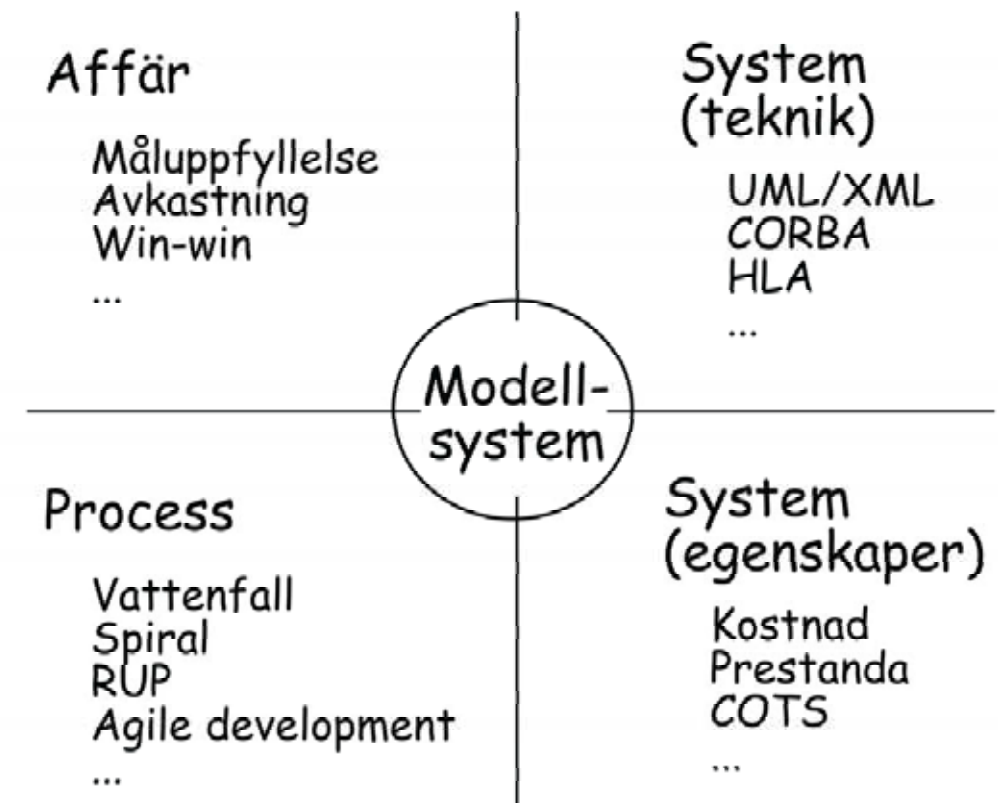


JOHAN PELO, KJELL OHLSON, MATS FREDRIKSSON



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 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, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Johan Pelo, Kjell Ohlson, Mats Fredriksson

# Ekonomiska och andra aspekter på paradigmer för Modellering och Simulering - En förstudie



<b>Utgivare</b> FOI – Totalförsvarets forskningsinstitut Systemteknik 164 90 STOCKHOLM	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--2032--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport
	<b>Forskningsområde</b> Operationsanalys, modellering och simulering	
	<b>Månad år</b> Augusti 2006	<b>Projektnummer</b> I60138
	<b>Delområde</b> Modellering och simulering	
	<b>Delområde 2</b>	
<b>Författare/redaktör</b> Johan Pelo, Kjell Ohlson, Mats Fredriksson	<b>Projektledare</b> Johan Pelo	
	<b>Godkänd av</b> Monica Dahlén	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FOI - Avd. för Systemteknik	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b> Göran Bergström	
<b>Rapportens titel</b> Ekonomiska och andra aspekter på paradigmer för Modellering och Simulering - En förstudie		
<b>Sammanfattning</b> <p>Att välja mellan olika alternativ för utformning av simuleringsmodeller är ofta inte bara en fråga om att jämföra kostnader, då de olika alternativen i slutändan uppnår olika syften. Målsättningen med detta arbete har varit att belysa kopplingen mellan utformning, kostnader samt den nytta utveckling och användning av simuleringsmodellen förväntas generera.</p> <p>De medel som står till buds för att reducera risker vid utveckling av programvara är tillgång till rätt kompetens, samt att tillämpa ändamålsenliga arbetsprocesser och teknologier. Dessa faktorer spelar också en avgörande roll för hur effektivt arbetet kan genomföras, och även för kvaliteten på den resulterande produkten. För utveckling av simuleringsmodeller spelar dessutom VV&amp;A en avgörande roll.</p> <p>Bedömning av strategiska investeringar som inte förväntas ge en direkt avkastning är mycket komplexa beslutssituationer. Satsningar på M&amp;S är inte sällan av den karaktären. Det faktum att investeringar behöver göras av Försvarsmakten innebär också att den strategiska nyttan inte kan vägas mot ett finansiellt resultat, utan endast mot en förväntad försvarsförmåga, som dessutom kan vara svår att härleda till investeringen.</p> <p>De teorier som framförts inom området <i>Value Based Software Engineering</i> har en viss potential att kunna bemästra den beskrivna problematiken. I rapporten ges också några konkreta förslag på inriktning av fortsatt forskningsverksamhet.</p>		
<b>Nyckelord</b> modellering, simulering, paradigmer, programvara, projekt, process, ingenjörskonst, ekonomi, värde		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> ISSN-1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 38 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organisation</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-164 90 STOCKHOLM	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--2032--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Research area code</b> Operational Research, Modelling and Simulation	
	<b>Month year</b> August 2006	<b>Project no.</b> I60138
	<b>Sub area code</b> Modelling and Simulation	
	<b>Sub area code 2</b>	
<b>Author/s (editor/s)</b> Johan Pelo, Kjell Ohlson, Mats Fredriksson	<b>Project manager</b> Johan Pelo	
	<b>Approved by</b> Monica Dahlén	
	<b>Sponsoring agency</b> FOI - Div. of Systems Technology	
	<b>Scientifically and technically responsible</b> Göran Bergström	
<b>Report title</b> Economic and other aspects for paradigms of Modeling and Simulation - a Survey		
<b>Abstract</b> <p>Choosing between different alternatives when designing simulations and models often becomes more than a comparison between costs, hence the alternatives attains different purposes. The objectives of this work has been to elucidate the connections between design characteristics, costs and the expected benefits from the development and use of the simulation model.</p> <p>The means available for reducing risks associated with development of software are access to adequate competence, practice of appropriate processes and technologies. These factors also have a significant impact on work effectiveness and quality for the resulting product. In addition to development of simulation models, VV&amp;A plays a significant role.</p> <p>Assessment of strategic investments that are not expected to give a tangible pay off, are very complex decision problems. Investments in M&amp;S are not rarely such problems. The fact that decisions are to be made by the Armed Forces supplements that the expected strategic benefit cannot be compared to a financial result, but only against a defense ability, that may be vaguely related to the investment itself.</p> <p>The theories proposed within the area of <i>Value Based Software Engineering</i> have a potential to master the problems involved. Within the report a few concrete proposals are given on how to focus continued research activities.</p>		
<b>Keywords</b> modeling, simulation, paradigms, software, project, process, engineering, economy, economics, value		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> ISSN-1650-1942	<b>Pages</b> 38 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

# Innehåll

<b>1</b>	<b>Sammanfattning</b>	<b>1</b>
<b>2</b>	<b>Inledning</b>	<b>3</b>
2.1	Modellering och simulering . . . . .	4
2.2	Bakgrund . . . . .	4
2.3	Frågeställningar . . . . .	6
2.4	Syfte och mål . . . . .	7
2.5	Källkritik . . . . .	7
<b>3</b>	<b>Projekt och processer</b>	<b>9</b>
3.1	Programvaruutveckling . . . . .	10
3.2	VV&A . . . . .	11
<b>4</b>	<b>Programvara och ekonomi</b>	<b>15</b>
4.1	Ekonomi . . . . .	15
4.2	Value Based Software Engineering . . . . .	18
4.3	Software Cost Estimation . . . . .	22
4.4	Modellering och Simulering . . . . .	25
4.4.1	Kategorisering . . . . .	26
4.4.2	Ekonomiska aspekter . . . . .	29
<b>5</b>	<b>Diskussion</b>	<b>31</b>
5.1	Slutsatser . . . . .	31
5.2	Förslag till fortsatt arbete . . . . .	32
5.2.1	Fallstudier och datainsamling . . . . .	32
5.2.2	Fördjupad analys av återanvändning . . . . .	32
5.2.3	Utbildning och kursverksamhet . . . . .	33
	<b>Litteraturförteckning</b>	<b>35</b>



# 1 Sammanfattning

Användningen av Modellering och simulering (M&S) inom försvarssektorn har genom åren blivit allt större. Detta trots minskade medel till försvaret som helhet. En av anledningarna till den ökade användningen är att M&S på flera sätt kan användas för att reducera kostnader. Exempel på detta är träning i simulatorer i stället för att använda verkliga system ute i fält, men också för att analysera olika handlingsalternativ och på så vis få ett bättre beslutsunderlag.

Simuleringsmodeller kan utformas på många olika sätt, där faktorer så som förväntad livslängd, krav på återanvändbarhet, val av verktyg och tekniker, och eventuella risker har en stor inverkan på kostnader för att ta fram modeller, men också i vilken mån modellerna är lämpliga att använda i andra sammanhang. Att välja mellan olika alternativ blir då inte bara en fråga om att jämföra kostnader, då de olika alternativen i slutändan uppnår olika syften.

Vid avdelningen för Systemteknik på FOI initierades under 2005 ett arbete i syfte att försöka finna en lämplig metod för att kunna tydliggöra den inverkan som yttre faktorer har på den resulterande simuleringsmodellens egenskaper. Målsättningen har varit att belysa kopplingen mellan utformning, kostnader samt den nytta utveckling och användning av simuleringsmodellen förväntas generera. I denna rapport redovisas resultatet av det arbetet. Dessa yttre faktorer kan beskrivas utifrån tre olika perspektiv:

- Arbetssätt och metoder som används för utveckling av programvara.
- Möjligheterna att uppskatta kostnader och beskriva funktionalitet och den nytta utveckling och användning av M&S förväntas generera, innan utvecklingsarbetet sjösätts.
- Beslutsfattande baserat på osäker och ofullständig information om exempelvis kostnader och tidsåtgång. Detta perspektiv behandlas dock inte i detta arbete.

Arbetet i projektet har till en övervägande del bedrivits genom studier av befintlig litteratur i ämnet. De resultat som redovisas i rapporten kan sammanfattas som:

- Valet av utvecklingsprocess spelar en avgörande roll för hur effektivt arbetet kan genomföras, och även för kvaliteten på den resulterande produkten. De medel som står till buds för att reducera risker vid utveckling är tillgång till rätt kompetens, samt att tillämpa ändamålsenliga arbetsprocesser och teknologier. För utveckling av simuleringsmodeller spelar dessutom VV&A en avgörande roll.
- Bedömning av strategiska investeringar som inte förväntas ge en direkt avkastning är mycket komplexa beslutssituationer, och satsningar på M&S



är inte sällan av den karaktären. När investeringar behöver göras av Försvarsmakten innebär det också att den strategiska nyttan inte bara kan vägas mot ett finansiellt resultat, utan mot kostnader och en förväntad försvarsförmåga, som dessutom kan vara svår att härleda till investeringen. Bedömning och prognostisering av kostnader och nytta har en stor betydelse för att kunna prioritera och styra vilken funktionalitet som bör implementeras.

De teorier som framförts inom området *Value Based Software Engineering* har en viss potential att kunna bemästra den ovan beskrivna problematiken. I rapporten ges också några konkreta förslag på inriktning av fortsatt forskningsverksamhet.

## 2 Inledning

Begreppen *Ekonomiska aspekter*, *Paradigmer* och *Modellering och Simulering* är tämligen komplexa, och tolkningen är inte helt entydig. Som titeln antyder är Modellering och simulering i fokus för detta arbete, även om resonemanget är intressant också för andra aktiviteter.

Ekonomi<sup>1</sup> för M&S är mycket mer än bara kostnader för utveckling och användning av simuleringsmodeller. Kostnader är en aspekt och resultatet, det värde som kostnaden ger upphov till, är en annan.

Situationer med valmöjligheten att genomföra en eller flera aktiviteter, som är förknippade med kostnader, där aktiviteterna ger upphov till ett värde, ställs vi alla dagligen inför. Men när vi försöker förändra situationen så kan vi göra det på olika sätt, beroende på vad vi vill åstadkomma. Effektivisering är ett vanligt mål, att få ett större värde till lägre kostnad. Att effektivisera M&S relaterade aktiviteter, framför allt utveckling, är till stor del förknippat med att effektivisera utvecklingsprocesser, ofta inom ramen för olika projekt. I kapitel 3 ger vi en fördjupad bild av denna vy.

I dessa situationer ingår också ett visst mått av osäkerhet. Dels är det i många fall svårt att i förväg fastställa kostnaden med tillräcklig noggrannhet. Det finns också situationer där det är svårt att bedöma värdet av olika handlingsalternativ i kronor och ören. Det finns olika paradigmer<sup>2</sup> för utveckling av datorprogram och simuleringsmodeller, där val av verktyg och metoder påverkar slutresultatet. Under senare år har en forskningsgren, *Value Based Software Engineering* vuxit fram, med rötter i estimering av kostnader för programvaruutveckling. I kapitel 4 ger vi en översikt av detta område.

