

Bob Melander

Metoder för analys och simulering inom logistikområdet

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Systemteknik
172 90 Stockholm

FOI-R--1302--SE

September 2004

ISSN 1650-1942

Metodrapport

Bob Melander

Metoder för analys och simulering inom logistikområdet

Utgivare Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Systemteknik 172 90 Stockholm	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1302--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 2. Operationsanalys, modellering och simulering	
	Månad, år September 2004	Projektnummer E6931
	Delområde 21 Modellering och simulering	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Bob Melander	Projektledare Bob Melander	
	Godkänd av Monica Dahlén	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning Försvarets Materielverk (FMV)	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Jenny Ulriksson	
Rapportens titel Metoder för analys och simulering inom logistikområdet		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>Denna rapport är resultatet en förstudie som utförts på uppdrag av Försvarets Materielverk (FMV). Utgångspunkten för arbetet har varit att analysera simuleringsbehoven i materielanskaffningsprocessen utifrån ett logistiskt perspektiv. För att begränsa omfattningen har uppdraget härvidlag avgränsats till att betrakta fömödenhets-systemet. Utöver detta har logistikverksamheten som helhet studerats för att kunna föreslå lämpliga områden för fortsatt analys och kartläggning av simuleringsbehoven.</p> <p>Rapporten belyser konsekvenser som försvarsmaktens omställning har på logistiksystemet och diskuterar i vilken utsträckning befintliga simuleringsmodeller och verktyg är lämpliga och möjliga att även fortsättningsvis användas för olika logistiska analyser. Begränsningar hos verktygen diskuteras liksom behoven av nya modeller och metoder. Avslutningsvis ges i rapporten några uppslag till fortsatt arbete. Bland dessa kan nämnas behovet av forskning kring logistiksimulering på funktionell nivå samt hur samband mellan funktioner och konkreta förband och materielssystem ska modelleras och representeras.</p>		
Nyckelord Logistik, simulering, analys, funktioner, förmågor		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 29 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Systems Technology SE-172 90 Stockholm	Report number, ISRN FOI-R--1302--SE	Report type Methodology report
	Programme Areas 2. Operationsanalys, modellering och simulering	
	Month year September 2004	Project no. E6931
	Subcategories 21 Modellering och simulering	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Bob Melander	Project manager Bob Melander	
	Approved by Monica Dahlén	
	Sponsoring agency Swedish Defense Materiel Administration	
	Scientifically and technically responsible Jenny Ulriksson	
Report title (In translation) Methods for analysis and simulation of logistics		
Abstract (not more than 200 words) <p>This report is the result of a preliminary study that has been done on behalf of the Swedish Defense Materiel Administration. The outset for the work has been to analyse the need for simulations in the materiel procurement process from a logistic viewpoint. To limit the scope, the study has been demarcated to the supply system. In addition to this, the logistics system as a whole has been studied to propose suitable areas for continued analysis and mapping of the needs for simulation.</p> <p>The report enlightens consequences that the changeover of the Swedish defense has on the logistics system and discusses to what degree existing simulation models and tools are still suitable to be used for various logistical analyses. Limitations of the tools are discussed as are the need for new models and methods. Finally, suggestions for future work are given. Among these, can be mentioned, the need for research into logistics simulation at the functional level and how relations between functions and concrete units and materiel systems should be modelled and represented.</p>		
Keywords Logistics, simulation, analysis, functions, abilities		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 29 p.	
	Price acc. to pricelist	

Sammanfattning

Med utgångspunkt från en ambition inom FMV att ta ett samlat grepp om området modellering och simulering inom logistik har en översiktlig studie genomförts. I denna har de logistiska simuleringsbehoven analyserats och kartlagts, huvudsakligen inom materielanskaffningsprocessen även om studien i begränsad utsträckning även berör försvarsmaktens (FM) logistikverksamhet som helhet. Uppdragets omfattning har gjort att kartläggningen snarast skall betraktas som en första ansats och inte som en fullständig genomlysning.

I uppdraget har ingått att studera FMs nuvarande metoder och verktyg för logistisk modellering och simulering och analysera deras tillämpbarhet när nya eller förändrade krav och förutsättningar nu konfronterar logistikverksamheten, i och med FMs ominriktning mot insatsförsvaret.

Att simulering utgör ett viktigt, eller snarare *nödvändigt*, metodredskap för att genomföra effektiv och tillförlitlig logistisk prognostisering, dimensionering och utvärdering står alldeles klart och kan inte nog betonas. Den logistiska problematiken är så komplex att traditionella analys- och beräkningsmetoder inte förmår att hantera den. Att problematiken däremot kan hanteras med simulering har genom åren demonstrerats inom flygvapnets verksamhet genom den framgångsrika användningen av det FM-ägda simuleringsverktyget ASTOR. Till FMs förfogande står numera även det kommersiella simuleringsverktyget SIMLOX, vilket inte är knutet till enbart flygdomänen.

De förändrade och nya kraven på logistikverksamheten har dock konsekvenser för de befintliga simuleringsverktygen och detta diskuteras närmare i rapporten. Bland det som därvidlag tas upp är att förutsättningarna som gällde när verktygen började utvecklas (entydigare uppgift – försvar mot invasion, tydlig arena – Sverige, statisk organisation, stora förråd av förnödenheter och reservdelar, samt att stöd från samhället i stort kan påräknas), inte längre är de samma. Gällande förutsättningar ligger till grund för antaganden som görs i simuleringsmodellerna och även om dessa inte nödvändigtvis är explicit uttryckta kan de ändå starkt påverka modellernas utformning. När gjorda antagandena inte längre är giltiga, minskar tillämpbarheten hos simuleringsmodellerna.

Statsmakten ställer ökade krav på effektiviserad materielanskaffning och cyklerna i materielsystemens livscykel blir allt kortare. Då en väsentlig del av kostnaden för ett materielsystem är kopplat till dess drift och underhåll, är det av största vikt att tidigt beakta de logistiska aspekterna när systemen utvecklas. Det innebär att olika underhållskoncept måste utvärderas långt innan ett system existerar på riktigt eller ens som prototyp. En följd blir då att det kan vara nödvändigt att analysera logistiken förenad med en viss *funktion* (exempelvis flygattack mot markmål) snarare än de konkreta systemen som realiserar funktionen (eftersom de då inte existerar än!). Detta låter sig svårligen göras med de befintliga simuleringsverktygen och modellerna, vilka kan sägas fokusera på särdragen hos olika materielsystem snarare än det som förenar (vilket mer skulle vara fallet med funktioner). Hur modeller lämpliga för dessa mer funktionsorienterade logistiksimuleringar skall vara utformade är ännu oklart och ett område öppet för forskning. Sådan forskning skulle med fördel kunna knytas till forskning om Conceptual Models of Mission Space (CMMS) då klara kopplingar finns dit.

I rapporten diskuteras att ASTOR och SIMLOX synes dåligt anpassade att hantera den ökade dynamik och osäkerhet som följer av inriktningen mot snabba och flexibla insatser, inte minst internationellt, samt en utkontraktering av logistikfunktioner på tredje part. Svagheter som identifierats härrör delvis till att sårbarhet och känslighet direkt kopplat till det logistiska systemet är modellerat i liten omfattning. Vidare är komplikationer och problematik kopplat till mänskligt beteende väsentligen ett utelämnat område. Modellerna saknar till synes även möjligheter att hantera osäkerhet och variabilitet kopplade till exempelvis indata som rör lager. Att åtgärda de sistnämnda begränsningarna (osäkerhet och variabilitet) torde inte vara ett alltför omfattande arbete. Svårigheterna att införa modellering av sårbarhet och framförallt inverkan av mänskligt beteende på logistiken är mer svårbedömda.

Bland verksamhetsmodellerna för förnödenhetssystemet (från VSHMOD) som studerats under arbetet har ett antal processer identifierats som möjliga att kunna dra nytta av logistiksimuleringar. Där ingår exempelvis processerna "Beredning av behov" och "Förnödenhetsstyrning". En slutsats i rapporten är att av de två existerande verktygen, bedöms förutsättningarna vara bäst att nyttja SIMLOX för detta syfte. Samma slutsats dras vad gäller när logistiken förenad med insatser där förband bestående av enheter från flera vapenslag ingår, skall simuleras. Det noteras dock att SIMLOX ännu endast kommit till mycket begränsad användning inom FM varför det saknas en större erfarenhetsmassa kring verktyget. Det är först när en sådan byggs upp som verktygets begränsningar (och förtjänster) tydligt kommer framgå.

Det är en tilltalande tanke att kunna lita till endast ett simuleringsverktyg för att hantera och möta alla behoven inom logistikområdet. Detta är sannolikt något som varken ASTOR eller SIMLOX kan svara upp mot. I själva verket är det dock svårt att överhuvudtaget finna ett sådant simuleringsverktyg då detta kräver att det är mycket generiskt men samtidigt specialiserat nog att kunna lösa ett brett spektrum av konkreta logistiska frågeställningar. Närmast till hands att kunna erbjuda något sådant är simuleringsramverk där (den avancerade och programmeringskunnige) användaren själv kan modifiera och utöka simuleringsmodellerna. Priset som måste betalas är dock att flera logistiska simuleringsmodeller måste utvecklas i ramverket för att lösa konkreta problemställningar.

