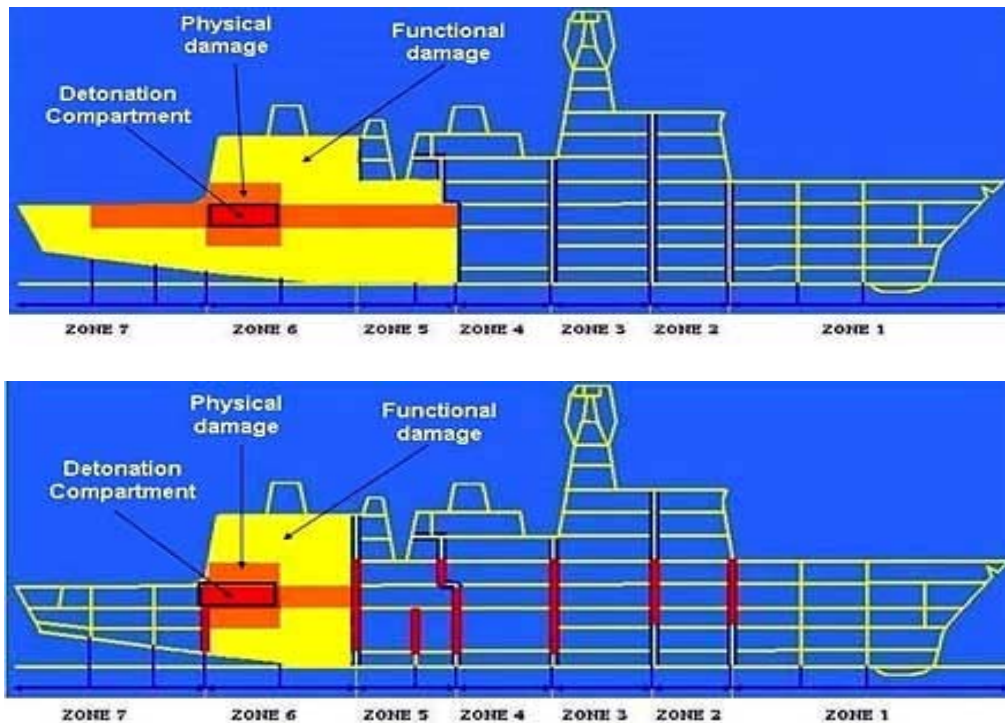
Flertalet av dessa skyddsprinciper och -funktioner är sedan länge väl etablerade, men två av teknikerna har de senaste decennierna utvecklats så pass långt att de nu operativt börjat introduceras i befintliga fartyg:

- "Blast resistant bulkheads" och "blow-out panels" (t.ex. F124, Tyskland och LCF, Nederländerna)

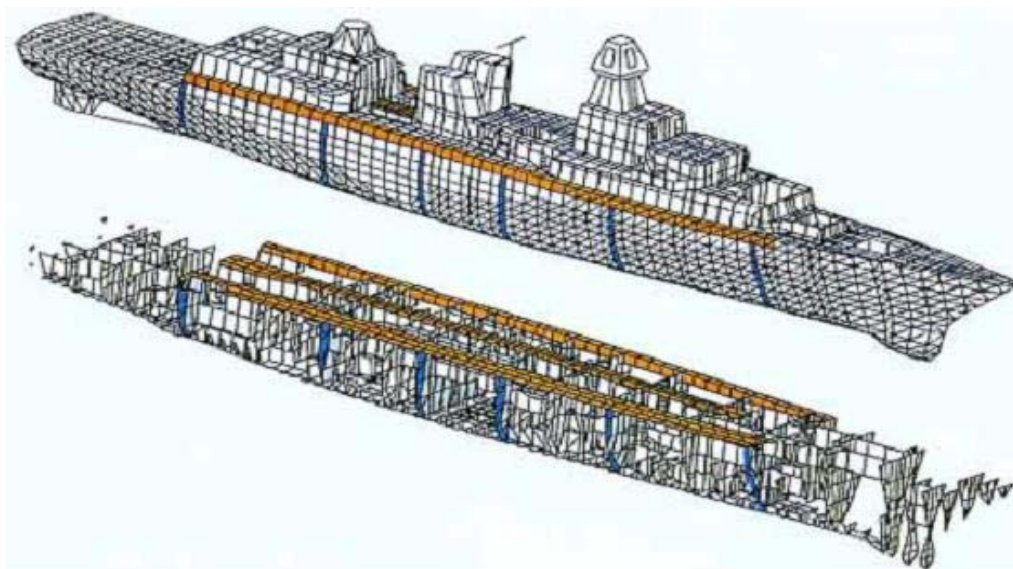
Konceptet bygger på att fartygen förses med ett antal kraftiga, dubbelväggiga, tvärskeppsskott med väsentligt högre hållfasthet än traditionella tvärskeppsskott. Detta gör att tryckverkan (och till del även splitterverkan) kan begränsas i långskeppsled, på bekostnad av sidobordläggning, däck och delar av överbyggnad/däckshus, se figur A1-3, [1].