En ytterligare vy av situationen, med varierande kännedom om effektivitet och osäkerhet, är hur man som beslutsfattare bör agera. Bedömning av investeringar och val mellan olika handlingsalternativ i företag baseras traditionellt på ekonomiska avvägningar. Men när det inte är möjligt att göra en koppling mellan olika handlingsalternativ till ett finansiellt resultat räcker inte dessa metoder till. Det finns idag några metoder som förefaller intressanta, och dessa tas upp kortfattat i kapitel 4. Vi behandlar dock inte managementperspektivet närmare i detta arbete. Det finns heller ingen klar skiljelinje mellan de olika vyerna.

---

<sup>1</sup>Ekonomi, av grekiskans *oikos* hus, och *-nomi*, ett system för hushållning av resurser i ett tillstånd av brist.

<sup>2</sup>Att jämföra med *programmeringsparadigm*, en övergripande teori om hur program bör organiseras och struktureras. Programmeringsparadigmer är språkoberoende i bemärkelsen att paradigmen inte uttryckligen talar om språksyntax eller semantik, utan om övergripande begrepp och synsätt på program och programutveckling.

## 2.1 Modellering och simulering

Modellering, bättre beskrivet som processen att avbilda och representera företeelser med datorprogram, har en lång historia inom försvaret. Till en början rörde det sig ofta om att ersätta manuella beräkningar, där ett tidigt exempel är de beräkningar av raketbanor som i början på 1950-talet kunde göras på den första svensktillverkade datamaskinen *Binär Aritmetisk Relä Kalkylator* (BARK). Möjligheterna med datorer växte snabbt, och därmed fanns det också ett sätt att till viss del ersätta fältförsök med simulering av tekniska system.

Med tiden utvecklades möjligheterna att inte enbart studera fysikaliska egenskaper för enkla vapensystem. Också sammansatta system med sensorer, målsökare och inbyggd logik kunde beskrivas med datorprogram, och deras egenskaper kunde studeras med simuleringar. I takt med att systemens komplexitet ökade, blev det också allt viktigare att ta hänsyn till de människor som använder systemen, och modellering av mänskligt beteende och beslutsfattande är än idag ett viktigt forskningsområde, inte minst känt under benämningen *Computer Generated Forces* (CGF). Utvecklingen har även gett oss möjligheter att simulera den fysikaliska omvärld som människor och system verkar i, så som egenskaper för terräng, atmosfär och hydrografi.

De resurser som åtgår för att ta fram modeller följer inte överraskande med den ökande komplexiteten. Även om verktyg och metoder för M&S också har utvecklats med tiden, har inga revolutionerande framsteg gjorts som radikalt kunnat reducera den arbetsinsats som erfordras för att ta fram omfattande simuleringsmodeller. Snarare är det främst genom att anpassa frågeställningarna som omfattningen av modelleringsarbetet kan styras. Utvecklingen för M&S området har gått hand i hand med de framsteg som gjorts inom programvaruteknik, framför allt då en simuleringsmodell vanligtvis realiserar i form av ett datorprogram.

Utvecklingen har lett till att inte bara allt komplexare system kan komma i fråga för simulering, utan också att de situationer som studeras blir mer komplicerade. En konsekvens av denna utveckling är att processen för att beskriva system och situationer i sig kan vara kunskapsuppbyggande, då det inte sällan handlar om att få förståelse för olika aspekter av den situation och de system som ska beskrivas. Den modell som tas fram kan numera i sig vara en värdefull produkt, till skillnad från tidigare, då värdet låg i att besvara en viss frågeställning, och modellen endast var ett kortlivat verktyg som användes för det ändamålet.

## 2.2 Bakgrund

Det finns många skäl att belysa de ekonomiska aspekterna för modellering och simulering, inte minst inom den militära sektorn. Följande citat, hämtat ur tidningen Framsyn, illustrerar konsekvenserna av att världen runt omkring oss förändras:

“ ... Det fanns ett pris för att behålla Sverige svenskt. [...] Det var ungefär 40 miljarder och de pengarna vägdes inte mot något annat. Men det är mycket svårare att få pengar till att göra Sverige säkert. Säkerhet konkurrerar med vård, skola och omsorg.” [7]

Resonemanget gäller inte enbart för säkerhet; så gott som all försvarsrelaterad verksamhet behöver idag goda motiv. Kostnader för olika aktiviteter är oftast tydliga, men det är inte alltid nyttan av dem är direkt mätbar, eller ens

går att hänföra till en specifik förmåga, trots att de är nödvändiga. Modellering och simulering är inte sällan av den karaktären.

Så vad kan vi då förvänta oss av framtiden? Det är troligt att vi får se en tydligare styrning av försvarsrelaterade verksamheter. Den nyligen genomförda Försvarsstyrningsutredningen (SOU 2005:92) motiverar en styrning av försvaret utifrån prestationsmål:

“ ... På försvarets område är både resultat- och effektmål svåra att formulera, därför att försvaret i huvudsak producerar en beredskap som inte används och därför inte ger upphov till direkta effekter och avläsbara resultat. Den indirekta effekten, att avhålla omvärlden från att anfälla Sverige, är visserligen möjlig att avläsa och utvärdera. Det går att konstatera att ingen anfallit Sverige på närmare 200 år, men om det är på grund av försvaret eller på grund av att inget annat land önskat göra det är en närmast omöjlig fråga att besvara. Därför måste det bli prestationsmål.” [46]

Om vi också i framtiden vill kunna motivera storskaliga satsningar på modellering och simulering behöver vi bättre än idag kunna tydliggöra nyttan av dem, och påvisa hur de bidrar till den operativa förmågan.

Att på förhand uppskatta kostnaderna för en investering i M&S, och relatera den till nyttan av investeringen är dock inte trivialt. I många fall är M&S det enda möjliga alternativet för att uppnå ett visst syfte, och om det endast finns ett sätt att utforma den på, kan ju nyttan av investeringen då vägas mot att inte kunna uppnå syftet.

Men utveckling av simuleringsmodeller kan göras på många olika sätt, som kan skilja sig åt med avseende på omfattning, tidsperspektiv, mm, beroende på tillgängliga resurser och ambitionsnivå. Att välja mellan olika alternativ blir då inte bara en fråga om att jämföra kostnader, då de olika alternativen i slutändan uppnår olika syften.

Modellutveckling har stora inslag av utveckling och underhåll av programvara, ett område där det sedan många år funnits problem med att genomdriva utvecklingsprojekt som uppfyller givna mål och krav, med bibehållen budget inom utlovade tidsramar. Dessa problem tenderar att öka med storleken på projektet, vilket skapat incitament för att hålla nere storleken på investeringar så att de blir mer överskådliga, och därmed lättare att styra. Men eftersom en investering i M&S vanligen kan utformas på ett flertal olika sätt, kan det därför vara av intresse att belysa kopplingen mellan utformning och de uppnådda målen. Bland de många M&S projekt som återfinns inom försvarssfären kan ett antal paradigmer urskiljas:

- Utveckling där återanvändbarhet premieras. Den framtagna modellen designas inte enbart för de krav som kan härledas från den aktuella frågeställningen, utan även för att kunna användas som byggsten i framtida projekt. Användning av etablerade standarder och gränssnitt premieras framför egna lösningar. Detta synsätt är vanligt vid framtagning av modeller med en lång förväntad livslängd, (i vissa fall flera decennier). Exempel på sådana fall kan vara modeller som ska vidmakthållas under ett materielsystems livscykel, och större träningssimulatorer.
- Utveckling med fokus på att uppfylla endast de krav som genereras av de aktuella frågeställningarna. Med begränsade resurser och korta tidsperspektiv är det inte alltid möjligt att tillgodose återanvändbarhet, och i somliga fall kan modellen vara specialiserad för uppgifter som inte anses

återkommande. Detta synsätt är vanligt för utveckling av modeller med en kort förväntad livslängd. Exempel på sådana fall är då modellen tas fram för att besvara specifika frågeställningar, t.ex. för demonstration av ett koncept.

Beskrivningarna ovan är exempel på ytterligheter; M&S projekt är vanligen en kompromiss mellan behov och tillgängliga resurser. Vidare finns exempel på ytterligare paradigmer, exempelvis användandet av kommersiella (och open-source) verktyg och produkter kontra egenutveckling. Det är naturligtvis frestande att se det första, långsiktiga alternativet som det mest ekonomiskt fördelaktiga; återanvändning av tidigare arbete borde med all rim och reson vara lönsamt. Ändå finns ett antal faktorer som talar för att så inte alltid är fallet:

- Omfattningen av utvecklingsarbetet har betydelse. Dessutom är många av de standarder som idag finns förhållandevis komplexa, och till viss del även under utveckling, något som gäller för bl.a. *High Level Architecture* (HLA)
- Det finns en trend mot en ökad kortsiktighet i M&S projekt. Minskade resurser tillsammans med hårdare krav på att leverera resultat bidrar förmodligen till denna trend. För att inte riskera att utvecklingsprojekt växer sig så stora att de blir omöjliga att styra, görs emellanåt (med nödvändighet) avgränsningar bland de frågeställningar som är dimensionerande för kraven.

Vi kan konstatera att utformningen av investeringar i M&S styrs av många faktorer, där ekonomiska och tidsmässiga ramar, krav och förväntningar på slutresultatet endast är en delmängd. Andra faktorer som påverkar slutresultatet, såväl kostnad som nytta och osäkerhet, är bl.a. utvecklingsmetodik och arbetssätt, organisatoriskt arv, val av verktyg och plattformar.

## 2.3 Frågeställningar

Ur den ovan allmänt beskrivna problembilden går det att finna ett antal intressanta frågeställningar:

- Vilka ekonomiska aspekter finns för de olika M&S paradigmen? Och hur kan dessa sätt kategoriseras? Denna kunskap kan användas för att kunna avgöra när ett alternativ är bättre än ett annat.
- Metodik och processer för utveckling av programvara.  
Detta är ett område som uppmärksammats på senare år. Flexibla utvecklingsmetoder, *Agile methods*, har prövats på flera håll, i vissa fall med framgång. Dessa metoder har en stark koppling till det värde den färdiga produkten kan generera för slutanvändaren. Möjligheten att kunna applicera dessa metoder på M&S är en intressant frågeställning.
- Koppla kostnader för investeringar i M&S till den indirekta nytta som ligger till grund för en operativ militär förmåga.

Storskaliga satsningar på M&S för försvarets behov har en stark koppling till offentlig finansiering. Att kunna påvisa konsekvenser av ominriktningar kan komma att bli mycket betydelsefullt. Förståelse för kopplingen mellan kostnader och indirekt nytta gagnar alla parter i processen.

- Även för enskilda företag och organisationer är det av intresse att kunna motivera investeringar i M&S. Möjligheten att återanvända simuleringsmodeller ger ibland upphov till svåra val; är det bättre att satsa mer resurser vid utvecklingen och på så vis erhålla en modell som kan användas i flera sammanhang, eller är det mer fördelaktigt att lägga så lite resurser som möjligt på utvecklingen?

En särskilt intressant frågeställning är om det som är det bästa valet för ett enskilt företag också är det som är mest fördelaktigt för Försvarsmakten?

## 2.4 Syfte och mål

Syftet med detta arbete är inte att besvara en eller flera frågeställningar, då det inte är initierat av ett specifikt kundbehov. Målsättningen har varit att belysa kopplingen mellan utformning, kostnader samt den nytta utveckling och användning av simuleringsmodellen förväntas generera. Simulering ingår numera i de flesta ingenjörsvetenskaperna, och en fungerande metod att kategorisera utformning, behov och nytta för simuleringsmodeller skulle vara till stor hjälp för att överföra erfarenheter mellan olika tillämpningsområden.

Det är ett mycket komplext problemområde, som berör ett flertal olika forskningsdiscipliner. Målsättningen med detta arbete är därför inte att gå på djupet i de olika disciplinerna, utan snarare att presentera dem och ge en helhetsbild. Arbetet i projektet har till en övervägande del bedrivits genom studier av befintlig litteratur i ämnet, och förhoppningen är att skapa en bred kunskapsplattform som sedan kan användas för att formulera mer konkreta frågeställningar.

## 2.5 Källkritik

Den stora bredden för området medför att tillgång och kvalitet på referenslitteratur varierar, och det kan därför vara på sin plats att redovisa vår bedömning av källmaterialets trovärdighet. Där det har varit möjligt, har vi använt etablerade källor och allmänt accepterat material. Resonemangen i avsnitt 3.1 baseras till övervägande del på det numera smått klassiska verket *The Mythical Man-month* av F. P. Brooks [16], och IEEE:s *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge* [2]. Nyare litteratur om processer och metodik för utveckling av programvara motsäger inte grundsynen i dessa verk. För avsnitt 3.2 har rapporter relaterade till den forskning kring VV&A som bedrivits vid och i anslutning till FOI utgjort huvuddelen av materialet.

Den litteratur som finns om ekonomiska aspekter för programvara har fört en något undanskymd tillvaro, vid en jämförelse med den uppmärksamhet som tekniker och metoder för programvaruutveckling fått genom åren. Ett standardverk inom detta område är B. W. Boehms *Software Engineering Economics* [14], som också ger en grundlig introduktion till *Software Cost Estimation*. Samme författare har dessutom bidragit med ett stort antal bidrag till fortsatt forskning och utveckling av området, med bl.a. *Software Economics: A Roadmap* [15]. Området *Software Economics* kan sägas ha vidareutvecklats till *Value Based Software Engineering*, där vi har identifierat A. J. Stoica som en av de ledande aktörerna inom denna forskningsgren.