Innehållsförteckning

1. Bakgrund.....	9
1.1. Beskrivning av uppdraget.....	9
1.2. Avgränsningar	9
1.3. Tidsperspektiv	9
1.4. Dokumentstruktur.....	10
2. Försvarsmakt i förändring ur ett logistikperspektiv	10
2.1. Effektiviserad materielanskaffning	10
2.1.1. Förmågor, funktioner och förband/materielsystem.....	11
2.1.2. Systemnivåer	11
2.1.3. Koppling till strategisk, operativ och taktisk nivå.....	12
2.2. Integrering av mark-, sjö- och luftstridskrafter	13
2.3. Internationella insatser	13
2.4. Avtalsbaserad resurshantering & tredjepartslogistik.....	14
3. Modelleringens och simuleringens roll inom logistik.....	14
3.1. Militära logistikens utmaningar	14
3.2. Modelleringen och simuleringens möjligheter.....	15
4. Befintliga metoder och verktyg	16
4.1. Bakgrund	16
4.2. Optimeringsverktyg i bruk	17
4.2.1. OPUS10.....	17
4.3. Simuleringsverktyg i bruk.....	17
4.3.1. ASTOR.....	17
4.3.2. SIMLOX.....	17
4.4. Begränsningar hos befintliga metoder och verktyg.....	18
4.4.1. Nya förutsättningarnas konsekvenser.....	18
4.4.2. Kompetensglapp.....	19
4.4.3. Funktionsrelaterad simulering.....	19
5. Analys och vägval för M&S inom logistiken	20
5.1. Logistikens M&S-stöd i materielanskaffningsprocessen.....	20
5.1.1. Förmåge- och funktionsmodellering	20
5.1.2. Nya materielsystem – nya förutsättningar.....	20
5.1.3. Möjligheter till simulering	21
5.2. M&S-stöd till VSHMOD	21
5.2.1. Processmodellens komponenter och tolkning	21
5.2.2. Möjligheter till simulering	23
5.3. Möjligheter och framtid för befintliga metoder och verktyg	23
5.3.1. Risker	24
5.4. Behov av nya verktyg och metoder.....	25
5.4.1. Taktisk nivå.....	26
5.4.2. Operativ och strategisk nivå.....	26
6. Slutsatser och rekommendationer	27
7. Underlag, källor och bibliografi.....	28
7.1. Bibliografi	28

Sidan avsiktligen tom

1 Bakgrund

Omställningen av försvarsmakten (FM) från ett invasionsförsvar till ett insatsförsvar medför att logistiken får en allt viktigare och framträdande roll. Ett väl fungerande och flexibelt logistiksystem är en nödvändighet om målet, ett mindre försvar som kan agera i snabba, effektiva och samordnade insatser såväl inom som utanför Sveriges gränser, ska kunna förverkligas.

Inriktningen mot insatsförsvar är inte den enda anledningen till att kraven på logistiksystemet blir större. Försvarsmakten ställs också inför fortsatt krympande ekonomiska ramar samtidigt som materielsystemen blir alltmer komplexa och därtill har en kortare livslängd än vad som var fallet tidigare. Det blir då inte längre motiverbart att bygga logistiken på omfattande och långsiktig lagerhållning av förnödenheter. Kraven på logistiksystemet att exakt se till att rätt resurs är tillgänglig vid rätt tidpunkt och rätt plats accentueras.

Samtliga dessa krav kan översättas till termer som ökat behov av logistisk prognostisering, dimensionering, och validering, var och en en komplexa problem som inte är lätta att modellera och lösa matematiskt. Av denna anledning riktas allt mer intresse mot simulering som metod för att optimera och styra det logistiska systemet.

1.1 Beskrivning av uppdraget

Detta uppdrag skall ses i ljuset av beskrivningen av de ökade kraven på logistiksystemet som diskuterades ovan. Till grund för uppdraget ligger också målsättningen inom Försvarets materielverk (FMV) att ta ett samlat grepp om modellering och simulering inom logistikverksamheten och att göra en första kartläggning av simuleringsbehoven.

Utgångspunkten för detta arbete är att analysera simuleringsbehoven i materielanskaffningsprocessen utifrån ett logistiskt perspektiv. Därvidlag skall simuleringsbehoven analyseras på nivåerna 0, 1 och 2-x (definierade i försvarsmaktens Regler för Militär Luftfart (RML) [RML03]).

I uppdraget ligger också att studera logistikverksamheten som helhet och att föreslå lämpliga områden för fortsatt analys och kartläggning av simuleringsbehoven, samt göra en prioritering avseende metodframtagning. I denna del beaktas såväl strategisk som operativ och taktisk nivå.

1.2 Avgränsningar

På grund av detta projekts begränsade storlek har uppgiften begränsats till att fokusera på förnödenhetssystemet som utgör en del av materielanskaffningsprocessen. Bortom uppdragets omfång är också att i detalj analysera och beskriva lämpliga simuleringsmetoder för de olika nivåerna som beaktas i uppdraget. Detsamma gäller simuleringsmodellernas utformning vilket inte berörs annat än i begränsad omfattning. Det bör dock betonas att samtliga dessa områden som ligger utanför uppdragets avgränsningar är viktiga och att framtida forskningsinsatser även bör riktas mot dem.

1.3 Tidsperspektiv

Eftersom de logistiska simuleringsbehoven på såväl strategisk, operativ som taktisk nivå ska utredas i detta uppdrag blir tidsperspektivet för studien tämligen långt. Det sträcker sig från tidshorisonten på den taktiska nivån som kan räknas i dagar och veckor, till den operativa

nivåns tidshorisont som snarare handlar om månader upp till något år vidare upp till de 10-20 år som typiskt beaktas på den strategiska nivån.

Av vikt för tidsperspektivet är också utgångspunkten att analysera i vilken utsträckning de grundläggande behoven av simuleringsstöd inom logistiken kan mötas i *närtid* med FMVs befintliga metoder och simuleringsmodeller. I analysen av simuleringsbehov i materielanskaffningsprocessen ur logistikperspektiv ska vidare hela livscykeln för ett materielsystem beaktas, från kravspecifikation och design fram till avveckling.

1.4 Dokumentstruktur

Avsnitt 2 beskriver några viktiga områden där försvarsmaktens nya inriktning kommer att leda till förändrade förutsättningar och krav på logistiken. I avsnitt 3 diskuteras varför logistik är en komplicerad verksamhet med många svårigheter och hur simulering som metod kan användas för att hantera dessa. Därefter presenteras i avsnitt 4 översiktligt de metoder och verktyg som används idag inom logistikområdet i försvarsmakten. Vidare diskuteras de begränsningar som dessa verktyg har.

I avsnitt 5 analyseras huruvida de existerande metoderna och verktygen förmår att lösa de behov av modellering och simulering som finns inom logistikområdet. Därtill diskuteras behovet av eventuella nya verktyg. Avsnitt 6 sammanfattar de dragna slutsatserna och pekar ut möjliga områden för fortsatt arbete. Referenser till informationskällor som legat till grund för rapporten återfinns slutligen i avsnitt 7.

2 Försvarsmakt i förändring ur ett logistikperspektiv

Förändringarna i Sveriges omvärld och den därtill kopplade omställningen av försvarsmakten mot ett insatsförsvar baserad på ett nätverkstänkande får konsekvenser för försvarsmaktens logistikverksamhet. Viktiga områden där nya och/eller skärpta krav ställs på det militära logistiksystemet är effektiviserad materielanskaffning, starkare samverkan mellan försvarsgrenarna, internationella insatser som en del av en större kontingent samt entreprenadbaserade logistiklösningar, exempelvis tredjepartslogistik och varianter på ”supply chain management” (SCM). Då främst det förstnämnda området är av vikt för detta uppdrag ägnas det mest utrymme och de övriga områdena diskuteras endast mycket kortfattat.

2.1 Effektiviserad materielanskaffning

En tydlig trend som tycks bestå är att militära tekniska materielsystem blir allt mer avancerade och komplexa, allt för att kunna lösa mer varierande och krävande uppgifter. För att hantera den ökade komplexiteten byggs ofta systemen som en integration av flera specialiserade delsystem. En motsvarande utveckling kan även observeras inom den civila sektorn.

Den snabba tekniska utvecklingen, framför allt inom elektronik- och datorteknikområdena, medför också att utvecklade system åldras snabbt. Materielsystemens livscykel blir kortare. En konsekvens av detta är att utvecklingskostnaderna som i regel stiger med mer avancerat teknikinnehåll måste amorteras av under en kortare tid. Av denna anledning har riktats en hel del intresse åt ”Commercial Of The Shelf” (COTS)-lösningar och samarbete mellan flera länder vid framtagandet av nya materielsystem.

Utveckling av materielsystemutveckling baserade på system av system och COTS samt där många aktörer samverkar medför ett stort behov av bland annat standardisering och

kravspecifikation. Eftersom en väsentlig del av kostnaden för ett materielsystem är förenat med dess drift och underhåll är det viktigt att kravspecifikationen inte enbart fokuserar på teknisk prestanda. Av största vikt är att även de logistiska aspekterna av materielsystemet specificeras och kravställs så att anskaffnings-, underhålls- och avvecklingskostnaderna kan minimeras. Likaledes är det viktigt ur exempelvis tillgänglighetssynpunkt att logistikaspekterna för ett materielsystem kommer in tidigt i utvecklingsprocessen för materielsystemet [USN97].

2.1.1 Förmågor, funktioner och förband/materielsystem

Begrepp som *förmåga* och *funktion* förekommer ofta i rapporter och direktiv som diskuterar och beskriver försvarsmaktens uppgifter och åligganden. Begreppen är av den anledningen också relevanta för materielanskaffningsprocessen, speciellt då de kan ha en central roll vid behovsidentifiering och kravframtagning. Det är därför värt att se närmare på deras betydelse och relation till förband och materielsystem.

I [HKV03] definieras begreppen enligt följande:

- **Förmåga** innebär att ha *kompetens* och *tillgängliga materiella resurser* i erforderlig mängd för att kunna lösa en given uppgift under vissa givna *betingelser*.
- **Kompetens** är egenskapen att tillämpa *kunskaper* och *färdigheter* som jämte tillgång på resurser i erforderlig kvantitet och kvalitet konstituerar en förmåga. Kompetens är således knutet till individer och inte till materiel.
- En **funktion** är en *verksamhet* som berör flera krigsförband och är inte relaterad till betingelser såsom motståndares kapacitet, miljöfaktorer eller ambitionsnivå.
- **Betingelser** beskriver den situation till vilken en viss (operativ) förmåga är relaterad. Nödvändiga betingelser är motpart (typ av aktör och aktörens kapacitet) samt insatsens (operativa) mål. Även verkansmiljö, eventuella samverkansformer med andra nationer samt mandat att agera sorteras in som betingelser.