- "Box-girders" och (t.ex. F124, Tyskland)

I det tyska fallet (F124) har man valt att komplettera skrovstrukturen med "box-girders", kraftiga lådbalkar som skall säkra långskeppsstyrkan i skrovet även då stora delar av, för långskeppsstyrkan kritiska, lastbärande struktur (främst styrkedäck) sprängts bort ("*Blow-out panels*"), [2]. Se figur A1-4



Figur A1-3, Effekt av "blast resistant bulkheads"



Figur A1-4, "Blast resistant bulkheads" och "box-girders" i F124

Referenser

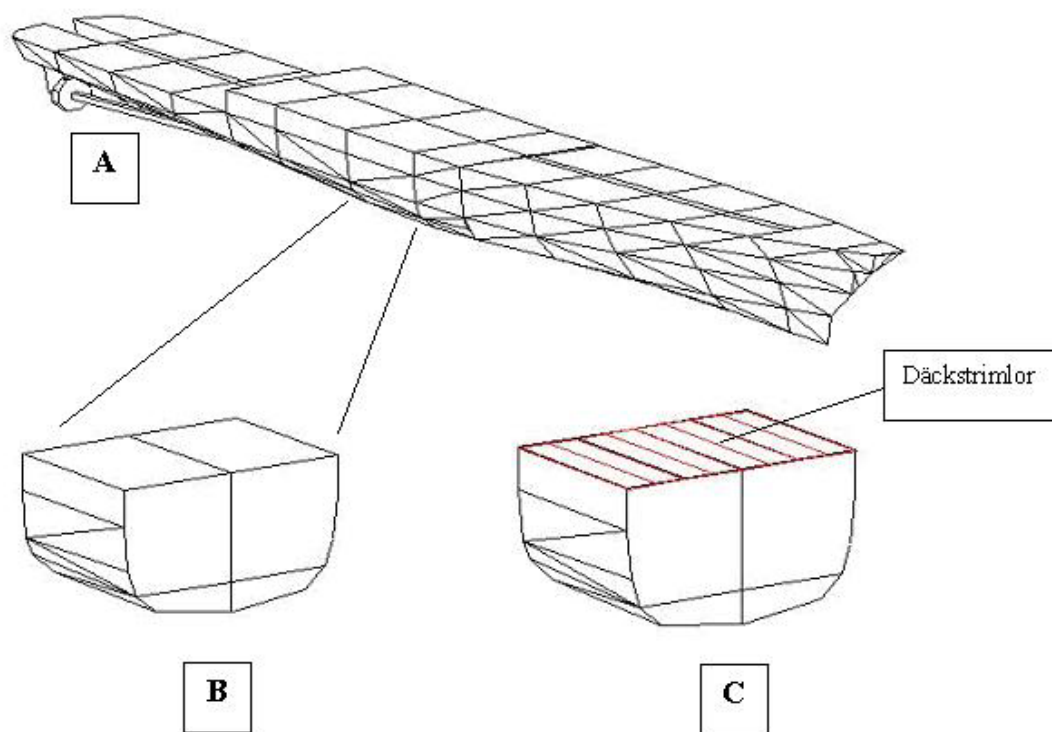
- [1]: TNO/PML: Ship survivability
(http://www.pml.tno.nl/en/pt/ship_survivability.html)
- [2]: <http://www.naval-technology.com/projects/f124/>

Appendix 2:

Möjliga metoder för att i AVAL hantera vapeninducerad degraderad skrovstyrka i fartyg

1. Felträdsbaserad metod

På kort sikt kan problemet med vapeninducerad degraderad skrovstyrka formellt hanteras genom att skador på skrovstrukturen behandlas i målbeskrivningens felträd. I figur A2-1 visas hur ett fartygsskrov geometriskt har modellerats med s.k. strukturkomponenter i AVAL (A). Låt oss studera en enskild sektion av skrovet (B). För att t.ex. beskriva hur skrovstyrkan reduceras av att styrkedäcket bryts upp vid en inombords explosion föreslås att målbeskrivningen kompletteras med ett antal vitalkomponenter, i form av "däckstrimlor" (C).



Figur A2-1, Geometrisk målbeskrivning av fartygsskrov i AVAL

Antag att de vitala däckstrimlorna tilldelas utslagningskriterier för tryckverkan, samt att motsvarande strimlor kompletterar beskrivningen av fartygets sidobordläggning och botten. Då kan AVAL registrera vilka av strimlorna som går sönder vid explosionen. Detta möjliggör att man i målbeskrivningens felträd definierar händelsen *Fartygssektion "i" utslagen* om strimla j, k, l, m ... är utslagen.

Metoden kan implementeras direkt utan vidareutveckling av AVAL, dock krävs att den som definierar felträdet har god kunskap om skrovhållfasthet.

2. Direkta hållfasthetsberäkningar

AVAL kan idag hantera att enskilda strukturelement som t.ex. däckspaneler slås ut av tryckverkan. I AVAL 6.0 kommer även en strukturmekanisk hållfasthetsmodell att finnas implementerad för beräkning av böjsvängningar, orsakade av undervattensexlosioner (se avsnitt 5).

Genom att modifiera AVAL p.s.s. att skrovets balkegenskaper automatiskt modifieras m.h.t. uppkomna strukturskador kan hållfasthetsmodellen direkt appliceras för skattning av global skrovkollaps vid värdering av (sjömåls-)robotars verkan.

På längre sikt bör en sådan modell kompletteras med en modell för, utgående från fartygets sjöegenskaper, skattning av våginducerade böjmoment i skrovbalken. En sådan lösning möjliggör värderingar som kan bemöta möjliga TTEM-krav för nya ytstridsfartyg, i stil med "fartyget skall överleva en träff av robottyp X i sjötillstånd Y".