Bland den litteratur som beskriver ekonomi för programvara bör även nämnas H. Baetjers *Software as Capital* [31], som belyser frågan ur en ekonomisk

synvinkel. Övrig litteratur som ligger till grund för resonemangen i avsnitt 4.1 tar till stor del upp grundläggande fakta, snarare än presenterar nya forskningsrön, och borde därför inte vara särskilt kontroversiella.

Litteraturen om ekonomiska aspekter för simuleringsmodeller (Avsnitt 4.4.2), och olika sätt att kategorisera M&S (Avsnitt 4.4.1) är dock betydligt svårare att fastställa kvaliteten på. Ett skäl till det förhållandet är att dessa områden än så länge till stora delar är utforskade. Vi har valt att ändå använda det material som funnits tillgängligt, för att ge en så bred och objektiv bild av området som möjligt. Här är det också svårt att urskilja någon ledande aktör, men det bör nämnas i sammanhanget att det inom ramen för *NATO Modelling and Simulation Group* nyligen hållits en workshop med ett näraliggande tema.

## 3 Projekt och processer

Låt oss studera några typiska situationer som leder till att investeringar i modellering och simulering övervägs. Det börjar, självfallet, med att någon har ett behov. Några exempel:

- Man vill bygga ett system, där systemet bygger på en eller flera idéer (förbättrad mekanik, nya eller förbättrade algoritmer, sensorer som bygger på nya principer etc), men det finns också risker; det är inte uppenbart att det kommer att fungera. För att minska osäkerheterna (risker för förseningar eller att systemet överhuvudtaget inte går att realisera) görs modeller och simuleringar, innan allt för mycket investerats i systemkonstruktionen.
- Man vill planera en internationell insats, och vill utreda vad som behövs (personal, materiel, organisation) för att lösa uppgiften. Hur snabbt kan man röra sig mellan olika geografiska platser när man väl är på plats? I vilken utsträckning behövs luftvärn och hur skall det grupperas för optimal effekt? Hur skall man gruppera trupp för att nå optimal effekt (spaning, humanitära insatser, etc.)? Simuleringsmodeller kombinerat med underrättelsesdata skulle kunna öka säkerheten för personal och minska kostnader, och därmed vara en sund investering.
- Man vill träna personal, i potentiellt farlig miljö eller med utrustning som är dyr att använda. Simulerade virtuella miljöer kan då utgöra en god investering, det blir billigare än att använda de faktiska systemen.

(För mer om indelning och karaktär av M&S, se avsnitt 4.4.1.) Vad krävs för att attackera problemställningen och arbeta fram en lösning? För att realisera en modell och för att tolka resultat av simuleringar krävs människor med olika kompetenser, t.ex.:

- Programvaruutveckling, eftersom modeller typiskt implementeras som mjukvara.
- Algoritmer och matematik, eftersom det ofta handlar om att (på någon nivå) avbilda fysikaliska skeenden eller annan dynamik med matematiska modeller.
- Systemkunnande, eftersom man måste kunna fånga upp begränsningar och annan karakteristika hos system som modelleras.
- Organisatoriskt kunnande, eftersom även hur (handhavande, taktik, organisation) system hanteras påverkar resultatet.

Man kan här notera att spridningen är (i alla fall potentiellt) stor, få personer behärskar flera av dessa kunskapsområden med något större djup. Slutsatsen är att det nästan alltid handlar om att involvera en grupp av människor.



Utmaningen är alltså att skapa ett projekt, få en grupp människor med rätt kompetens att samarbeta, formulera vad mjukvaran måste kunna göra, implementera mjukvaran och sedan använda den på lämpligt sätt. Eftersom det stora flertalet av aktiviteterna i ett projekt görs som led i att ta fram de program som behövs (såvida det inte handlar om att använda något redan existerande verktyg, vilket för det mesta är mindre problematiskt för de aspekter som berörs här) blir själva programvaruutvecklings-problematiken central. Hur bedrivs programvaruintensiva projekt på bästa sätt, vad behöver man egentligen göra, och hur gör man det på bästa möjliga sätt?

### 3.1 Programvaruutveckling

IEEE Computer Society definierar i [2] *Software Engineering* som:

1. "The application of a systematic, disciplined, quantifiable approach to the development, operation, and maintenance of software; that is, the application of engineering to software"
2. "The study of approaches as in (1)"

För att strukturera denna ingenjördisciplin definieras 10 olika kunskapsområden:

**Software requirements** som handlar om hur krav på programvara frambringas, analyseras, specificeras och kvalitetssäkras.

**Software design** som handlar om hur krav analyseras för att frambringa en beskrivning av programvarans inre struktur (subsystem, gränssnitt) som kan användas för att konstruera (implementera) programvaran.

**Software construction** som handlar om hur fungerande, meningsfull, kod tas fram genom programmering, testning, integration och avlusning.

**Software testing** som handlar om hur programvaran utvärderas ur ett kvalitetsperspektiv, genom att identifiera defekter och problem.

**Software maintenance** som handlar om de aktiviteter som krävs för att stödja användning, problemavhjälpling, och förändringar av programvaran efter att den tagits i bruk.

**Software configuration management** som handlar om hur man tekniskt och administrativt hanterar konfigurationer av programvaran och förändringar av dessa.

**Software engineering management** som handlar om ledning, planering, koordinering, mätning, rapportering och uppföljning av programvaruutvecklingsaktiviteter.

**Software engineering process** som handlar om utformning, implementation, mätning, och förbättring av processer relaterade till programvaruutveckling.

**Software engineering tools and methods** som handlar om verktyg, metoder, och terminologi för programvaruutveckling.

**Software quality** som handlar om kvalitetsaspekter av programvaruutveckling som inte är relaterat till programexekvering; värdet och kostnaden för kvalitet, kvalitetskaraktistika, granskningsaktiviteter, defektbeskrivningar, mätningar av kvalitet, etc.

Organisationer som utvecklar programvara måste besitta kompetens inom dessa olika områden, som för praktiskt arbete måste kombineras i en process (som kan vara mer eller mindre formell och uttalad) för att projektmedlemmar skall kunna samarbeta och producera leverabler. Svårigheterna att i praktiken göra detta har ofta uppmärksammats, på grund av den stora andelen misslyckade projekt. En av de tidigaste böcker som behandlar svårigheterna i programvaruprojekt är [16]. Boken, som är flitigt citerad trots att första upplagan är från 1975 och senare upplagor bara lagt till enskilda kapitel, driver tesen att:

- Hur lång tid det tar att slutföra ett programvaruprojekt beror på ingående parametrar (antalet människor, deras kompetens, krav, teknologi, etc) på ett synnerligen olinjärt sätt. Problemet växer snabbt med storleken på projektet, och den primära orsaken är människor och kommunikationen mellan människor. En följd av detta är att det är svårt att komma tillrätta med projektförseningar, att tillföra människor för att kunna rädda leveransdatum leder nästan alltid till att man levererar ännu senare.
- Det finns inga tekniska genombrott i sikte som på något fundamentalt sätt förändrar detta. Produktivitetsförbättringar sker, men de är modesta om man jämför med t.ex. utvecklingen av hårdvara, och handlar maximalt om en storleksordning under överblickbar tid.

Vilka eventuella frihetsgrader har man då för att göra arbetet mer effektivt och på så sätt förbättra oddsen? Primärt tre:

- Kompetens. Det är allmänt erkänt att det är viktigt att få rätt personer med rätt kompetens för uppdraget. Alternativet är långa och kostsamma upplärningsperioder. Av detta inser man också problemet med obruten mark (teknisk eller verksamhetsmässig); att lära sig nya saker är tidskrävande, och det är ofta svårt att i förväg bedöma vilken kompetens och hur mycket tid som behövs.
- Process. Ett effektivt samarbetsätt som eliminerar det onödiga. Ett problem här är tidsperspektivet, en alltför kort tidshorisont kan göra det frestande att stryka aktiviteter, med resultat som blir kostsamma i långa loppet (bristande dokumentation eller kod som är svår att underhålla är exempel på sådant som i långa loppet kan ge höga kostnader).
- Teknologi. Rätt val av teknologi kan ge uppenbara produktivitetsfördelar, t.ex. genom verktyg som lämpar sig väl för uppgiften, eller som underlättar återanvändning.

## 3.2 VV&A

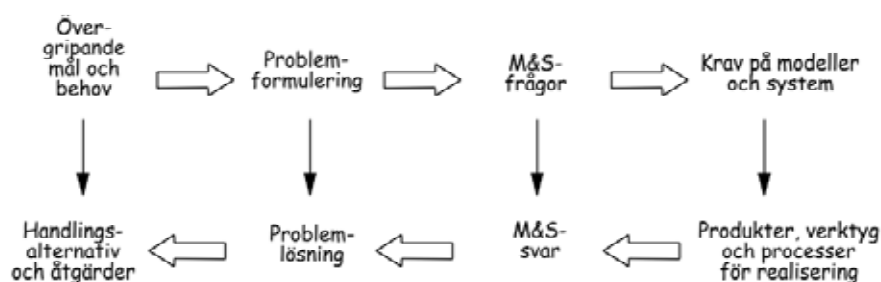
Verifiering, Validering och Ackreditering (VV&A) av simuleringsmodeller är idag en disciplin som praktiseras i betydande omfattning. Syftet med VV&A är att säkerställa tilltro och giltighet vid utveckling av simuleringsmodeller, och att förse användaren av densamma med tillräcklig information för att avgöra om modellen kan användas för att möta de behov som föreligger. VV&A har ett fokus på metodik och processer, och [36] definierar tre huvudprocesser för VV&A som processer för:

- Verifiering - Process för att avgöra om en modellimplementering och dess associerade data tillräckligt bra representerar utvecklarens konceptuella beskrivningar och specifikationer.

- Validering - Process för att avgöra i vilken utsträckning modellen representerar verkligheten tillräckligt bra, med avseende på dess tänkta användning.
- Ackreditering - Den officiella processen för certifiering av att modeller och deras associerade data är acceptabla för användning till ett specifikt syfte.

VV&A är ett område som knyter an till frågeställningarna i avsnitt 2.3, och bidrar naturligtvis till att säkra en investering i M&S - om inte simuleringsmodellen kan användas för att möta de behov som föreligger, har intressenterna missat målet med investeringen.

VV&A processen i sig, som den definieras av såväl [36] som [9], har en början och ett slut. Användning av M&S (och därmed även aktiviteter för VV&A) beskrivs där som en del av en mer allmänt formulerad problemlösningsprocess. I denna problemlösningsprocess ingår användning av M&S för att uppnå ett övergripande effektmål, men M&S kan dock inte appliceras direkt på det verkliga problemet. För att uppnå den önskade effekten behöver problemet brytas ner i olika steg, som illustreras av figur 3.1.



Figur 3.1: Den roll M&S och VV&A har i ett övergripande perspektiv för problemlösning. Det övergripande syftet kan exempelvis vara att hålla ett lands väpnade styrkor vältränade, för att kunna möta de uppgifter som de kan komma att ställas inför. Behovet av att hålla styrkorna vältränade kan lösas genom ett ändamålsenligt koncept och investeringsprogram för träning. Konceptet kan stöttas i termer av M&S, som ger styrkor som är väl tränade för att möta situationer de ställts för i simuleringar av olika slag. Ytterst behöver den tekniska utrustning som erfordras för att placera styrkorna i simulerade stridssituationer materialiseras. Resonemanget förklaras utförligare i [1].

Syftet med VV&A är inte att täcka in alla dessa steg. I [1] framförs argument för att begränsa omfattningen av VV&A metodik till M&S domänen. Anknytningen till angränsande områden tas dock i beaktande, och problematiken lämnas inte obehandlad av aktuell forskning kring VV&A. I [5] tas ett antal punkter upp som berör intressenters olika perspektiv, och kopplingen till mer tekniska frågeställningar.

Men forskning kring VV&A är inte ämnad att lösa problemet med att formulera sina krav i syfte att uppnå kostnadseffektivitet, och bättre avkastning på investeringar i M&S i allmänhet. Ett annat sätt att uttrycka samma sak, är att det problem som M&S ska användas för att lösa antas vara väl definierat, vilket förefaller naturligt för att kunna avgöra om modellen kan användas för att möta de behov som föreligger.

De frågeställningar som tas upp i avsnitt 2.3 skär dock rakt igenom de vyer som illustreras av figur 3.1. Kopplingen mellan kostnader för en M&S investering till ett övergripande effektmål är ett exempel på denna skärning.

Kostnader genereras framför allt vid utveckling av simuleringsmodeller, men också vid användningen. Nyttan fås först när resultaten från användningen av modellerna appliceras på det ursprungliga problemet.

Tonvikten på processer och metodik är även intressant för diskussionen om processer i avsnitt 4.2. För även om VV&A i sig inte behandlar problemlösningens processen som helhet, är möjligheterna till verifiering och validering en grundläggande förutsättning för att kunna resonera kring olika alternativ för utformning av simuleringsmodeller. Ackrediteringsprocessen är i hög grad relevant för möjligheten att systematiskt kunna återanvända simuleringsmodeller, såväl inom en organisation som inom en grupp av myndigheter och företag.