En funktion är enligt denna definition ett beskrivningssätt för en viss verksamhet och förmågan är summan av funktion, betingelser och utfallet därav. En (operativ) förmåga kan vidare delas upp i delförmågor knutna till olika delfunktioner. Det kan noteras att definitionen av dessa begrepp i mångt och mycket knyter an till logistisk problematik ("i erforderlig mängd", "tillgång på resurser"). Detta understryker ytterligare logistikens centrala roll i den nya försvarsinriktningen.

En alternativ definition av begreppen ges i rapporten "Förutsättningar för Drift och Underhåll (FDU), Applex – Fotospaning Internationell Insats" [Bar03a]. Där anges förmåga som "*en spegling av en mängd egenskaper som ett system/objekt innehar vid en viss tidpunkt och under vissa betingelser*" och funktion som "*en beskrivning av hur man åstadkommer förmåga med hjälp av egenskaper*". Egenskaper beskrivs i sin tur som "*ett begrepp som fordrar en kvantifierad skillnad mellan å ena sidan olika system/objekt, å andra sidan mätbara kännetecken som systemet/objektet besitter och som tillsammans bestämmer dess individualitet*".

2.1.2 Systemnivåer

I avsnittet ovan diskuteras materielanskaffning i termer av materielsystem. Ska anskaffningsprocessen inom försvarsmakten betraktas i dess helhet tillkommer ett antal systemnivåer, av vilka materielsystem således utgör en (nivå 2). Inom FMV används följande indelning som definieras av RML:

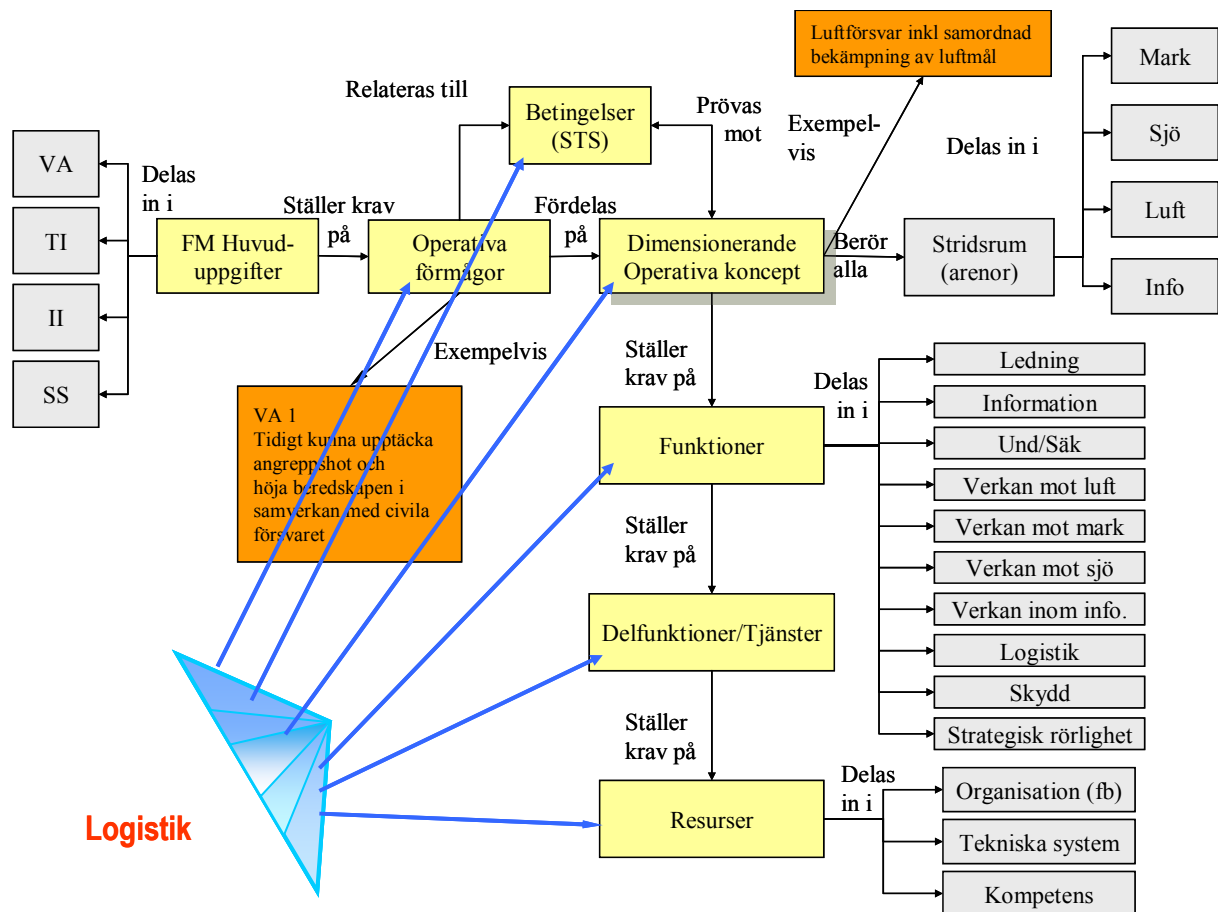
Nivå	Beskrivning	Exempel
0	Försvarssystem	Flygförsvar
1	Stridskraftssystem	Flygsystem
2	Materielsystem	Flygsystemet JAS39
3	Bruksprodukter	Flygplan, robotar, tankfordon
4	Delsystem	Spaningsradar, motor
5	Komponenter	Antenn, bränslepump, däck

Nivå 0 är således den översta nivån sett till omfattning medan nivå 5 är den nedersta. Ett försvarssystem omfattar flera stridskraftssystem vilka i sin tur består av en rad materialsystem och så vidare. Systemen på nivå 0 och 1 kan i någon mening ses som abstrakta genom att de spänner över så mycket. Det är först på nivå 2 och 3 som systemen tydligt konkretiseras i termer av materialsystem bestående av verkliga objekt (såsom flygplan och radaranläggningar).

Systemnivåerna kan kopplas till förmåge- och funktionsbegreppen som diskuterades i föregående avsnitt. Genom att nivå 1 och framför allt nivå 0 är väldigt övergripande och delvis abstrakta är det naturligt att systemen på dessa nivåer diskuteras i termer av förmågor och funktioner. Analogt med att systemen på nivå 0 och 1 kan vara så vitt skilda så torde också funktioner som identifieras på dessa nivåer vara en aggregering av många delfunktioner. Av samma anledning kan det tänkas vara svårt att formulera förmågor i numeriskt-kvantitativa termer. De delfunktioner som aggregeras till funktioner på nivå 1 återfinns på de lägre nivåerna, framför allt nivå 2 och 3. Här blir kopplingen till konkreta objekt tydligare. Den kan dock vara komplex genom att flera systemobjekt kan behöva samnyttjas för att realisera en viss funktion. I och med att abstraktionsnivån är lägre (eller omvänt, kopplingen till konkreta systemobjekt är tydligare) torde förmågorna lättare kunna kvantifieras.

2.1.3 Koppling till strategisk, operativ och taktisk nivå

Materialanskaffning är, framför allt för stora komplexa materialsystem, en lång process och därför av strategisk betydelse. Tidsperspektivet är inte sällan 10, 15 eller 20 år framåt i tiden. Idealiserat sett kan sägas att till grund för en ny anskaffning ligger en eller flera angivna uppgifter som ålagts försvarsmakten. För att kunna lösa uppgifterna krävs ett antal förmågor vilka måste identifieras och specificeras, fördelaktligen genom en formaliserad och spårbar process. Förmågorna kan sedan delas upp i delförmågor vilka realiseras av ett antal funktioner enligt diskussionen i föregående avsnitt. Dessa måste kravställas tekniskt men också ur ett logistiskt perspektiv. Figur 1 ger en schematisk bild över förfarandet.



Figur 1. Process for definitionsarbete [Bar03b].

Erfarenheter från operativ och taktisk nivå är viktiga för denna process genom att de bidrar med värdefull indata till kravställningen. Det är också på dessa nivåer det slutligen producerade materielsystemet kommer ställas inför sina provningar.

2.2 Integrering av mark-, sjö- och luftstridskrafter

Även om de tre vapenslagen redan samverkade när försvarsmakten var organiserad för ett invasionsförsvar så kommer omställningen till insatsförsvar innebära en allt närmare och starkare samverkan mellan mark-, sjö-, och luftstridskrafterna. De nya hoten som försvarsmakten är ålagd att möta ställer krav på snabba och flexibla insatser där samtliga vapenslag skall kunna interagera och samarbeta effektivt med varandra.

En nära samverkan mellan vapenslagen vid insatser skulle kunna tala för ett mer integrerat logistikunderstöd. Fördelarna skulle kunna tänkas vara bättre tillgänglighet genom samutnyttjande av resurser och högre kostnadseffektivitet. För att uppnå dylika fördelar krävs dock att särprägel hos respektive vapenslags logistiksystem beaktas vid integrationen.

2.3 Internationella insatser

Det nätverksbaserade insatsförsvaret är ännu inte en realitet men försvarsmaktens medverkan i internationella (fredsbevarande) insatser är redan i allra högsta grad verklighet. Medverkande i sådana insatser kräver analyser av underhållsbehov så att planering och dimensionering av logistiksystemet kan göras. Eftersom försvarsmaktens övriga åligganden

måste fullgöras även under internationella insatser är en viktig aspekt av analyserna att klargöra hur dessa uppgifter kommer påverkas vid eventuellt deltagande, dvs i vilken utsträckning försvarsmaktens nödvändiga förmågor påverkas [And03].

2.4 Avtalsbaserad resurshantering & tredjepartslogistik

I takt med minskade anslag och allt kortare livscykel för materielsystemen har försvarsmakten riktat intresse mot att skapa en mindre och effektivare underhållsorganisation. Inspirerad av utvecklingen på det civila området försöker man utveckla militära varianter av tredjepartslogistik och Supply Chain Management [Eks04]. Bli utvecklingen denna så kan logistik- och underhållstjänster komma att upphandlas från externa företag och exempelvis tillgång på reservdelar säkras genom avtal med leverantörer snarare än genom stora egna lager. Totalt skulle detta innebära mindre och färre egna reservdelslager och underhållsanläggningar samt reducerad egen underhållspersonal.

Internationella insatser där styrkor från flera länder samverkar för att lösa en uppgift, t ex fredsbevarande i en viss region, har väckt frågan om huruvida även samverkan kan ske inom logistiken för en insats. Istället för att respektive deltagande land enbart handhar och planerar för sitt eget logistiska understöd så skulle utbyte och samverkan ske mellan olika deltagande styrkor. Vinsterna skulle kunna vara i termer av lägre kostnader, bättre tillgänglighet och effektivare utnyttjade [RoK00]. Sådan samverkan inom resurshanteringens måste dock regleras tydligt genom avtal och den kan göra planeringen och dimensioneringen av logistiken för respektive deltagande styrka mer komplex.

3 Modelleringens och simuleringens roll inom logistik

3.1 Militära logistikens utmaningar

Militär logistik är en komplex och mångfasetterad verksamhet som innefattar bland annat förnödenhetsförsörjning. Denna kan i sin tur uppdelas i aktiviteter som införskaffande, lagring, underhåll och reparationer, transporter och distribution samt kassering och slutlig avveckling av materiel.

En viktig orsak till komplexiteten är att logistiken utgörs av en väv av sammankopplade processer (eller om man så vill moment), var och en med någon form av realtidskrav. En viss resurs (exempelvis en reparatör, en utbytesenhet eller förnödenhet) måste finnas tillgänglig på en viss geografisk lokalitet vid en viss given tidpunkt. Inte sällan finns även korsvisa beroenden och kopplingar mellan olika processer varvid mer eller mindre motstridiga krav kan uppkomma. Ett exempel på detta skulle kunna vara om det endast finns en reparationsgrupp och servicebehov uppstår samtidigt hos två geografiskt åtskilda mekaniserade stridsgrupper.

De krav och förutsättningar som logistikverksamheten ställs inför är typiskt inte statiska då de påverkas av den dynamiska omvärld i vilken verksamheten opererar. Till detta kommer att logistikverksamheten har två olika betingelser att anpassas till; fredstid och krigstid [KaP97]. Ortogonalt mot dessa finns insatsbegreppet som har en central roll i och med försvarsmaktens nya inriktning mot ett insatsförsvar. En under det senaste decenniet ständigt aktuell och logistiskt sett intressant typ av insats är internationella fredsbevarande insatser. Dessa genomförs under fredstid men kraven och förutsättningarna liknar ur logistisk synvinkel mer de som råder under krigstid.

Under fredstid ingår i logistikverksamhetens uppgifter att prognostisera krav som uppkommer i krigstid och vid insatser samt att planera och dimensionera den logistiska kapacitet som då krävs. Uppgifterna innefattar även att specificera de krav av logistisk natur som måste beaktas vid utveckling av nya förband och materielsystem. Där utöver tillkommer all planering och drift av den dagliga logistiska verksamheten för att stödja förbandens, stabernas och skolornas fredstida verksamhet innefattande bland annat övningar.

I krigstid (och vid insatser) fortgår de fredstida uppgifterna men fokus och förutsättningarna för logistiken ändras. Inte minst tenderar begränsningar i tidsmarginaler och resurstillgång bli mer påtagliga och kritiska. Kronisk resursbrist kan uppstå i logistiksystemet vilket under fredstid är ovanligare då ytterligare resurser normalt kan införskaffas direkt vid behov. Vidare är förrådsplatser inte sällan rörliga. Slutligen är det taktiska distributionssystemet ett tänkbart mål för fientlig attack.

De logistiska uppgifterna som beskrivits ovan kan kategoriseras med avseende på strategisk, operativ och taktisk nivå [Eks04]. På den strategiska nivån ligger tidshorizonten för verksamheten långt fram, inte sällan 10-20 år. Beslut på denna nivå tenderar därför att vara övergripande och ha långsiktiga effekter. Exempelvis kan besluten styra metodutveckling, policy för inköp och militär infrastruktur. Den operativa nivån är typiskt kopplad till ett operationsområde och då handlar uppgifterna om att etablera ett logistiksystem där och driva systemet. Detta innefattar att prediktera framtida logistikbehov i operationsområdet samt planera, dimensionera och prioritera logistikinsatserna så att den operativa målsättningen uppfylls. Den taktiska nivån rör frågeställningar kopplade till den löpande verksamheten eller pågående striden. Exempelvis ska trupper vid insats förses med föda, ammunition, bränsle, reservdelar samtidigt som yttre omständigheter gör att förutsättningar kan ändras snabbt. Rätt resurser, i rätt kvantiteter, vid rätt tid och rätt plats blir synnerligen central problematik.

Att genomföra den planering, prognostisering, dimensionering och validering som krävs för att fullgöra alla dessa uppgifter med analytiska metoder är mycket svårt. Problemen låter sig normalt inte modelleras på ett sånt sätt att de kan uttryckas med slutna matematiska formler som kan beräknas manuellt eller med beräkningsverktyg. Speciellt är de dynamiska aspekterna av logistiken problematiska att hantera på detta sätt. Det som vanligen innebär påfrestningar på en logistikfunktion är att någon form av händelse inträffar, till exempel att en radar i ett flygplan slutar fungera och måste bytas ut. Sådana dynamiska företeelser skulle möjligen kunna modelleras matematiskt men en sådan delmodell skulle sannolikt bli mycket komplicerad [Hol04].

3.2 Modelleringen och simuleringens möjligheter

Emedan komplexiteten och dynamiken hos logistiken bereder traditionella beräknings- och analysmetoder stora svårigheter så är de mer tillgängliga för lösning genom simulering. Händelser som fenomen, även de som inträffar sporadiskt och intermittent, kan normalt med lätthet hanteras i en simuleringsmodell. Faktum är att i den dominerande tekniken för simulering, händelsestyrd simulering, är det just att händelser inträffar i simuleringsmodellen som driver simuleringen framåt.

Vikten av att klargöra syftet och vilken frågeställning som ska besvaras med hjälp av simulering kan inte nog betonas. Det påverkar till stor del simuleringsmodellens utformning och bestämmer vad som modelleras och på vilken abstraktionsnivå samt hur modellen parametersätts. Om händelser som sådana är enkla att hantera så innebär ovanstående moment desto större utmaningar när modellering och simulering ska användas som metod.

Det som ger simulering dess verkliga styrka som analysmetod är möjligheten att studera dynamiska förlopp och att stokastiskt beteende kan införas i simuleringsmodellerna. Genom att utföra upprepade exekveringar av simuleringsmodellen kan därmed statistiska mått som exempelvis varians erhållas för de logistiska måttetal (t ex antal förbrukade reservdelar eller antal inställda flyginsatser) som ska beräknas. Att dimensionera ett logistiksystem baserat på medelvärden (dvs "genomsnittsbeteendet") är antagligen acceptabelt om variansen är begränsad. Om så inte är fallet riskerar detta resultera i resursbrist vid kritiska tillfällen när logistiksystemet är i drift.

Med en lämpligt utformad simuleringsmodell låter sig mycket komplexa logistiska problem analyseras med simulering. Olika logistikupplägg kan utvärderas mot valda scenarier för att avgöra om befintliga underhållsresurser är tillräckliga. Detta öppnar för att planering och dimensionering av logistikunderstödet kan utföras. Flaskhalsar och kritiska faktorer kan identifieras i ett givet logistiksystem. Vad som är möjligt att åstadkomma givet angivna resurser och medel kan studeras. Vidare kan konsekvenser på logistiksystemet av olika designalternativ för ett materialsystem studeras. Slutsatserna kan sedan återföras in i designprocessen i form av bättre kravspecifikation.

En mer omfattande uppräknig av logistiska frågeställningar som kan, helt eller delvis, besvaras med hjälp av simuleringsstudier återfinns i rapporterna [POP04,FHS03].

4 Befintliga metoder och verktyg

4.1 Bakgrund

Simulering som metod används idag inom försvarsmakten och FMV för att hantera problematik och frågeställningar inom logistikverksamheten och har så gjorts under relativt lång tid. Det vapenslag som varit aktivast i att nyttja simuleringsstöd för logistik är flygvapnet genom sin utveckling av verktyget ASTOR. Vissa mindre satsningar har även gjorts inom armén men dess logistikverksamhet bedrivs idag i princip utan M&S-stöd.

Samtliga verktyg som har använts eller fortfarande används för logistisk simulering inom FM har funnits i mer än 15 år. De har således sitt ursprung från tiden när försvarsmaktens inriktning fortfarande var mot invasionsförsvar och innan de förändringar som diskuterats i avsnitt 2 var aktuella. Bland de förutsättningar som gällde när utvecklingen av verktygen initierades kan räknas entydig uppgift (försvar mot invasion), tydlig arena (Sverige), statisk organisation, stora förråd av förnödenheter och reservdelar och att stöd från samhället som helhet kan påräknas. Gällande förutsättningar är viktiga att beakta då de ofta ligger till grund för antaganden som görs när en simuleringsmodell utvecklas. Dessa antaganden är inte nödvändigtvis explicit uttryckta så att de direkt kan identifieras i simuleringsmodellen. De kan ändå starkt påverka modellens utformning och beteende.