## 4 Programvara och ekonomi

Kopplingen mellan programvara och ekonomi är inte ny, och vikten av att ta hänsyn till denna koppling beskrivs av följande citat:

“Traditionally, the study of software engineering has been primarily a technical endeavor with minimal attention given to its economic context. Design and implementation methods are proposed based on technical merits without making adequate links to economic considerations. Engineering seeks to create value relative to resources invested in a given context, whether commercial or not. Software development essentially is an irreversible capital investment and software should add value to the organization just as any other capital expenditure that creates a net benefit.”

Citatet är hämtat ur temat för *The Sixth International Workshop on Economics Driven Software Engineering Research (EDSER-6)*<sup>1</sup>, och med detta kapitel vill vi ge en bakgrund och översikt av det här forskningsområdet. För även om M&S frågor som berör försvaret inte kan behandlas enbart utifrån ett företagsekonomiskt perspektiv, går det inte heller att bortse från detsamma.

### 4.1 Ekonomi

Ekonomi, som denna rapport till betydande del handlar om, är ett ord vars innebörd kan uttryckas som *ett system för hushållning av resurser i ett tillstånd av brist*, och avser vanligen hanteringen av resurser genom en penningekonomi. Ordet används såväl för hantering av resurser som för det vetenskapliga studiet av resurshantering.<sup>2</sup> I akademiska sammanhang studeras ekonomin både inom nationalekonomi,<sup>3</sup> och företagsekonomi.<sup>4</sup>

Läran om ekonomi kan användas både för att försöka förklara konsekvenser av olika handlingsalternativ, som för att välja ett så bra handlingsalternativ som möjligt, under givna antaganden och förutsättningar. Läran kan grovt delas in i två huvudspår: Mikroekonomi, som handlar om individuella aktörer, så som enskilda hushåll, företag och organisationer, samt makroekonomi, som tar ekonomin som helhet i beaktande. I princip kan läran om ekonomi appliceras på varje problem som inkluderar valmöjligheter kontrollerat av knapphet eller bestämning av ekonomiskt värde.

Vad har då läran om ekonomi gemensamt med M&S? Den uppenbara beröringspunkten är naturligtvis den att det är resurskrävande att ta fram, använda

<sup>1</sup><http://www.EDSER.org>

<sup>2</sup>Från Engelskans *Economy* och *Economics*

<sup>3</sup>Studiet av resursers bildande, organisation och användning, d.v.s. av alla de arrangemang inom vilka människor söker sin utkomst och försöker tillfredsställa sina behov.

<sup>4</sup>Vetenskapen om företags förutsättningar, villkor och verksamheter

och vidmakthålla simuleringsmodeller. Om vi med mindre resurser kan lära oss att ta fram och använda modeller, är det ett steg framåt i utvecklingen.

*Men det finns ytterligare en beröringspunkt, som kanske inte är lika uppenbar, men mycket viktig om vi vill förstå de mer grundläggande ekonomiska förutsättningarna för M&S:*

Ett centralt begrepp inom ekonomi är *kapital*, men inte i bemärkelsen pengar, utan snarare som produktionsmedel, t.ex. fabriker, verktyg, etc. Som kapital räknas inte enbart fysiska tillgångar, utan också kunskap och färdigheter, utbildning, förmågor och andra tillgångar. Kunskap kan också vara förpackad på olika sätt som verktyg, eller datorprogram. Simuleringsmodeller är i allra högsta grad ett effektivt sätt att förpacka kunskap, och därmed att beakta som kapital. Från denna teoribildning kan vi också passa på att ta till oss två viktiga egenskaper för kapital:

- Kapital är heterogent, och därmed svårt, och oftast omöjligt att mäta och jämföra. Därför används vanligen *värdet* av kapital inom ekonomin. Det finns argument för att ekonomisk teori bygger på en teori om värde, och att värdet kan beskrivas som den underliggande aktiviteten som ekonomin beskriver och mäter.
- Kapital finns och verkar inte ensamt, utan i en struktur, som befinner sig i ständig omvandling<sup>5</sup>. Denna struktur kan sägas vara det som direkt och indirekt ingår i produktionen av en vara, eller med andra ord hela det ekosystem av underleverantörer, material och producenter som bidrar till varans uppkomst.

I produktionsstrukturen för en simuleringsmodell skulle med den definitionen ingå operativsystem, kompilatorer, programspråk, delmodeller och data, mm, såväl som aktörer som tillhandahåller dem. Detta synsätt blir särskilt intressant i ljuset av den tekniska utvecklingen inom M&S området: Går det att behandla simuleringsmodeller som *kapital*, på liknande sätt som vi inom ekonomin behandlar andra produkter och tillgångar?

Att bedöma satsningar på M&S för försvarets behov har många likheter med att göra motsvarande bedömning för ett enskilt företag eller organisation, men också stora skillnader. Men där ett företag kan värdera olika handlingsalternativ mot företagets strategi och mål, och i slutändan en förväntad vinst, är inte samma mått alltid tillämpbara för försvaret.

Företag och organisationer verkar inte i en oföränderlig miljö, utan emellanåt behöver anskaffning av ny utrustning göras, insatser för forskning och utveckling och andra immateriella tillgångar göras för att möta förändringar i omvärlden. Kännetecknande för dessa investeringar är att de ska användas och/eller har konsekvenser under flera år. Anledningarna och motiven till investeringarna kan vara av olika slag, de har dock gemensamt de brukar ge upphov till en rad olika frågeställningar som behöver besvaras innan investeringen kan verkställas:

- Hur kommer verksamheten att kunna dra nytta av projektet, och vilket affärs- eller verksamhetsproblem syftar det till att lösa?
- Hur mycket kommer det att kosta, och hur lång tid kommer det att ta?
- Vad ger investeringen tillbaka, och hur lång tid tar det innan investeringen förväntas betala sig?

---

<sup>5</sup>Från Engelskans *Capital Structure*

- Vilka är riskerna med investeringen eller projektet, och vilka är riskerna med att låta bli?
- Hur mäter vi nyttan av investeringen, och vilka andra handlingsalternativ finns det?

Ovanstående frågor är inte unika för någon specifik bransch, utan ställs vid investeringar vid företag inom praktiskt taget alla branscher, såväl verkstads- och tillverkande industri som inom programvarubranschen, och besvaras vanligen med ett underlag till en investeringsbedömning, ibland även kallat *business case*. Även immateriella satsningar förväntas emellanåt ge en direkt avkastning, exempelvis marknadsföring, och då kan man också göra en investeringskalkyl, och utifrån den bedöma om investeringen är lönsam, eller om resurserna kan förräntas bättre på annat håll.

Investeringar kan vara av olika slag. Många är av den karaktären att de förväntas betala sig på sikt, exempelvis investeringar i maskiner och produktionsutrustning. Men det är inte alltid som investeringar kan ge en tydlig och mätbar effekt, det finns fall där de inte ens förväntas betala sig, men ändå kan vara högst befogade. Anledningen är främst att det finns olika, mer strategiska aspekter som behöver beaktas vid bedömning av en investering. Några vanliga sådana exempel som ges i [33]:

- Hur väl medverkar investeringen till att förverkliga den valda strategin?
- Hur påverkas konkurrenspositionen - vad händer om konkurrenter investerar, men inte vi?
- Överensstämmelse mellan strategiska mål och verksamhetsmål - Effekterna av kvalitet och ledtider är ofta indirekta.
- Investeringar i ny teknologi är en källa till optioner som är svåra att utvärdera vid beslutstillfället.

Exemplen ovan återfinns traditionellt inom tillverkande industri, men är minst lika relevanta för M&S, där det också kan vara betydligt svårare att förutsäga konsekvenser av olika handlingsalternativ. Inom M&S handlar det inte bara om att välja mellan att genomföra en investering eller ej, att kunna välja mellan olika utformningar har minst lika stor strategisk betydelse.

Möjligheterna att förutse konsekvenser av olika alternativ är av stor vikt, då de ovan nämnda aspekterna beskriver olika dimensioner av målet, och inte sällan står i konflikt med varandra. Att sätta upp tydliga mål för vad man vill uppnå med investeringen hjälper föga om inte konsekvenserna av olika handlingsalternativ är välkända.

Simuleringsmodeller kan också betraktas som paketerad kunskap, och har därför ett antal egenskaper som är relevanta för diskussionen om kapital. På samma sätt kan med lite god vilja försvarsrelaterad M&S ses som den produktionsstruktur dessa modeller existerar inom. Det arbete som görs med anknytning till M&S för försvarets behov görs inte inom *en* organisation, utan är spritt på ett stort antal företag, myndigheter och övriga institutioner som samverkar med varandra i en komplex och dynamisk struktur.

Utän att försöka jämföra militär M&S med ekonomisk tillväxt och utveckling för samhället i övrigt, kan vi med [31] och [33] inte låta bli att konstatera att det finns några intressanta likheter med framsteg inom båda dessa områden:



- I ett långsiktigt perspektiv är vår kunskap och förmåga att utnyttja M&S resultat av tidigare arbete och investeringar. Det kunskapskapital och den kapacitet vi byggt upp bestämmer i hög grad den förmåga vi har idag.
- Investeringar som görs av samhälle i infrastruktur, så som vägar, el- och telenät, är svåra att lönsamhetskalkylera företagsekonomiskt, och också samhällsekonomiskt besvärliga prioriteringsproblem. Strukturella investeringar för militär M&S, som inte är direkt knutna till ett specifikt företag eller organisation, är behäftade med samma problematik.
- Större investeringar för framtiden som görs av samhället styrs i hög grad av förväntningar om framtiden. Med den bristfälliga kunskap om framtiden som vanligtvis råder, görs emellanåt felinvesteringar som binder upp resurser som skulle kunnat användas bättre på annat håll.

Ett exempel på en sådan investering är behovet av en försvarsmaktsgemensam infrastruktur för M&S, som har framförts sedan ett antal år. Såväl i Sverige som på andra håll har olika ansatser att åstadkomma en sådan gjorts, med varierande resultat. Det är relativt enkelt att finna goda argument för en sådan infrastruktur, men betydligt svårare att påvisa lönsamhet för en sådan investering. Likheter med egenskaper för andra större samhällsinvesteringar som framförs ovan ger ingen enkel lösning på den problematiken, men de kan utgöra ett väsentligt led i förklaringen av varför det är svårt.

## 4.2 Value Based Software Engineering

Värdebaserad programvaruutveckling, som vi översätter<sup>6</sup> begreppet *Value Based Software Engineering* (VBSE) med, är en förhållandevis ny forskningsgren på frammarsch. Vi ger här en mycket översiktlig bild av VBSE, med tonvikt på de avsnitt som är relevanta för våra frågeställningar.

Även om VBSE som forskningsgren är ung, väcktes tankarna på att ta hänsyn till de ekonomiska aspekterna för programvaruutveckling redan 1981, bl.a. av B.W. Boehm med boken *Software Engineering Economics* [14]. 1999 hölls sedermera en workshop med det värdeskapande perspektivet för programvara främst på agendan, *The first Workshop on Economics-Driven Software Engineering Research* (EDSER-1), och därigenom har en rad olika frågeställningar belysts. För vår övergripande beskrivning av detta forskningsområde har vi hämtat en stor del av informationen från A.J. Stoica:s kompendium i ämnet [45].

Vad är då syftet med VBSE, och vilka problem syftar det till att lösa? Det främsta motivet är att andra, befintliga ansatser till design och konstruktion av programvara inte förmår att lösa de vanligaste felkällorna för programvaruprojekt. Den främsta orsaken till denna oförmåga anges som att de är *värde-neutrala*, att de inte tar tillräckligt stor hänsyn till olika aspekter för det *värde* som programvaruprojekten förväntas generera för kunden.

En fundamental tes inom VBSE är att de intressen och prioriteringar som ett programvarusystems intressenter har, måste integreras i *alla* faser av ett systems utveckling. För att undvika förvirring av begreppen i den fortsatta beskrivningen av VBSE benämns detta system som *produkten*, även om den inte behöver vara en produkt i bemärkelsen att den går att sälja eller köpa. De olika stegen i utvecklingen av produkten berör inte enbart implementeringen,

---

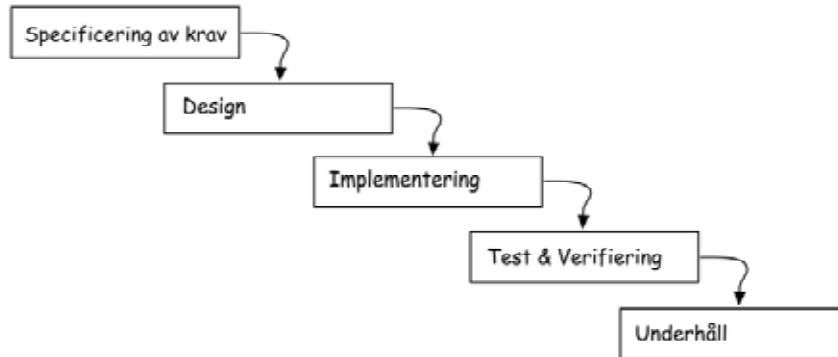
<sup>6</sup>Utveckling i bemärkelsen ingenjörskonst, snarare än produktionen av programkod

utan alla faser, från definition av systemet, till dess driftsättning och vidare utveckling, anses kritiska för en framgångsrik produkt.

Hur kan då integrationen av de olika faserna materialiseras? Traditionellt har forskning inom områdena kravhantering, arkitektur, design och implementering haft stor betydelse för utveckling av programvara som ingenjörskonst. Men för att täcka in alla faser, behöver också andra områden som verifiering, validering, planering och styrning, kvalitet och personal hamna i fokus [12]. Dessa faser har redan en stark koppling till genomförande av projekt i allmänhet, och stärker oss i uppfattningen från kapitel 3 att processer och metoder för genomförande av projekt också är viktiga för en framgångsrik produkt.