Metodmässigt kan de verktyg som idag används delas in i två kategorier: optimering samt simulering. Optimeringsverktyg används här för en statisk analys där resurser dimensioneras och placeras geografiskt givet fördefinierade krav och begränsningar (villkor). Simuleringsverktyg ger möjlighet att analysera dynamiska förlopp, t ex studera konsekvenser av händelser i verksamhetens logistiksystem. Optimering och simulering används vanligtvis växelvis i en iterativ process varvid olika scenarier förfinas och utvärderas.

4.2 Optimeringsverktyg i bruk

Idag finns ett antal optimeringsverktyg med kopplingar till logistik på marknaden. Inom FMV används sedan många år det svenskutvecklade verktyget OPUS10.

4.2.1 OPUS10

OPUS [Sys02] är ett väletablerat optimeringsverktyg för logistik som utvecklats av Systecon AB i Sverige under mer än 25 års tid. Utvecklingen av verktyget initierades som ett resultat av insikten att kostnader kopplade till reservdelar och hanteringen av dessa kunde utgöra en väsentlig del av totalkostnaden för ett system sett över hela dess livslängd. Frågor av typen ”Innehas rätt reservdelsmix?”, ”Innehas rätt antal?” och ”Är lokaliseringen den rätta?” blev därvid centrala.

Idag är verktyget utgivet i version 10, utgåva 5.1. I och med denna utgåva inkluderar OPUS LORA XT vilket är funktionalitet som inte är begränsad till *Level Of Repair Analysis* utan även medger *Location Of Repair Analysis*.

Inom FMV används OPUS10 för optimering av reservdelar som ska lagerhållas på olika nivåer och återanskaffas samt för att beräkna var olika underhållsåtgärder bör genomföras för att optimalt resursnyttjande enligt bestämda kriterier skall uppnås.

4.3 Simuleringsverktyg i bruk

Gemensamt för simuleringsverktygen för logistik (ASTOR och SIMLOX) som är upphandlade av FMV, är att de baseras på händelsestyrd simulering. Detta är inte något unikt för just dessa verktyg utan tycks snarare gälla generellt för de simuleringsverktyg som existerar inom logistikdomänen, militärt som civilt. Tillämpningsnivån för både ASTOR och SIMLOX är den operativa logistiska nivån utgående från *befintliga* system.

4.3.1 ASTOR

ASTOR (Airforce Simulation of Tactics and Operational Resources) [AST98] är ett simuleringsverktyg som använder sig av en händelsestyrd simuleringskärna. Det är framtaget för simulering av underhållsverksamheten för flygstridskrafter på en eller flera flygbaser i ett basområde. Verktyget ägs av försvarsmakten samt förvaltas och används av FMV. Utvecklingen av ASTOR (som gjorts av konsultfirman Trilogik AB på uppdrag av FMV) har skett i omgångar och varit behovsstyrd. Simuleringsmodellerna har därmed uppdaterats alltefter förutsättningarna och kraven förändrats.

Centralt för ett scenario i ASTOR är ett basområde med ett antal flygbaser och en gemensam reparationsenhet med ett tillhörande reservmateriellager. Dessutom ingår förutom ett antal flygplan även schemalagd personal för klargöring, underhåll, reparationer och pilotuppdrag. Utöver detta kan även förråd med förbrukningsmateriel som bränsle, robotar, etc. ingå.

Inom FMV har ASTOR använts under lång tid som stöd för exempelvis kravanalyser, offertutvärdering, resursfördelning och underhållsberedning vid övningar och insatser samt taktik- och organisationsstudier.

4.3.2 SIMLOX

SIMLOX [Sys04] är liksom ASTOR ett händelsestyrt simuleringsverktyg. Det är utvecklat av Systecon AB och är avsett att komplettera deras optimeringsverktyg OPUS 10. SIMLOX har

sin tyngdpunkt inom militära tillämpningar men är mer generellt än ASTOR och har även tillämpats inom logistik på det civila området.

I SIMLOX simuleras ett scenario som definierar ett antal system som utför uppdrag i enlighet med givna driftsprofiler och resurser. Som påpekades ovan är SIMLOX mer generellt än ASTOR vilket innebär att det kan hantera såväl armé- och marinverksamhet som flygverksamhet.

Verktyget är upphandlat av FMV men har ännu inte hunnit komma till någon större användning i studier av den typ ASTOR använts för.

I [POP04] finns en närmare beskrivning och jämförande studie av verktygen ASTOR och SIMLOX.

4.4 Begränsningar hos befintliga metoder och verktyg

Den tydligaste begränsningen hos ASTOR är antagligen dess hårda knytning till flygverksamhet. Modeller saknas för armé och marina enheter vilket innebär att integrerade insatser med behovssammansatta förband inte kan utvärderas i ASTOR.

Ett mer tveeggat faktum är att ASTOR är en ren ”in-house”-produkt i och med att verktyget ägs av försvarsmakten som i princip också är den enda avnämaren. Det är tveeggat så till vida att det har både för- och nackdelar. Nackdelen är att detta innebär att försvarsmakten får bära hela kostnaden för verktygets utveckling och förvaltning. Fördelen är dock att utvecklingen av verktyget kan hållas behovsstyrd och att all funktionalitet som försvarsmakten behöver därför direkt kan införas i verktyget (givet att det är tekniskt genomförbart och ekonomiskt försvarbart). Den behovsstyrda utvecklingens betydelse ska inte föringas. En viktig anledning till den stora framgång som ASTOR rönt kan sannolikt kopplas till att modellerna i verktyget kontinuerligt vidareutvecklats så att nya problemställningar och scenarier kunnat analyseras.

4.4.1 Nya förutsättningarnas konsekvenser

Det tycks som både ASTOR, SIMLOX och OPUS10 är dåligt anpassade för att hantera den ökande dynamik och osäkerhet som följer av en inriktning mot snabba och flexibla insatser, inte minst internationellt, samt en utkontraktering av logistikfunktioner på tredje part. Dels är sårbarhet och känslighet direkt kopplat till det logistiska systemet modellerat endast i begränsad omfattning. Det är inte enbart enheterna som skall understödjas som kan drabbas av fel och fientlig attack, även de logistiska enheterna kan själva drabbas av dylika problem. Vidare är komplikationer och problematik kopplade till mänskligt beteende väsentligen ett förbisett område. Även om ett avtal dikterar att exempelvis bränsle ska utbytas mellan förband från olika länder vid behov kan det tänkas att personal i operationsområdet på eget bevåg inför egna icke sanktionerade prioriteringar och ger förtur till egna landets förband.

Verktygen saknar till synes även möjligheter att hantera osäkerhet och variabilitet kopplade till exempelvis indata som rör lager. Detta kan utgöra en betydande begränsning om lagerhållning och tillhandahållande av reservdelar förs över på leverantörer eller vid insatser utanför Sveriges gränser. Anledningen är att det i sådana scenarier sannolikt kan uppstå betydande osäkerheter i bland annat leverans- och transporttider. Variabiliteten som kan uppstå kan exemplifieras genom att betrakta två extremer av tillhandahållande av en reservdel; på traditionellt vis, dvs. att reservdelen kommer från en ”lagerhylla” eller det omvända att reservdelen inte lagerförs utan tillverkas när den efterfrågas. Modellmässigt

innebär detta att variabler kopplade till detta inte enbart kan representeras som ett medelvärde. Istället kan de behöva en mer fullständig statistisk representation, t ex som en statistisk fördelning med varians och medelvärde.

4.4.2 Kompetensglapp

Ytterligare en begränsning som gäller samtliga verktyg är att en relativt liten grupp individer, av vilka flera tillhör konsultföretag och alltså inte finns inom vare sig FMV eller försvarsmakten, besitter den kompetens som krävs för att nyttja verktygen. I detta avseende bör man betona att kompetens att nyttja denna typ av verktyg inte stannar vid att lära sig användargränssnitt och hur olika funktionalitet i verktygen aktiveras. Den stora svårigheten är att lära sig simuleringsmetodikerna samt hur resultat från simuleringar ska tolkas.

Att i fredstid till stor del vara hänvisad till att köpa in kompetens från konsulter är antagligen inget större problem. I en krigstid eller vid internationella insatser kan det däremot vara olyckligt om kompetensen inte finns inom försvarsmakten, framför allt om man avser att löpande nyttja M&S som stöd för logistiken på taktisk nivå i operationsområdet. Detta då civil personal som utför logistikfunktioner skulle kunna räknas som kombattanter och alltså utgöra legitima mål. Inget tyder dock på att M&S kommer användas på detta sätt i närtid, men detta är en problematik att beakta i det långa perspektivet.

Det kan också ifrågasättas hur lämpliga dessa verktyg skulle vara att använda löpande under operationer, sett till deras relativa komplexitet och behovet av expertkunnande hos användarna. Dessutom skulle detta kräva att simuleringsverktygen kontinuerligt och mer eller mindre automatiserat kan hämta information från databaserna över resurstillgångar (exempelvis reservdelstatus), något som inte är möjligt idag.

4.4.3 Funktionsrelaterad simulering

Med den något kryptiska rubriken ”funktionsrelaterad simulering” åsyftas att funktionsbegreppet som diskuterades i avsnitt 2.1.1 inte har någon egentlig representation i de existerande simuleringsmodellerna. De är istället utformade kring konkreta förband och materielsystem snarare än de funktioner som dessa realiserar. För en stor del av de logistiska frågeställningar som modellering och simulering ska bidra till att hantera, exempelvis för logistiken på operativ nivå, är detta möjligen fullt tillräckligt eller rent av önskvärt.

Om modellering och simulering för logistiken ska komma in som ett effektivt stöd tidigt i anskaffningsprocessen, speciellt av större komplexa materielsystem, kan det dock vara en begränsning. Anledningen är att diskussionen då typiskt kretsar kring vilka *funktioner* (och kravsatt, vilka *förmågor*) som det nya materielsystemet måste ha.