Men vad är då en *framgångsrik* produkt? Utan att närmare gå in på vilka framgångsfaktorerna är, eller bör vara, kan vi konstatera att svaret beror av vem frågan ställs till. Av de många olika intressenter som är involverade, har naturligtvis beställare, finansiärer och användare sina uppfattningar. Utförare, leverantörer m.fl. har sannolikt andra värderingsgrunder. Trender för teknikutveckling sätter också sin prägel på vad som kan anses som framgångsrikt.

För att beskriva den programvaruintensiva produkten, och även processen för att konstruera den används modeller av olika slag. Men en modell kan inte användas för att beskriva alla tänkbara aspekter, utan var och en beskriver en specifik vy av en situation, eller produkten. En modell av en utvecklingsprocess kan ses som en övergripande beskrivning av hur utvecklingen är tänkt att ske, och beskriver olika steg och faser i den processen. Det finns många olika sätt att bedriva utveckling av programvara på, några av dem beskrivs närmare i bl.a. [23]. Ett exempel på en övergripande processbeskrivning som var vanlig för ett antal år sedan är vattenfallsmodellen, och illustreras i figur 4.1.



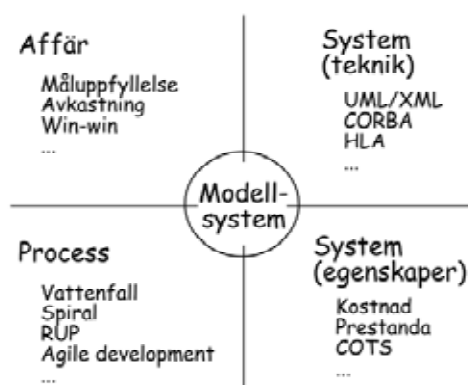
Figur 4.1: Vattenfallsmodellen. I den ursprungliga formen så följer de olika faserna en strikt sekvensiell ordning, uppifrån och ner som i ett vattenfall. Först när krav är specificerade sker övergången till nästa fas, design. Metoden som sådan anses numera förlegad, men är fortfarande ett bra exempel på en processbeskrivning.

Modeller kan också användas för att beskriva olika tekniska egenskaper för ett system. De kanske mest kända exemplen är *Unified Modelling Language* (UML), som kan användas för att beskriva arkitekturen för programvara, och interna relationer mellan klasser och komponenter, och *eXtensible Markup Language* (XML), som kan beskriva strukturer för data av olika slag. Andra exempel är *Common Object Request Broker Architecture* (CORBA) och HLA, som kan beskriva kommunikation och informationsutbyte.

Gränsen mellan beskrivning av övergripande egenskaper för ett system och den teknik som använts är flytande. En av de mer övergripande systemegen-

skaperna kan vara kostnaden för att ta fram det, och som naturligtvis också kan formuleras som en modell. Estimering av ett systems prestanda och tillgänglighet baseras vanligen på modeller av olika slag, framför allt innan det färdiga systemet finns tillgängligt att mäta på. Användning av kommersiella delkomponenter, *Commercial Of The Shelf* (COTS) ger upphov till övergripande beroenden, men påverkar även val av tekniker som kan användas.

Det faktum att det finns så många olika perspektiv som utvecklingen av en produkt kan betraktas från, leder till en annan innebörd av begreppet modell. Från att vara en abstrakt beskrivning av produkten som ska tas fram, är det en beskrivning *ur ett perspektiv* av produkten som ska tas fram. För att ge en mer heltäckande beskrivning av den tänkta produkten, behöver därför flera modeller användas, som var och en belyser olika perspektiv. Inom VBSE benämns denna samling av modeller som ett *system av modeller*, och illustreras av figur 4.2. Betoningen på *modell* är viktig, för oavsett om det rör sig om modeller av processer, system eller affärer, baseras de på antaganden om hur företag och dess omvärld, liksom den tänkta produkten ska konstrueras och fungera.



Figur 4.2: Ett system av modeller. För att kunna beskriva och resonera kring ett programvaruintensivt system använder vi ofta modeller av olika slag. Några av dessa modeller beaktar systemet som en produkt, och kan beskriva dess tekniska såväl som mer övergripande egenskaper. Andra modeller hjälper oss att beskriva processer för konstruktion och produktion av systemet. Affärsmodeller är till hjälp för att finna incitament för investeringar, välja mellan olika handlingsalternativ och bedöma hur bra resultatet blev.

Men för att få med alla faser i utvecklingen, räcker det inte med beskrivningar av systemet, eller processen för att ta fram det. Vi behöver också en plan för hur det framtagna systemet ska kunna komma till nytta för intressenterna. En sådan plan, eller affärsmodell, kan sägas vara en övergripande beskrivning för hur ett företag ämnar vara till nytta för sina kunder, och därigenom skapa omsättning och vinst. Planen inbegriper vanligen strategier för att välja marknader, skaffa och behålla kunder, men också strategier för hur resurser ska användas, och hur vinsten ska kunna fångas. I en vidare bemärkelse kan en affärsmodell också vara en strategi för hur ett företag ska agera gentemot sina partners i olika situationer.

Det är också genom att ta hänsyn till de mer affärsmässiga aspekterna som förutsättningar skapas för att kunna ta hänsyn till olika intressenters krav och prioriteringar. De intressen som olika parter har i en produkt står inte sällan i konflikt med varandra. Exempelvis kan beställaren vilja minimera kostnaden, medan användaren vill maximera funktionaliteten. Leverantören kan ha intressen som utöver att kunna räkna hem en vinst på beställningen, också kunna

schemalägga leverans utan att få konflikter med andra uppdrag, och använda kompetens och verktyg som denne redan har tillgänglig. De olika paradigmen från avsnitt 2.2 och konflikter från avsnitt 4.1 återkommer ständigt i förhandlingar mellan användare, beställare och utförare.

Intressekonflikter kan naturligtvis lösas med förhandlingar, men för att få en så bra bild som möjligt av konsekvenser för olika alternativ krävs att intressenterna kan ha en enhetlig överblick av situationen. Om produktens funktionalitet ökas, behöver alla parter få reda på vad det innebär i form av leveranstid och ökade kostnader för projektet. Om användningsområdet förändras kan det få effekter i form av förändrade behov av funktionalitet. Kopplingarna mellan de olika modeller som kan användas för att beskriva produkten, samt processen för att ta fram den är många, och illustreras mycket förenklat av figur 4.3. Såväl användare som beställare, kunder och utvecklare m.fl. behöver ges möjlighet att påverka produkten utifrån sina respektive kriterier för att resultatet ska kunna bli vad de anser *en lyckad produkt*. En beskrivning av hur s.k. *win-win agreements* kan åstadkommas ges av Boehm i [10].

Vikten av att sluta avtal som är fördelaktiga ur samtliga intressenters perspektiv kan vid en första anblick tyckas självklar, men att åstadkomma det i praktiken är en långtifrån enkel uppgift. För det första så gäller det att hålla nere kostnader, då det så gott som alltid ligger i någon av parternas intresse att hålla nere priset för produkten. Ett sätt att hålla nere kostnader är att begränsa den funktionalitet som behöver realiseras. Det gäller också att *rätt* funktionalitet verkligen blir realiserad, för i annat fall kan inte produkten användas för att generera den nytta som var tänkt från början. Detta leder till att en omsorgsfull översättning mellan nytta, funktionalitet och kostnader behöver göras innan produkten realiseras. En intressant alternativ ansats för att uppnå detta behandlas utförligt av [39].

De modeller av olika slag som presenteras i figur 4.2 är i hög grad relevanta för våra frågeställningar. Relationen mellan dem är minst lika intressant, och illustreras översiktligt av figur 4.3. En central komponent i detta dynamiska modellsystem är beslutsramverket, som kan beskrivas som metoder för att avgöra om och när ett alternativ är bättre än ett annat, och gör det möjligt att välja mellan olika alternativ utifrån givna kriterier. Boehm tar i [14] upp några metoder för att handskas med de multivariata frågeställningar som uppkommer. Andra metoder för att hantera liknande frågeställningar är *Cost Benefit Analysis Method* (CBAM)[32], *Real Options*[18], samt *Utility Theory*[43]. Oavsett vilka metoder som används, är rollen för beslutsramverket densamma: att möjliggöra för intressenter att välja mellan olika alternativ och i någon mening optimera lösningen.

Tillsammans kan modeller användas i ett system för att skapa en mer helhetsbild av en situation, inte helt olik vårt exempel från kapitel 2. Modeller av olika slag, datorimplementeringar såväl som mentala föreställningar är kraftfulla hjälpmedel om de används rätt. Men med kunskap om M&S som forskningsområde, vet vi också att det är mycket som krävs för att kunna koppla samman olika modeller och kunna göra en adekvat bedömning av resultatet. Likartade problem kan naturligtvis uppstå även när man försöker koppla samman affärsmodeller med processmodeller, även utan att försöka implementera dem programmatiskt.

Dessvärre är risken för diskrepans mellan modellerna stor. För även om det till synes ser enkelt ut, att med modeller beskriva de olika vyer, är modellerna komplexa och kräver både kunskap och erfarenhet för att kunna användas korrekt. För att illustrera graden av komplexitet beskriver vi i avsnitt 4.3 modeller för att uppskatta kostnader för utveckling av programvara. VBSE har



En av de viktiga grundförutsättningarna i VBSE-teorin [45] är möjligheten att i valsituationer, där modellutveckling ingår bland de tänkbara alternativen, tidigt i beslutsprocessen kunna estimerat utvecklingskostnader för M&S-projekt som underlag för optimala val. Då det inom forskningsområdet *Software Cost Estimation* (SCE) gjorts avsevärda framsteg beträffande utveckling av ett stort antal metoder och verktyg för kostnadsestimering av programvara, finns nu etablerade verktyg tillgängliga, som åtminstone för vissa mjukvarutillämpningar kan möta detta behov.

Möjligheten att kunna utföra adekvata preliminära skattningar av resursåtgångar är vidare generellt viktig även i redan beslutade programvaruprojekt av flera skäl, bland annat för att:

- Medge rimlig resursallokering till projektet
- Underlätta projektledning genom bättre matchning mellan initial resurstilldelning och senare konstaterade behov
- Förbättra möjligheten till leverans inom allokerade tidsramar och kostnadsramar

Projektledare och systemutvecklare har hittills i stor utsträckning fokuserat på funktionalitet och tekniska kvalitetsaspekter hos M&S-system och har ofta saknat utbildning och verktyg för att i planeringsfasen kunna estimerat kostnader och tidsramar för utvecklingsprojekt. Av samma skäl har de varit dåligt rustade för att kunna göra rationella val mellan å ena sidan anskaffning av färdiga modeller (COTS) och å andra sidan modellutveckling via konsultupphandling eller egen systemutvecklingspersonal. Dessa förhållanden har lett till att kostnadsöverdrag och leveransförsejningar av M&S-system snarare tenderat att bli standard än undantag. Det är därför nödvändigt att vidga kunskapsbasen för systemutveckling till att även inkludera ekonomiska koncept och metoder och att balansera dessa med de tekniska kravspecifikationerna.

Avsikten med detta avsnitt är att peka ut en ekonomisk dimension i utvecklingen av M&S-system och att översiktligt presentera aktuella forskningsresultat i form av metoder och verktyg för resursestimering, samt att peka ut trender inom forskningsområdet SCE. Detta forskningsområde är inte nytt, ty så tidigt som vid mitten på 60-talet publicerades den första större studien inom området (under den mera generella benämningen *Software Economics*), nämligen ”*Management Handbook for the Estimation of Computer Programming Costs*”, utförd på beställning av U.S. Air Force [37]. I denna studie lanserades en första approximerad estimeringsmodell baserad på linjär regression, som sedan stimulerade framtagning av successivt förbättrade metoder och verktyg under de följande decennierna. Som exempel kan nämnas några tidiga estimeringsmodeller, som fortfarande idag används, om än i vidareutvecklad form: SLIM [40], PRICE S [24] och COCOMO [14].

Dessa tidiga ansatser till estimeringsmetoder är exempel på algoritmiska matematiska modeller, som levererar en kostnadsskattning,  $C$ , som en funktion av ett antal variabler, som avses utgöra de viktigaste kostnadsfaktorerna:  $C = f(s_i)$ . Dagens kvantitativa estimeringsmodeller fokuserar normalt på skattning av en eller flera av de primära beroende resursparametrarna: *personalinsatser* (personmånader), *projektlängd* (kalendertid), *kostnader* (ksek). De baseras ofta på någon slags skattningar av programvarans storlek och komplexitet som oberoende inparametrar ( $s_i$ ). De vanligast använda oberoende kostnadsdrivande faktorerna är:

**Lines Of Code, (LOC)** är ett mått på antalet programsatser i slutprodukten. Eftersom LOC endast är välbestämt när systemutvecklingen är klar, har olika metoder för tidig skattning av LOC utvecklats. [20, 6] En möjlighet är att använda s k PERT-teknik [6]:

- Med hjälp av expertbedömning skattas tre tänkbara utfall av storleksfaktorn  $s$ :  $s_l$  är minsta möjliga,  $s_h$  är största möjliga och  $s_m$  är den mest sannolika storleken.
- Därefter skattas storleken i LOC som  $s = \frac{s_l + 4s_m + s_h}{6}$

**Function Points (FP)** är ett mått på programmets funktionalitet och tar även hänsyn till programlogik genom att ur kravspecifikationen skatta antalet instanser av fem olika typklasser: *user-input*, *user-output*, *inquiry types*, *internal files*, *external files*. Respektive instans multipliceras därefter med en skattad komplexitetsfaktor mellan 1 till 3 för att skapa en total FP-summa. [4]

**Full Function Points (FFP)** är en utvidgning av FP-begreppet för att speciellt skatta storleken av realtidsapplikationer. [44]

**Feature Points (FtP)** är en utvidgning av FP genom att även skattning av antalet algoritmer läggs till i programmet. Den är därmed bättre lämpad för program med stor algoritmisk komplexitet, t ex matematisk programvara, diskreta simuleringar eller militära applikationer. Varje skattad instans av typen algoritm multipliceras med en komplexitetsfaktor mellan 1 till 10. [30]

**Object Points (OP)** Enligt OP-metoden skattas antalet programskärmsidor (*screens*), programrapportutskrifter (*reports*) och 3GL-komponenter och dessa tilldelas olika viktsfaktorer beroende på komplexitet. [13]

Estimeringsmetoderna kan allmänt indelas i två huvudklasser; algoritmiska och icke-algoritmiska. Bland de *icke-algoritmiska metoderna* kan nämnas:

**Analogiskattning** Denna metod kan appliceras av en projektgrupp med erfarenhet av utveckling av tidigare analoga programvaruprojekt.<sup>7</sup> Den bygger på skattningar av resursomfattning genom jämförelser med konstaterad omfattning för motsvarande analoga delmoment i de tidigare projekten.

**Expertbedömning** Enligt denna metod utnyttjas en eller flera experter på systemutveckling, som utför individuella estimeringar, som sedan kan sammanjämkas med exempelvis PERT- eller Delphi-teknik.

**Bottom-up** Om en prototypdesign först tas fram eller redan finns tillgänglig, kan denna metod appliceras genom att resursåtgången skattas för varje delkomponent för sig med hänsyn till bedömd skillnad för motsvarande komponent i den slutliga produkten och genom att därefter resultatet aggregeras uppåt.

**Top-down** En metod som är bättre lämpad för tidig kostnadsestimering än bottom-up, är att först göra en initial grovbedömning av totalkostnaden för att därefter bryta ned kostnaden på enskilda komponenter. Med ledning av komponentvis bedömd rimlighet kan sedan totalkostnaden iterativt efterjusteras.

---

<sup>7</sup> Den historiskt bevandrade läsaren uppmärksammar här kanske det möjliga syftningsfelet, då det har funnits datorer som arbetade med matematiskt kontinuerliga (analog) siffervärden, till skillnad från den diskreta representation dagens datorer arbetar med.

De *algoritmiska metoderna* lämpar sig i allmänhet väl som grund för algoritmiska matematiska modeller. Ett flertal sådana kvantitativa modeller har utvecklats och de vanligaste av dessa modeller baseras på varianter av grundformeln

$$c = a \cdot s^b$$

där  $s$  är ett storleksmått och  $a, b$  funktioner av andra kostnadsfaktorer.

Bland framgångsrika modeller ur denna klass kan nämnas *Constructive Cost Model* (COCOMO) [14, 13], och SLIM [40]. För att ta hänsyn till lokala variationer vid användning av exponentmodeller kan linjär regression användas för kalibrering mot tidigare lokala resultat. Om versaler betecknar logaritmen för varje term, fås:

$$C = A + b \cdot S$$

Med minsta kvadratmetoden applicerad på ett antal tidigare datauppsättningar  $(C_i, S_i)$  kan de lokala parametrarna  $(b, A)$  därmed skattas.

Enligt [34] kan följande grova översikt göras av de nämnda metoderna för estimering av erforderlig resursallokering för ett programvaruprojekt:

Metod	Fördelar	Svagheter
Expertbedömning	Erfarna experter kan ge goda resultat	Expertberoende
Analogimetoden	Baseras på verkliga projekt	Beroende av analoga projekt
Bottom-up	Baseras på detaljerad analys	Prototypberoende
Top-down	Snabb och enkel	Lägre tillförlitlighet
Algoritmisk	Objektiv och repeterbar	Beroende av analoga data

Av översikten framgår att ingen metod är bäst för alla typer av projekt och att en kombination av några av metoderna troligen ger bästa resultat i det enskilda fallet.

Metoderna för *Software Cost Estimation* har fortlöpande utvecklats och förfinats under flera decennier och de har på senare tid tenderat att ytterligare specialinriktas för att medge tidig kostnadsestimering för olika typklasser av M&S-modellering för så disparata applikations-domäner som till exempel forskning, utbildning, träning, anskaffning, ledning, värdering och strid.

Den aktuella forskningstrenden pekar samtidigt mot ökad fokusering på det övergripande forskningsområdet VBSE med SCE inordnat som ett av stödbenen. VBSE har till exempel nyligen börjat att introduceras på vissa håll i IT-undervisningen på universitetsnivå och förhoppningsvis kommer de vunna framgångarna för metodutveckling inom kostnadsestimering att inom en nära framtid matchas av motsvarande kvalitativa genombrott inom det mera esoteriska forskningsområdet för värdeestimering.

#### 4.4 Modellering och Simulering

Begreppet *Modellering och simulering för militära ändamål* är långtifrån entydigt, och innefattar en stor mängd tillämpningar och användningsområden. Verksamheten, såväl utveckling som användning, bedrivs såväl inom försvarsmakten som hos myndigheter och företag.



Omfattningen av M&S för försvarets behov är tämligen stor, för år 2002 var den i storleksordningen 2 mdr kr per år[22], och det säger sig självt att styrningen av en såpass omfattande verksamhet är ingen lätt sak. Behovet av en övergripande styrning och samordning av M&S verksamheten har framförts från bl.a. [29], där även behovet av en gemensam infrastruktur tydliggörs.

Den väl etablerade användningen av M&S har flera orsaker: Dels går det att med simulering studera händelseförlopp och pröva nya idéer som inte skulle vara möjliga att studera i verkligheten. Användning av M&S bidrar därmed till att öka förmågan för vårt försvar. Andra skäl är att M&S i många fall är billigare än andra metoder, och/eller ger en högre kvalitet.

I ett historiskt perspektiv har det varit praxis att utveckla simuleringsmodeller som mer eller mindre fristående applikationer, där så gott som all erforderlig funktionalitet ingått i applikationen. Beroendet av annan programvara för att köra modellen är vanligen mycket litet, eller obefintligt.

Inom programvaruindustrin har sedan länge en trend mot en objektorienterad analys och design av stora programsystem, och på senare år även komponentbaserad utveckling varit tydlig. Tekniska framsteg inom M&S området har gett oss allt större möjligheter att koppla samman simuleringsmodeller med varandra, och därmed kunna återanvända dem i nya sammanhang. För M&S innebär denna trend ett paradigmskifte; Utvecklingen går mot en metodik där större modeller kan byggas upp av mindre delmodeller som kommunicerar med varandra via väldefinierade gränssnitt.<sup>8</sup>

En konsekvens av denna utveckling är möjligheten att relativt enkelt koppla ihop mindre modellobjekt till större modeller, en egenskap som bäddar för en evolutionär modellutveckling, där delmodeller enkelt kan ersättas av en ny med önskad funktionalitet.

Effekterna av den tekniska utvecklingen inom M&S är svåra att bedöma. Uppgifter som för bara några år sedan lämpligast löstes genom utveckling av en fristående simuleringsmodell, användning och stegvis förfining kan förvisso lösas på samma sätt än idag, men är det fortfarande det mest fördelaktiga? Komponenter och programvara för M&S kan i många fall finnas färdiga att köpa för en bråkdel av vad det kostar att ta fram motsvarande modell själv, samtidigt som komplexiteten att integrera dessa delar till något som uppfyller ens behov eskalerar. Fokus flyttas något från renodlad modellutveckling till integration av modellkomponenter.

#### 4.4.1 Kategorisering

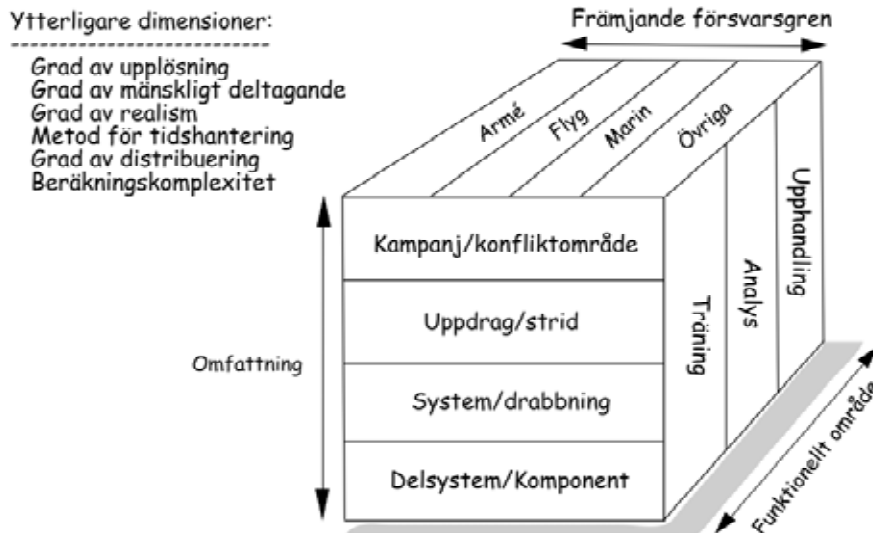
Det finns ett flertal olika övergripande teorier och åsikter om hur simuleringsmodeller bör organiseras och struktureras. Dessa paradigmer är inte knutna till någon specifik domän eller tillämpningsområde, utan berör mer övergripande begrepp och synsätt. Gemensamt för dem är att val av arkitektur och design, mm förväntas påverka slutresultatet.

Den aspekt som kanske allra tydligast belyser skillnaden mellan olika paradigmer är tidsperspektivet. Vid utveckling av en simuleringsmodell vars förväntade livslängd är ett decennium eller mer, faller det sig naturligt att utnyttja etablerade standarder och verktyg för gränssnitt, visualisering och annan funktionalitet. Det är då ofta mindre intressant att använda tredjepartsprodukter om det inte går att lita på att också dessa kan underhållas under samma tid.

---

<sup>8</sup>En av teknikerna för detta är framförallt den numera standardiserade *High Level Architecture* (HLA), men det finns också en bred flora av kommersiella lösningar och verktyg för detta ändamål.

Men om modellen bara ska användas under en begränsad tid, så blir det mer naturligt att använda produkter och hjälpmedel som kan underlätta utvecklingen, då behovet av att kunna underhålla hjälpmedlen inte är lika stort.



Figur 4.4: Klassificering av M&S. Att göra en god indelning är ingen enkel uppgift, som illustreras av att det utöver de utritade dimensionerna finns ytterligare faktorer att ta hänsyn till. Det är heller inte givet att de olika dimensionerna är ortogonala mot varandra. Indelningen är från DoD M&S Masterplan, 1995.

Syftet med att kategorisera M&S är att utifrån vilken kategori utvecklingsprojektet faller under, kunna säga något om vilka krav som generellt brukar ställas på sådana modeller. Men en sådan indelning kan göras på många olika sätt, med varierande abstraktionsnivå. En indelning som görs av [41] beskriver tre generaliserade användningsområden för M&S:

**Simulation as software engineering** Komplex modell för att representera företeelser i verkligheten. Utvecklingen är förknippad med höga kostnader, och användningen kan vara kontinuerlig och sträcka sig över flera åra. Modellen ska kunna användas för att besvara ett flertal olika frågeställningar.

**Simulation as a process of organizational change** Modell för att lösa ett specifikt problem, eller svara på viss frågeställning, modellen i sig är inte huvudsyftet. När problemet är löst, eller frågan är besvarad så kan modellen kastas.

**Simulation as facilitation** Modell för att bättre skapa förståelse för en viss situation, och fungera som diskussionsunderlag. Modellen behöver inte nödvändigtvis kunna ge ett bra svar på en frågeställning. Låga kostnader för framtagning, och kan kastas efter användningen.

En något mindre generaliserad indelning, baserad på användningsområde görs av [Gordon] [27] och [Axelrod] [8]. Den senare är hämtad från det samhällsvetenskapliga området, men indelningen har ändå en viss relevans för militära tillämpningar. Detta sätt att dela in användningen påminner mycket om den funktionsindelning som görs i [38], och kan ses i bild 4.4:

- [Gordon] *Wargaming, Experimentation, Assessment, Acquisition, Evaluation, Training, Decision Support for Combat Operations*
- [Axelrod] *Education, Discovery, Prediction, Performance, Proof, Training, Entertainment*

Vi kan konstatera att ju finare indelningen görs, desto mer går det också att säga om vilka krav och egenskaper som är relevanta. Men att knyta indelningen till verksamhetsspecifika områden har några nackdelar: Dels är de föränderliga, och dessutom är M&S ett multidisciplinärt område, som ofta sträcker sig över ett flertal områden.