Det kan vara svårt att från de simuleringar som kan göras med de nuvarande verktygen identifiera vilka logistiska begränsningar och krav olika typer av funktioner är förenade med givet specificerade betingelser eller scenarier. Dessa svårigheter blir påtagligare ju mer aggregerad en funktion är, dvs. ju mer delfunktioner den innefattar. Flygföretag med JAS39 och flygföretag med HKP10 realiserar båda funktionen ”flygföretag”, men de logistiska krav som är förenade med de båda kan skilja väsentligt. Simuleringsmodellerna kan sägas fokusera på särdragen snarare än det som förenar.

Det går således inte att simulera på funktionell nivå och det bör också påpekas att det är oklart vad en sådan ”funktionsrelaterad” simulering konkret innebär och hur den ska genomföras. Man är med nuvarande verktyg hänvisad till att simulera konkreta förband och materielsystem

med deras egenskaper och från dessa göra analyser så slutsatser kan dras om funktioner och förmågor.

5 Analys och vägval för M&S inom logistiken

5.1 Logistikens M&S-stöd i materielanskaffningsprocessen

5.1.1 Förmåge- och funktionsmodellering

Definitioner av förmågor och funktioner på systemnivå 0 och 1 (men även på lägre nivåer) samt kopplingen till konkreta förband och materielsystem är idag oklara eller saknas helt. Detta gäller såväl generellt som i logistiskt hänseende. Att arbeta fram dessa definitioner är ett komplicerat och omfattande företag som kräver god kunskap och insikt om verksamheten.

Den största svårigheten ligger emellertid inte i att identifiera och definiera funktioner. Det riktigt svåra är att utreda och klargöra de samband som finns mellan dels funktioner på samma nivå, dels mellan funktioner på olika nivåer samt slutligen sambanden mellan funktioner och de förband och materielsystem som realiserar en funktion. Speciellt sambanden mellan funktioner på olika nivåer och kopplingen funktioner – förband/materielsystem synes vara komplexa problem att lösa. Detta då det innebär att delfunktioner (eller förband/materielsystem) aggregeras då de tillsammans utgör en funktion på överliggande nivå. Måhända skulle modellering och simulering kunna utgöra ett stöd för att identifiera kausala funktionssamband inom och mellan olika nivåer. Detta är dock en fråga som ej närmare studerats i detta uppdrag.

Även om sambanden kan klargöras och egenskaper förknippade med funktionerna kan kvantifieras återstår frågan hur detta ska representeras. Visst arbete rörande detta har gjorts inom FMV och finns redovisat i rapporterna [Bar03a][Bro04]. Komplexiteten i problematiken framgår tydligt av de arbetena. Man konstaterar också att just funktionsaggregering är långt ifrån trivialt, speciellt när egenskaperna hos underliggande funktioner är av olika typer.

Problematiken som diskuterats ovan knyter nära an till problematiken som legat till grund för utvecklingen av konceptet ”Conceptual Models of Mission Space” (CMMS) [MGU02]. CMMS kan sägas vara en ”simuleringsneutral” beskrivning av verkligheten, dvs. den är oberoende av framtida implementering och den fungerar som en brygga mellan domänexperterna (exempelvis militärer) och utvecklarna av simuleringsmodeller. Den primära delen i CMMS består av domänspecifika konceptuella modeller som är konsistenta, strukturella och funktionella beskrivningar av verkliga processer. Därutöver ingår bland annat ett tekniskt ramverk, CMMS-TF, som ska innehålla standarder för inhämtning, bearbetning och integrering av all kunskap kopplad till konceptuella modeller.

CMMS-konceptet erbjuder dock ännu inga färdiga lösningar som direkt kan tillämpas för att utveckla och representera de sambandsmodeller mellan funktioner som efterlysts i detta arbete. Däremot är konceptuell modellering ett aktivt forskningsområde och inom FOI pågår forskning om CMMS. Det finns all anledning att följa upp de resultat som kommer av den forskningen i detta hänseende.

5.1.2 Nya materielsystem – nya förutsättningar

Utveckling av nya materielsystem baseras delvis på kunskaper och erfarenheter förvärvade från existerande materielsystem. Ny teknik och nya koncept gör dock att förutsättningar och begränsningar som varit förknippade med en viss design inte behöver gälla nästa generation

av system. Samtidigt tillkommer sannolikt nya begränsningar och krav. Detta är viktigt att beakta när det logistiska systemet för ett nytt materielsystem ska utvecklas. Utformas drift- och underhållssystemet med hänsyn till felaktigt antagna förutsättningar kommer dess effektivitet påverkas negativt.

Vid identifiering av krav och begränsningar för olika funktioner är det därför viktigt att klargöra vad som är beroende av en viss design eller teknik och vad som är mer generellt gällande. Ju mer fokus som läggs vid det senare, desto tidigare kan logistikaspekterna komma in vid utvecklingen av ett nytt materielsystem.

Metodologier för att förutsäga operativ karaktäristik för framtida systemdesigner är något som intresserat rymdindustrin mycket [RTZ00]. Detta då rymdtransportsystem är mycket kostsamma, dels att utveckla men inte minst *i drift*, samtidigt som stora förändringar i design mellan olika systemgenerationer ofta görs. Det är möjligt att metoder utvecklade där är tillämpliga mer generellt.

5.1.3 Möjligheter till simulering

Möjligheterna för modellering och simulering inom logistik att utgöra ett stöd för materielanskaffningen (exempelvis genom bättre kravställning från ett underhållsperspektiv), även under dess tidiga skeden, är rimligen stora. Mycket hänger dock på att aspekterna som diskuterades i föregående två avsnitt kan hanteras och lösas. Med tanke på det intresse som riktats mot Simulation-Based Acquisition (SBA) [JMS98, Dav00] torde det vara en fördel om M&S-stöd inom logistik lyfts fram och tydliggörs inom SBA-konceptet. Inom såväl SBAs fas 1 "Concept exploration" och fas 2 "Program definition & Risk reduction" är logistiken förknippad med systemet som är under utveckling en av flera viktiga aspekter att beakta.

5.2 M&S-stöd till VSHMOD

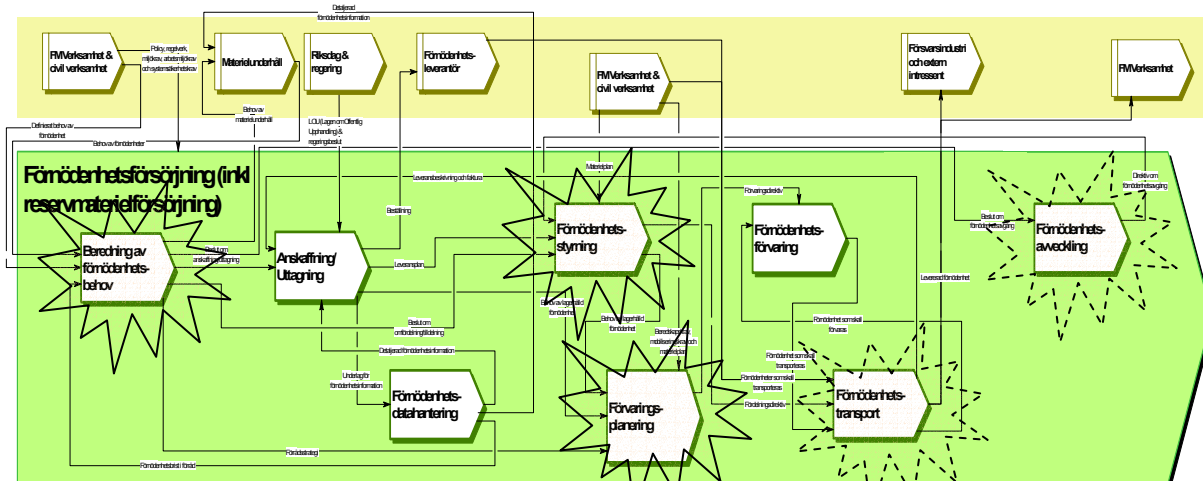
VSHMOD är en uppsättning verksamhetsmodeller som framtagits inom ramen för FMV-projektet VSHMOD-UH-2010 [FMV02]. Områdena som beaktats i det arbetet är materielunderhåll, förnödenhetsförsörjning, drift av telekommunikationsnät samt tekniskt systemstöd. Syftet med VSHMOD-UH-2010 har varit att beskriva verksamheterna inom ovanstående områden och informationsbehovet som är förenade med dem. Fokus vid framtagandet av verksamhetsmodellerna har varit målbild för år 2010.

Som påpekades i avsnitt 1.2 avgränsar vi oss i detta uppdrag till att se närmare på förnödenhetsförsörjningen och möjligheterna till M&S-stöd för logistiken där.

I VSHMOD beskrivs förnödenhetsförsörjningen i form av omvärldsprocesser, huvudprocesser och stödprocesser. Respektive process har vidare brutits ned till konkreta arbetssteg som verifierats av verksamhetsexperten. Dessa arbetssteg har utgjort ett underlag vid framtagandet av den informationsmodell som konkretiserar verksamhetens (dvs förnödenhetsförsörjningens) informationskrav.