En intressant ansats till kategorisering för att hitta mätbara storheter görs av [50], som kombinerar en hög abstraktionsnivå med att särskilja på teknik, funktion och målsättning. De tekniska frågorna berör främst modellmässiga aspekter:

### **Teknik**

---

Arkitektur	Högnivå design av system och M&S verktyg
Datorgenererade styrkor	Representation av beslutsfattande och beteende
Omvärldsmodellering	Hur omgivningen representeras, effekt av väder, terräng och dess interaktion med andra entiteter
Information/databas	Metoder för dataåtkomst, datamodellering
Interoperabilitet	Hur M&S verktyg interagerar med varandra

De funktionella områdena berör främst användningen. Även om de, precis som tekniken är färgade av sin tid, är de till övervägande del de samma som omnämns i [38], [27], [8] och [41].

### **Funktion**

---

Analys	Experiment som leder till användbara resultat
Träning	Öka färdigheter genom att träna, planera och öva
Forskning och utveckling	Virtuella prototyper, pröva olika alternativ att lösa en uppgift.
Test och utvärdering	Utvecklingstester och operationella tester
Anskaffning	För att stödja processer för design, tillverkning och logistik

I studien ingår observationer från ett 30-tal projekt, och för att finna mätbara storheter förs sedan en diskussion som delar in resultaten i följande kategorier, där varje funktions- och teknikaspekt kan behandlas var för sig:

**Kvantitativa mått med avseende på teknik.** Avser egenskaper som hur stor del av programvaran kan återanvändas, vilken insats krävs för samarbete och återanvändning. I vilken mån har kostnader kunnat undvikas, samt risker kunnat reducerats.

**Kvalitativa mått med avseende på teknik.** Avser egenskaper som användbarhet, kvalitet på träning, eller i vilken mån beslutsstöd kunnat förbättras.

**Kvantitativa mått med avseende på funktion.** Avser besparingar, undvikande av kostnader och antalet olika alternativ som kan undersökas. Reducering av risker faller in även under denna punkt.

**Kvalitativa mått med avseende på funktion.** Avser kvalitet på data, grad av unikhet vid träning och i vilken mån en ökad beredskap uppnåtts.

Punkterna ovan är exempel på hur kvalitativa såväl som kvantitativa mått kan beskrivas enligt [50]. En iakttagelse är att indelningen är en effekt av att finna mätbara storheter för M&S projekt, och inte det omvända.

Vi kan konstatera att det finns några lovande ansatser att försöka kategorisera M&S verksamhet. Det är dock viktigt att ha ett tydligt motiv för att göra denna indelning. En renodlad indelning i användningsområden är förvisso illustrativ, men har förmodligen en mycket begränsad användning för att mer generellt kunna avgöra när en metod är att föredra framför en annan.

Tillgången på data om M&S projekt är också starkt begränsad, men är fortfarande en förutsättning för möjligheter till djupare analyser och studier. Två viktiga frågor för datainsamling som tas upp av [21] är att brist på data beror dels av att det saknas etablerade rutiner för att samla in data på ett enhetligt sätt, samt att data från mindre lyckade satsningar på M&S lyser med sin frånvaro. En ansats att samla in nationella data behöver förmodligen sanktioneras för att kunna bedrivas effektivt.

#### 4.4.2 Ekonomiska aspekter

Såväl kategorisering som bedömning av framgångsfaktorer för M&S projekt behöver baseras på ett tillräckligt antal fallstudier. Men tillgången på såväl kvantitativa som kvalitativa data är begränsad. I militära, och i viss mån industriella sammanhang är det främst behovet att finna ekonomiska motiv för användning av M&S som uppmärksammas. Frågan har väckts, inte minst genom ett antal artiklar av W. Waite [47, 48, 49].

Den förmodligen bästa översikten av det arbete som gjorts internationellt för att bringa klarhet kring ekonomiska aspekter för M&S är den artikel [26] som nyligen presenterats inom *NATO Modeling and Simulation Group* (NMSG). Artikeln baseras delvis på det arbete som FMV initierat, och redovisas i [21]. Utöver W. Waite är även Dr S. Gordon bland författarna, vars artiklar [27, 17] belyser en rad olika frågeställningar i ämnet.

Under senare delen av 1990-talet formades en studiegrupp inom *Simulation Interoperability Standards Organization* (SISO), i syfte att bland annat samla in data, formulera terminologi och utveckla en marknadsmodell för M&S. En stor del av dessa uppgifter kvarstår dock, men en följd var att intresset för ekonomiska aspekter för M&S fick en viss spridning.

En iakttagelse är dock att merparten av de ansatser som gjorts att utreda frågan, begränsar sig till de fall där nyttan med M&S går att kvantifiera, exempelvis i termer av besparingar eller där det på annat sätt går att undvika kostnader. Ett visst fokus på att finna incitament för investeringar i M&S kan också skönjas.

Det arbete som redan gjorts på andra håll är i hög grad relevant för våra frågeställningar. Bland annat så pekas olika intressentkategorier ut av [26]. I [25] förs ett resonemang om hur den ekonomiska nyttan av M&S kan ökas, där tas även upp det faktum att nyttan inte alltid är möjlig att kvantifiera. Men merparten av det arbete som gjorts har som utgångspunkt att värdet av M&S kan formuleras som skillnaden mellan kostnad och förtjänst, även

benämnt som *Return on investment* (ROI). Möjligheterna att även i andra sammanhang påvisa nyttan med M&S är dock varierande, och som nämns i [21] saknas i stor utsträckning ett strukturerat sätt att redovisa kvalitativa och kvantitativa resultat från militära M&S projekt. Den kunskapsuppbyggande effekten som emellanåt kan vara en betydande del av resultatet från ett M&S projekt är också till sin natur mycket svår att definiera och mäta.

Modellering och simulering görs inte enbart av försvarssektorn, och behovet av att ekonomiskt kunna motivera större investeringar i M&S finns naturligtvis även i civila sammanhang. Några av de mer kända exemplen är bl.a utvecklingen av Boeing 777 och det Europeiska forskningsprogrammet *Value Improvement Through a Virtual Aeronautical Collaborative Environment* (VIVACE), som tas upp av [21]. Bilindustrin är också en bransch som spenderar stora summor på M&S, där [42] är en av många artiklar som behandlar ämnet. Ett exempel från produktionssimulering i tillverkande industri diskuteras i [28], där nyttan kvantifieras som undvikande av investeringar som kunde påvisas onödiga med M&S, kortare inkörningstider och utebliven kassation vid driftsättning.

För att den potential som finns med Modellering och Simulering bättre ska kunna utnyttjas inom försvaret och andra samhällsfunktioner, krävs att vi lär oss mer om att handskas med investeringar i M&S, och då räcker det inte med att bara tillämpa praxis från företagssektorn. Vi behöver också bättre insikt i hur ekonomiska förutsättningar tillsammans med andra krav styr utveckling och användning.

Återanvändning av simuleringsmodeller är ett vanligt förekommande exempel på hur investeringar i M&S kan effektiviseras. Men återanvändning kan uppnås på flera sätt, vart och ett med unika egenskaper och konsekvenser:

**Återanvändning av modellkoncept.** Matematiska modeller, data, design och programstruktur kan återanvändas vid implementering av en ny simuleringsmodell. Att använda ett beprövat koncept som visats fungera kan förkorta design- och utvecklingsfasen avsevärt.

**Återanvändning av exekverbara simuleringsmodeller.** Programkoden för simuleringsmodellen kan återanvändas, eller i vissa fall även det körbara programmet. Här kan även implementeringsfasen undvikas, men i stället ställs högre krav på att modellen passar för det nya syftet.

**Återanvändning av scenarier och resultat från körningar.** Data, resultat och erfarenheter från tidigare studier kan emellanåt vara direkt användbara på nya problem, utan att simuleringar genomförs.

Förutsättningarna för återanvändning varierar, och beror av många olika faktorer. Att uppskatta och beräkna värdet för återanvändning av simuleringsmodeller är kanske inte vanligt förekommande, men det är fullt möjligt, och beskrivs närmare i [19]. Återanvändning av programvara är dock inte bara en teknisk fråga, utan även organisatorisk. En mer nyanserad bild av ekonomimodeller för återanvändning, om än för programvara i allmänhet ges av [35]. Där framförs också att målsättningen med ett program för återanvändning av programvara måste sammanfalla med de olika intressenternas egna mål för att lyckas.

## 5 Diskussion

Det huvudsakliga föremålet för denna studie har varit ekonomiska och andra aspekter på simuleringsmodeller, för försvarets<sup>1</sup> behov. Paradoxalt nog kan dessa egenskaper belysas med just modeller, om än inte avsedda för simulering. Den drivande kraften bakom arbetet har varit viljan att bättre förstå den värld vi verkar i, och det är också genom att utveckla de modeller som avbildar olika vyer av denna verklighet, som en ökad förståelse kan uppnås. Men det är också viktigt att ha i åtanke att de är *modeller*, framtagna för vissa syften, och som inte nödvändigtvis ger den i alla avseenden bästa avbildningen av hur vår omvärld fungerar.

### 5.1 Slutsatser

Utan att dra alltför långtgående slutsatser, kan vi från kapitel 3 konstatera att storskalig utveckling av programvara historiskt sett har varit problematiskt, och att det inte heller finns någon enkel lösning. Att använda programvara i form av simuleringsmodeller, för att leverera resultat eliminerar inte problemen, även om programvaran då inte behöver produktifieras i samma utsträckning.

En av de mer övergripande frågeställningarna från avsnitt 2.3, var möjligheterna att visa på hur val mellan olika sätt att implementera en simuleringsmodell påverkar den nytta som användningen av densamma förväntas generera. En fullständig analys av den frågan ligger visserligen utanför ramen för det här arbetet, men det går att spekulera kring möjligheterna att nå dit. Å ena sidan finns det inom VBSE mycket som talar för att det åtminstone i teorin skulle vara fullt möjligt. Men är det realistiskt att tro att det skulle gå att göra också i praktiken?

Ett faktum som talar emot detta är att en ansats som tar hänsyn till problemlösningsprocessen som helhet blir mycket komplex. Vi har heller inte studerat några exempel på hur väl det fungerar i praktiken. Men å andra sidan skulle den brist på kunskap som råder, om hur val av verktyg och metoder inverkar på produktens egenskaper, så som kostnad, ekonomisk livslängd, mm, förmodligen vara oacceptabel inom andra branscher.

Av alla frågeställningar som berörts finns det en som är särskilt intressant: Vad är det som särskiljer satsningar på M&S från programvara och övrig teknik? Svaret på den frågan är viktigt för att kunna veta när kunskap från andra områden är tillämpbar, men också när den inte är det. Ett förhållande som illustreras av figur 3.1, är att M&S sällan eller aldrig är direkt tillämpbart på det verkliga problemet, frågeställningar och behov behöver transformeras till ett problem som M&S kan appliceras på. Programvara däremot kan ibland svara direkt mot verkliga behov.

---

<sup>1</sup>Den något oklara syftningen är avsiktlig; resonemangen blir principiellt de samma, oavsett om det är Försvarsmakten eller Totalförsvaret som avses.

## 5.2 Förslag till fortsatt arbete

Avslutningsvis vill vi peka ut några förslag på olika sätt att följa upp detta arbete. Förslag och frågeställningar är visserligen inte nya i jämförelse med de som presenteras i avsnitt 2.3, men i ljuset av de presenterade forskningsområdena är det förmodligen lättare att förstå den roll de spelar för helhetsperspektivet.

### 5.2.1 Fallstudier och datainsamling

Vi kan konstatera att det finns många sätt att bedriva M&S projekt på, och många är de faktorer som inverkar på om projekten kan anses som framgångsrika eller ej. Planeringen av ett projekt kan vara en nog så komplex uppgift, men vid genomförandet är det även yttre händelser och faktorer som inte är kända på förhand som påverkar dess genomförande. För att kunna dra nytta av erfarenheter som görs, behöver en del av omständigheterna fångas upp och dokumenteras, annars faller kunskapen lätt i glömska då den inte kan spridas vidare.

Men insamlande av data från M&S utvecklingsprojekt bedrivs idag inte i någon större omfattning, förmodligen av flera skäl. Framför allt är det inte uppenbart vilka data och uppgifter som kan vara värda att dokumentera. Säkerhet och sekretess är också försvärande omständigheter. En del av informationen om det som görs kan vara alltför känslig att sprida, även inom försvarssfären, till exempel av kommersiella skäl. En aspekt som inte bör underskattas är viljan av att dela med sig av information också om de projekt som aldrig blev riktigt lyckade. En organiserad informationssamling behöver troligtvis vara sanktionerad på hög nivå för att fungera i praktiken.

En del av dessa frågor behandlas av [21], men ett fortsatt arbete inom detta område skulle kunna ge bättre förutsättningar inför en systematisk data- och informationsinsamling:

- Vilken information och vilka mätetal är relevanta och viktiga för att kunna finna framgångsfaktorer?
- Vilken information är möjlig att samla in med hänsyn till säkerhet och sekretess?
- Hur kan informationen sammanställas och spridas för att komma till nytta på bästa sätt?

En kunskapsbank om M&S projekt som kontinuerligt underhålls kan vara till stor nytta för alla som verkar i branschen, inte bara genom att lättare kunna undvika fallgropar, utan också genom att göra det enklare att fokusera på de rätta målen. Jämförelser mellan olika leverantörer kan troligtvis också förenklas avsevärt.

En sådan studie bör bedrivas i nära samarbete med berörda myndigheter, industri och FM för att fånga de intressen och särskilda förutsättningar som föreligger för de olika intressenterna.