5.2.1 Processmodellens komponenter och tolkning

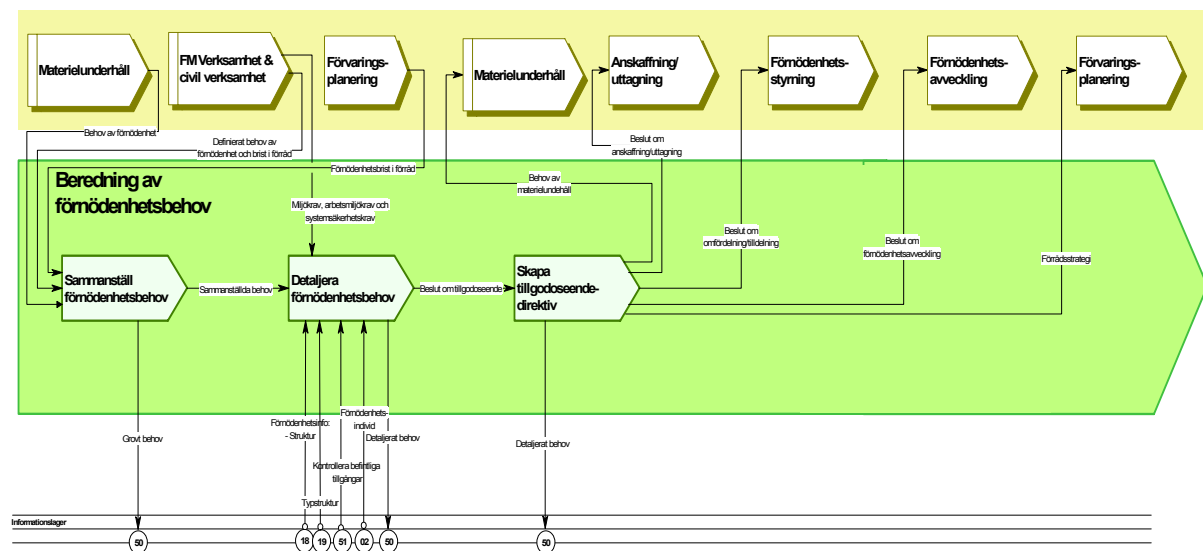
Figuren nedan vilken är hämtad från [FMV02] visar den översta nivån av förnödenhetsförsörjningen och vilka dess kärnprocesser är (angivna mot grön bakgrund).



Figur 2. Toppnivån i processmodellen för förnödenhetssystemet och dess kärnprocesser.

Respektive delprocess är ritad som en vit femhörning i form av en pil och texten i femhörningen anger syftet med processen. Indata till processen anges av från vänster inkommande pil och utdata från processen anges av till höger utgående pil. Styrning illustreras med en pil uppifrån och resurser (som processen nyttjar/förbrukar) skildras med en pil underifrån.

För varje delprocess finns en processgraf (analogt med processgrafan ovan) framtagen och där finns också kopplingar till ett informationslager ur vilket informationsbehovet kan följas. Exempelvis ser delprocessen "Beredning av behov" ut på följande sätt [FMV02]:



Figur 3. Processmodellen för delprocessen "Beredning av förnödenhetsbehov" och dess underprocesser.

För underprocesserna (vilka även skulle kunna benämnas arbetsmoment) angivna i delprocessens femhörningar finns mer detaljerade arbetssteg specificerade. Exempelvis är arbetsstegen för underprocessen "Detaljera förnödenhetsbehov":

1. Specificera/detaljera behov av förnödenheter avseende:
 - Antalsuppgifter
 - Geografisk placering (t ex leveransplats)
 - Behovstidpunkt och beredskap

- Säkerställa enhetlig konfiguration per förband
 - Prioriteringar från beställare
 - Behovstyp (KRO eller GRO)
2. Skapa utnyttjadeprognos (baserat på t ex tidigare förbrukning, klimat, grundutbildningsrutin, extraordinära insatser)
 3. Kontrollera mot befintliga tillgångar och dess materielstatus (förnödenhetsredovisning)
 4. Kontrollera om aktuell förnödenhet ingår i någon typ av bruksenhet, kontrollera om någon bruksenhet finns tillgänglig för urmontering av aktuell förnödenhet.
 5. Klargör finansiering. Eventuell dialog med beställare
 6. Utarbета förrådsstrategi som input till förrådplaneringen
 7. Utarbета kravspecifikation (inkl. krav på förnödenhetsinfo, dokumentation, ritningar mm)
 8. Utarbета förslag på hur tillgodoseende skall ske
 9. Dialog med beställare avseende tillgodoseende

5.2.2 Möjligheter till simulering

Modellering och simulering torde kunna fungera som ett effektivt och användbart stöd för ett flertal av de processer som är detaljerade i VSHMOD förnödenhetssystemet. De processer som identifierats i detta avseende har angivits i Figur 2 med överliggande en ”stjärna”. Dessa är delprocesserna ”Beredning av behov”, ”Förnödenhetsstyrning” samt möjligen också ”Förnödenhetsavveckling” och ”Förnödenhetstransport”.

I delprocessen ”Beredning av behov” ingår att skapa en utnyttjadeprognos betingad av faktorer som insats, klimat och grundutbildningsrutin samt att utarbета förrådsstrategi. Underlag till dessa uppgifter skulle kunna genereras med hjälp av simuleringar. Dessa simuleringar skulle då kunna ge möjligheter att studera utfall givet olika scenarier och taktik. Simuleringsmodellerna, när de kopplas till information i databaser om nyttjande, innebär också en formaliserad representation av erfarenheter. Detta är en fördel genom att erfarenheter därmed inte enbart existerar som kunskap hos enstaka individer i organisationen. Inom ”Förnödenhetsstyrning”-delprocessen ingår att välja fördelningsalternativ och skapa fördelningsdirektiv. För frågor där rörande specifikation av till- och från-förråd/leveransplatser och prioritering vid transport- eller förnödenhetsbrist torde simuleringsutvärdering kunna vara behjälplig. Detsamma gäller för arbetsmomenten ”Planera nyttjande av förråd” i delprocessen ”Förvaringsplanering”. För delprocesserna ”Förnödenhetsavveckling” och ”Förnödenhetstransport” torde det vara möjligt att medelst simulering analysera konsekvenser av olika avvecklingsupplägg samt genomföra transportoptimering.

Det bör betonas för alla exempel som givits ovan att, för att verkligen kunna fungera som ett stöd måste först de frågeställningar, vilka modelleringen och simuleringen ska hjälpa att besvara, konkretiseras. Därtill måste lämpliga scenarier specificeras. Detta ligger utanför detta uppdrags ramar.

Ytterligare en kommentar bör göras med avseende på VSHMOD och den gäller modellbegreppet. Verksamhetsmodellerna i VSHMOD utgör förvisso modeller av verksamheten genom att de beskriver kausalitet och beroende mellan olika processteg samt det tillhörande informationsutbytet. Modellerna är dock inga simuleringsmodeller i den meningen att de direkt skulle kunna införas och exekveras i ett simuleringsramverk. Däremot kan de utgöra ett användbart underlag för utveckling av lämpliga simuleringsmodeller.

5.3 Möjligheter och framtid för befintliga metoder och verktyg

En springande punkt är i vilken mån befintliga M&S-verktyg kan nyttjas för de behov av modellering och simulering som finns inom logistiken. En rad begränsningar hos verktygen

lyftes fram i avsnitt 4.4, bland annat att modellerna i verktygen till synes inte kan representera osäkerhet och variabilitet kopplad till exempelvis lagerhantering. Att utöka modellerna till att även kunna hantera detta torde inte vara ett alltför omfattande arbete. Kortsiktigt skulle en lösning kunna vara att angripa problemet konservativt i så måtto att man bortser från variabiliteten i vissa parametrar och istället ansätter parametrarna deras maximala värden (eller om inget max-värde finns, ansätter ett värde stort nog att sannolikheten för större värden är mycket liten).

Att simulera logistiken förknippad med insatser där förband sammansatta från flera vapenslag ingår är inte möjligt idag med ASTOR och det torde krävas ett omfattande arbete att utöka dess simuleringsmodeller till att klara detta. Däremot bedöms möjligheterna att göra sådana simuleringar som större med SIMLOX i dess nuvarande tappning. Detta då SIMLOX är mer generellt och inte knutet till flygverksamhet. Denna slutsats gäller även om simuleringsstöd ska införas till de utpekade VSHMOD-processerna. Förutsättningarna att kunna nyttja SIMLOX där synes rimliga och värda att studera närmare.

Vissa möjligheter att använda ASTOR (och även SIMLOX) som stöd för att bättre föra in logistiska aspekter i materielanskaffningsprocessen för nya materielsystem bör finnas, åtminstone på flygområdet. Ett stort antal studier av olika slag har genomförts med ASTOR och dess modeller har gradvis utökats och förfinats. Därigenom har en stor erfarenhetsmassa byggts upp. Detta borde kunna avtappas för logistisk kravprofilering när nya materielsystem ska utvecklas. Det kan dock inte vara tal om någon mer automatiserad process, utan simuleringsstudierna för detta syfte torde behöva kompletteras med omfattande ”manuell” analys så att kravställningen kan göras.

Det inget av de studerade verktygen lämnar större öppningar för är att göra simuleringar utgående från funktioner, dvs någon form av simulering på funktionsnivå. Att åstadkomma detta kräver för det första mer grundläggande forskning. Dessutom är tveksamt om det skulle vara meningsfullt att försöka implementera sådana simuleringsmodeller i de nuvarande verktygen eftersom abstraktionsnivån antagligen skulle skilja sig åt väsentligt.

Vad gäller SIMLOX så är det viktigt att börja använda verktyget i olika simuleringsstudier, speciellt eftersom verktyget faktiskt upphandlats av FMV. Det är först när verktyget kommer i användning och prövas för olika typer av frågeställningar som dess begränsningar och möjligheter mer klart kommer framgå. På samma sätt som många erfarenheter byggts upp om ASTOR bör så även göras för SIMLOX.