### 5.2.2 Fördjupad analys av återanvändning

Återanvändbarhet - vi tar det ofta för givet, att återanvändning av simuleringsmodeller är billigare och bättre än att för var gång behöva nyutveckla. Men under vilka förutsättningar gäller den tesen?

Den enklaste formen av återanvändning, att klippa och klistra programkod behöver inte vara speciellt svår, även om metoden kan föra med sig en del obehagliga konsekvenser. Det kanske mest kända exemplet är *Ariane Flight 501* från 1996, där återanvändning av programkod avsedd för en tidigare raketmodell, *Ariane 4*, spelade en väsentlig roll i haveriet.

Den stora potentiella vinsten med återanvändning av programkod ligger förmodligen inte i att enskilda utvecklare tillfälligtvis kan klippa och klistra några rader programkod, utan snarare i att en organisation på ett systematiskt sätt kan återanvända programvara. Samma tes är förmodligen giltig även för simuleringsmodeller: Det är det systematiska återbruket som ger en möjlighet att räkna hem vinsten från de merkostnader som krav på återanvändbarhet för med sig. En viktig punkt är dessutom att det inte alltid är så att simuleringsmodeller går att använda till flera olika syften, på grund av skillnader i upplösning, detaljeringsgrad, etc.

Men vad är det som behövs för att en systematiskt återanvändning av simuleringsmodeller för försvarets behov ska bli verklighet? Och vilka är de hinder som finns?

- Organisatoriska - vilka organisatoriska krav och hinder föreligger?
- Ekonomiska - vilka motiv finns det för att designa modeller så att de är möjliga att återanvända, och hur kan vidmakthållande av modeller motiveras?
- Hur bör ett modellbibliotek administreras på bästa sätt?
- Hur kan förtroende och tillit till de modeller som tagits fram för andra ändamål skapas? Och hur kan exempelvis *not-invented-here* syndromet motverkas?

För det industriella samhället i övrigt är återanvändbarhet inte alltid något självklart; Så gott som alla produkter har en begränsad ekonomisk livslängd. Men att ha god tillgång till färdiga modeller kan å andra sidan spara värdefull tid vid genomförande av studier med kort varsel, som inför internationella insatser. En mer detaljerad beskrivning av den roll M&S spelar i värdekedjan kan också vara ett underlag och incitament för svåra investeringsbeslut.

I vilken mån ekonomisk praxis för bedömning av investeringar från andra håll appliceras för satsningar på M&S är också en intressant frågeställning. När är det till exempel bättre att se dessa satsningar ur ett samhällsekonomiskt perspektiv, och när är det mer lämpligt att använda företagsekonomisk praxis?

### 5.2.3 Utbildning och kursverksamhet

Att föreslå en utbildnings- och kursverksamhet för att möta de frågor som här lyfts fram kan vid en första anblick tyckas vara lite väl lättvindigt, framför allt som det krävs forskningsinsatser för att besvara dem. Men frågorna är till sin natur mycket komplexa, och berör såväl utveckling och användning av simuleringsmodeller, som organisatoriska aspekter och beslutsfattande. Och det är inte alltid som kunskap om dessa områden finns samlad hos enskilda personer, vanligare är att personer utvecklar en specialistkompetens med mycket god kunskap inom ett specifikt område.

Men forskning kring de områden som här förts fram har ett övergripande syfte: att bättre och effektivare än idag kunna nyttja M&S för försvarets behov. Det syftet kräver troligtvis att vi som verkar inom området får en bred förståelse



för andra aktörers situation. De forskningsresultat som tas fram behöver också kunna tillgodogöras, något som kräver att avnämaren har ett helhetsperspektiv på verksamheten.

Och uppenbarligen har det hänt mycket inom det område som berör utveckling av programvara de senaste åren. Begrepp som *agile methods* är idag redan etablerade arbetssätt, och som beskrivs i avsnitt 4.2 finns det också akademisk, och i viss mån praktisk kunskap om värdebaserad programvaruutveckling. Modellering och simulering har till sin natur mycket gemensamt med utveckling av programvara, och därför borde mycket kunna uppnås bara genom att följa och ta till sig utvecklingen inom områdena *software engineering* och *systems engineering*.

All den kunskap som finns inom universitet och högskola går förmodligen inte att applicera direkt på M&S i sin helhet, men eftersom dessa områden har så pass mycket gemensamt, borde en del av denna kunskap gå att ta tillvara. Utbildning och kursverksamhet är ett av de mest effektiva sätten att sprida kunskap på.

## Litteraturförteckning

- [1] VV&A Methodological guidelines reference manual. Technical Report THALES JP 11.20-WE5100-METHOD-D5103, 9 2004.
- [2] Alain Abran and James W. Moore, editors. *Guide to the Software Engineering Body of Knowledge (SWEBOK)*. IEEE Computer society, 2004. Available from: <http://www.swebok.org>.
- [3] A.J.Stoica. Facets of the software development represented by model systems: Analysis and enhancement. *14th International Forum on COCOMO/SCM*, 1999.
- [4] A.J. Albrecht and J. Gaffney. Software function, source lines of code, and development effort prediction: A software science validation. In *IEEE Trans. Software Eng.*, volume SE-9, pages 639–648, June 1983.
- [5] Bjarne Stig Andersen, Martijn van Emmerik, and Jørgen Moth. VV&A Techniques state of the art. Technical Report THALES JP 11.20-WE3.1-TECH2-D3102, 3 2005.
- [6] J. D. Aron. Estimating resource for large programming systems. NATO Science Committee, Rome, Italy, October 1969.
- [7] Jan Ivar Askelin. Vad får säkerhet kosta? *Framsyn*, (4), 2005.
- [8] Robert Axelrod. Advancing the art of simulation in the social sciences. *Japanese Journal for Management Information System, Special issue on Agent-Based Modeling*, 12(3), 2003.
- [9] Ulla Bergsten. Ett riskperspektiv på verifiering, validering och ackreditering av simuleringsmodeller. Technical Report FOI-R-0738-SE, Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI), 2002.
- [10] B. W. Boehm and R. Ross. Theory-w software project management principles and examples. *IEEE Trans. Softw. Eng.*, 15(7):902–916, 1989.
- [11] Barry Boehm. Escaping the software tar pit: model clashes and how to avoid them. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, 24(1):36–48, 1999. Available from: <http://sunset.usc.edu/publications/TECHRPTS/1998/usccse98-517/usccse98-517.pdf>.
- [12] Barry Boehm. Value-based software engineering. *SIGSOFT Softw. Eng. Notes*, 28(2):4, 2003.
- [13] Barry Boehm, Bradford Clark, Ellis Horowitz, Ray Madachy, Richard Shelby, and Chris Westland. The COCOMO 2.0 software cost estimation model. American Programmer, July 1996.
- [14] Barry W. Boehm. *Software Engineering Economics*. Prentice Hall PTR, 1981.

- [15] Barry W. Boehm and Kevin J. Sullivan. Software economics: A roadmap. In *The Future of Software Engineering, 22nd International Conference on Software Engineering*, 2000.
- [16] Frederick P. Brooks. *The Mythical Man-Month: Essays on Software Engineering, 20th Anniversary Edition*. Addison-Wesley Professional, 1995.
- [17] C. David Brown, Gordon Grant, Donald Kotchman, Robert Reyenga, and Terence Szanto. Building a business case for modeling and simulation. *Acquisition Review Quarterly (Refereed), Defense Acquisition University Press*, 7(4), 2000. Available from: [http://www.msiac.dmsomil/ia\\_documents/economics.pdf](http://www.msiac.dmsomil/ia_documents/economics.pdf).
- [18] H. Erdogmus and J. Favaro. Keep your options open: Extreme programming and the economics of flexibility, 2002. Available from: <http://iit-iti.nrc-cnrc.gc.ca/iit-publications-iti/docs/NRC-44960.pdf>.
- [19] Mary Ewing. The economic effects of reusability on distributed simulations. In *Proceedings of the 33rd conference on Winter simulation*, 2001.
- [20] Norman E. Fenton and Shari Lawrence Pfleeger. *Software Metrics : A Rigorous and Practical Approach, Revised*. Course Technology, 1998.
- [21] FMV. Ekonomiska motiv för modellering och simulering. Technical Report Bilaga 1 till 72613/2005, VO StraMtrl, 2005.
- [22] Försvarets Materielverk (FMV). Rapport M&S-beredningen, 2002.
- [23] Martin Fowler. The new methodology [online]. 2003 [cited Jun 2004]. Available from: <http://martinfowler.com/articles/newMethodology.html>.
- [24] F.R. Freiman and R. D. Park. Price software model-version 3: An overview. In *IEEE-PINY Workshop on Quantitative Software Models*, number IEEE Cat. TH0067-9, pages 32–41, October 1979.
- [25] Randall Gibson, D.J. Medeiros, Andrew Sudar, and Bill White. Increasing return on investment from simulation (panel). In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2003.
- [26] S. Gordon, W. Waite, G. Öhlund, and Å Björk. Review and update of findings from economics of simulation study groups. In *The Effectiveness of Modelling and Simulation – From Anecdotal to Substantive Evidence*, pages 20–1 – 20–30. RTO-MP-MSG-035, 2005. Available from: <http://www.rto.nato.int/abstracts.asp>.
- [27] Steven C. Gordon. Determining the value of simulation. In *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, 2000.
- [28] Bertil Gustafsson, Kenneth Johansson, and Torbjörn Danielsson. Återupptäck ingenjörskonsten! In *Proceedings of the 33rd ISR (International Symposium on Robotics)*, 2002.
- [29] Försvarmakten (HKV). Studie infrastruktur för försvarmaktens modellering och simulering. 21 120:76007, 2004.
- [30] Capers Jones. *Applied Software Measurement: Assuring Productivity and Quality*. McGraw-Hill (Tx), 1997.

- 
- [31] Howard Baetjer Jr. *Software as Capital: An Economic Perspective on Software Engineering*. Wiley-IEEE Computer Society Pr, 1997.
- [32] Rick Kazman, Jai Asundi, and Mark Klein. Quantifying the costs and benefits of architectural decisions. In *ICSE '01: Proceedings of the 23rd International Conference on Software Engineering*, pages 297–306, Washington, DC, USA, 2001. IEEE Computer Society.
- [33] Sven Åke Nilsson and Ingvar Persson. *Investeringsbedömning*. Liber-Hermods, 1993.
- [34] H. Leung and Z. Fan. Software cost estimation. Hong Kong Polytechnic University.
- [35] Ali Mili, Senta Fowler Chmiel, Ravi Gottumukkala, and Lisa Zhang. Managing software reuse economics: An integrated roi-based model. *Ann. Softw. Eng.*, 11(1):175–218, 2001.
- [36] Defense Modeling and Simulation Office (DMSO). Key concepts of VV&A [online]. 2004 [cited Jun 2004]. Available from: <http://vva.dmsomil/Key/key-pr.pdf>.
- [37] E. A Nelson. *Management handbook for the estimation of computer programming costs (Technical memorandum)*. Systems Development Corp, October 1966.
- [38] Department of Defense. Modeling and simulation master plan, 1995. Available from: [http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500059p\\_1095/p500059p.pdf](http://www.dtic.mil/whs/directives/corres/pdf/500059p_1095/p500059p.pdf).
- [39] Mary Poppendieck and Tom Poppendieck. *Lean Software Development: An Agile Toolkit for Software Development Managers*. Addison-Wesley Professional, 2003.
- [40] L. H. Putman. A general empirical solution to the macro software sizing and estimation problem. In *IEEE. Transactions on Software Engineering*, volume SE-4, pages 345–361, July 1978.
- [41] Stewart Robinson. *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. John Wiley & Sons, 2004.
- [42] Matthew W. Rohrer. Maximizing simulation ROI with AUTOMOD. In *Proceedings of the 2003 Winter Simulation Conference*, 2003.
- [43] Vibha Sazawal. Utility theory can be useful. In *Proceedings of the Second International Workshop on Economics-Driven Software Engineering Research*, 2000. Available from: <http://www.cs.virginia.edu/~sullivan/edser2/sazawal.pdf>.
- [44] D. St-Pierre, M Maya, A. Abran, J. Desharnais, and P. Bourque. Full function points: Counting practice manual. Technical Report 1997-04, University of Quebec at Montreal, 1997.
- [45] Anca-Juliana Stoica. Value-based software engineering. Compendium, KTH 2I1259, 2004.
- [46] Statens Offentliga Utredningar. Styrningen av insatsförsvaret, Nov 2005. Betänkande av Försvarsstyrningsutredningen.

- [47] William Waite. The economics of modeling and simulation...so what? *Simulation Technology*, 2(Issue 1c), 1999. Available from: [http://www.msiac.dmsomil/ia\\_documents/Econ\\_of\\_MS\\_article.doc](http://www.msiac.dmsomil/ia_documents/Econ_of_MS_article.doc).
- [48] William Waite. The economics of modeling and simulation. *SIMULATION*, 76(2), 2001.
- [49] William Waite. The economics of modeling and simulation. *Modeling and Simulation*, 1(1), 2002.
- [50] D. Robert Worley, Henry K. Simpson, Franklin L. Moses, Matt Aylward, Michelle Bailey, and Dean Fish. Utility of modeling and simulation in the department of defense: Initial data collection. Technical Report IDA Paper D-1825, Institute for Defense Analyses, 1996. Available from: [http://www.msiac.dmsomil/ia\\_documents/TUMS.doc](http://www.msiac.dmsomil/ia_documents/TUMS.doc).