5.3.1 Risker

Det förhållande att SIMLOX inte är att betrakta som ett simuleringsramverk* och att det inte ägs av försvarsmakten bör bedömas som en risk eller åtminstone en klar osäkerhetsfaktor för hur användbart verktyget kommer att vara över en längre tidsperiod. Det är rimligt att förvänta sig att framtiden kommer att innebära ändrade förutsättningar ur logistiskt perspektiv. Dessa förändringar kan vara svåra att förutsäga idag men kan tänkas innebära att simuleringsmodellerna behöver modifieras för att möta försvarsmaktens behov. Detta är ju väl exemplifierat i fallet med ASTOR. Eftersom försvarsmakten endast är en av flera användare av SIMLOX kommer införandet av den funktionalitet som försvarsmakten efterfrågar i verktyget vara avhängigt av hur väl det sammanfaller med utvecklarens (Systecons)

* I avsaknaden av möjlighet för användare att lägga till modeller eller ändra i befintliga modeller bör SIMLOX inte betraktas som ett simuleringsramverk.

utvecklingsstrategi för SIMLOX. Samtidigt bör inte denna risk överdrivas då försvarsmakten har ambitionen att utvecklas till att vara mer kompatibel med andra länders försvarsmakter som också kan vara nyttjare av SIMLOX. Det skulle kunna innebära att ändrade förutsättningar och behov hos försvarsmakten sammanfaller med de hos andra användare. Detta ökar sannolikheten för att de förändringar som är nödvändiga att göra i simuleringsmodellerna för att möta FMs behov faktiskt kommer att införas.

En risk förenad med det konservativa angreppssätt som föreslogs som en tänkbar lösning på kort sikt för problematiken med parametrar med osäkra och variabla värden är att det kan vara för konservativt. Det vill säga, att parametrarna ansätts med så stora värden att logistiksystemet överdimensioneras kraftigt, eller, att en slutsats från simuleringarna blir att logistiksystemet kommer att bryta samman, givet förutsättningarna i scenariot, när det i praktiken inte blir så.

Det finns en fara, dock svår att bedöma hur allvarlig och trängande den är, att använda ASTOR eller SIMLOX som ett stöd för att utarbeta kravprofiler för nya materielsystem. Anledningen är att simuleringsmodellerna och deras indata är så hårt knutna till specifika existerande system. Det finns inget sätt att i modellerna separera det som gäller generellt för en viss typ av materielsystem (eller ännu bättre, en viss funktion) och vad som är specifikt för ett visst konkret materielsystem. Risken är därigenom att logistiska förutsättningar och därtill hörande krav identifieras som egentligen är kopplade till en viss specifik design snarare än generellt gällande.

5.4 Behov av nya verktyg och metoder

Det finns idag en rad simuleringsverktyg för logistik med militär inriktning [Sys04, RLG04, Ham01]. Även om dessa skiljer sig åt på olika punkter så finns många likheter och generellt kan nog konstateras att mer förenar än vad som skiljer, funktionellt sett. Med det sagt får man konstatera att det inte är att förvänta, att bara för att man byter från ett verktyg till ett annat, kommer alla behov för modellering och simulering inom logistiken kunna tillmötesgå. Inget tyder på att detta förhållande kommer ändras under överskådlig tid.

När nu försvarsmakten riktar intresse mot att införliva och anpassa civila logistikkoncept som SCM till den militära logistiken så förefaller det också rimligt att titta närmare på de simuleringsmetoder och verktyg som används på det civila området (exempelvis [ARE04, JCW01]). Även om dessa måhända inte är direkt tillämpbara så är det möjligt att viss teknik skulle kunna hämtas därifrån eller att de åtminstone skulle kunna generera intressanta idéer.

Det område som tydligast framstår som obelyst rör metoder för modellering och simulering på funktionell nivå. Här handlar det till synes mycket om att bryta ny mark och för detta krävs mer grundläggande forskningsinsatser. Sådana är alltid förenade med en viss förhöjd risk. Hur ”funktionsrelaterad” simulering ska göras är alltså oklart och det ligger egentligen bortom detta uppdrags ramar att utreda detta. Det går dock att spekulera och viss ledning kan möjligen fås genom att titta på tänkbara frågeställningar.

En mycket central fråga för en beslutsfattare på strategisk nivå torde vara i vilken utsträckning en viss förmåga kan realiseras, dvs vilken *realiseringsgrad*[†] den har. Med tanke på

[†] Här definieras realiseringsgrad som relativt mått som exempelvis mäts i procent där 100 procent svarar mot fullständigt realiserbar och 0 procent svarar mot helt orealiserbar, dvs total avsaknad av förmåga. Begreppet har en något annorlunda betydelse i [Bar03a,FMV04].

inriktningen mot insatsförsvaret och inte minst Sveriges deltagande i internationella insatser torde även frågeställningar av typen; *inom vilken tidshorisont har en viss förmåga realiseringsgraden x inom ett specifikt geografiskt område?* samt *till vilken kostnad har en viss förmåga realiseringsgraden x inom ett specifikt geografiskt område?*

Detta indikerar att även om funktioner är abstrakta begrepp så är det önskvärt att kunna koppla tid och geografiska egenskaper till dem. En variant vore att försöka hantera en funktion, trots att den är abstrakt, som ett konkret objekt i simuleringsmodellen. Eftersom en funktion realiserar av ett eller flera materielsystem och förband skulle det till sådana funktionsobjekt i simuleringsmodellen kunna knytas egenskaper som:

- *uppdelbarhet* (samt eventuellt förmågereduktion kopplad till uppdelbarhet)
- *tid till realiserbarhet* (kopplat till exempelvis geografiskt avstånd)
- *sårbarhet* (samt förmågereduktion kopplad till detta)
- *känslighet* (och reduktion av förmåga kopplad till faktorer som klimat, terräng, infrastruktur osv.)
- *tillförlitlighet* (även här med förmågereduktion kopplad till exempelvis funktionsfel hos realiserande system)

Uppdelbarhet skulle här avspegla att en funktion realiserar av konkreta förband och materielsystem av vilka det kan finnas flera uppsättningar. Under antagandet att en funktion realiserar (eller utförs) av ett förband av vilka det finns två uppsättningar skulle funktionens uppdelbarhet vara två. Funktionen kan realiserar på två geografiskt åtskilda ställen simultant.

Simuleringarna torde kunna vara händelsestyrda analogt med sådana som utförs i verktyg som SIMLOX men objekten i simuleringsmodellen avbildar inte konkreta system. De modellerar istället funktioner. Funktionsrelaterad simulering skulle således här svara mot simulering där abstraktionsnivån i någon mening direkt är på funktionsnivå.

Givet att en modell utvecklats som detaljerat beskriver sambanden (logiskt och kvantitativt) mellan funktioner och materielsystem (enligt vad som diskuterades i avsnitt 5.1.1) skulle simuleringsresultaten därefter kunna kopplas till konsekvenser på förbands- och materielsystemnivå.

5.4.1 Taktisk nivå

Att använda simulering som stöd för logistiken på taktisk nivå skulle kräva att simuleringsverktyget kan kopplas samman med de databaser som används av logistiksystemet så att de kontinuerligt får tillgång till uppdaterad information[‡]. Det är möjligt att ASTOR eller SIMLOX skulle kunna förses med den funktionalitet som krävs för detta. Som diskuterades i avsnitt 4.4.2 är det dock tveksamt hur lämpliga de existerande verktygen är för användning på taktisk nivå eftersom de kräver en hel del expertkunskap. Sammantaget skulle detta kunna tala för att det är meningsfullt att utveckla simuleringsverktyg speciellt inriktade för logistikhanteringen på taktisk nivå.

5.4.2 Operativ och strategisk nivå

De uppgifter som beskrevs för den logistiskt operativa nivån i avsnitt 3.1, likheterna mellan ASTOR och SIMLOX och hur exempelvis ASTOR hittills använts [POP04, FHS03] skulle kunna indikera att behovet för helt nya verktyg på den operativa nivån är mer begränsade

[‡] Vilket kräver att databaserna uppdateras kontinuerligt, något som ställer ökade krav på integration mellan olika system och infrastrukturen som sammanbinder dem.

givet att SIMLOX börjar användas. Modifieringar och vidareutveckling av simuleringsmodellerna i det verktyget torde dock vara nödvändiga enligt vad som diskuterades i avsnitt 5.3 ovan.

Varken ASTOR eller SIMLOX ger något egentligt stöd för simulering av funktioner vilket kan vara en nackdel på den logistiskt operativa nivån. Det torde dock vara än mer så för materielanskaffningsprocessen på strategisk nivå och där kan finnas ett behov av nyutveckling av såväl metod som verktyg. Som påpekats tidigare bör detta dock föregås av en omfattande och grundläggande forskningsinsats.

6 Slutsatser och rekommendationer

Införandet av omfattande M&S-stöd på olika nivåer inom logistikverksamheten bör ses som en långsiktig process som innefattar att många intrikata och inte omedelbart uppenbara problem måste lösas längs vägen.

Det är en tilltalande vision att kunna lita till endast ett simuleringsverktyg för att hantera och möta alla behoven inom logistikområdet. I praktiken är det dock svårt att finna ett sådant verktyg. Problemets kärna är att det krävs att verktyget är mycket generiskt men samtidigt specialiserat nog att kunna lösa ett brett spektrum av konkreta problemställningar. Ska en sådan vision genomföras fullt ut består lösningen normalt i att utgå från ett simuleringsramverk. Därvid erhålls en generisk bas att utgå ifrån men det pris som står att betala är att flera logistiska simuleringsmodeller måste utvecklas i ramverket för att lösa de konkreta problemställningarna.

Varken ASTOR eller SIMLOX är att betrakta som simuleringsramverk och det är författarens slutsats att inget av dessa verktyg, varken enskilt eller tillsammans, har förutsättningar att möta alla behov av modellering och simulering som kan identifieras inom logistiken. Det som ingetdera av verktygen lämnar större öppningar för är simulering av funktioner vilket är speciellt viktigt för systemnivåerna 0 och 1. Däremot torde vissa av de övriga svagheter som utpekats, exempelvis hantering av osäkerheter och variabilitet för vissa modellparametrar som är av relevans för scenarier innefattande internationella insatser och tredjepartslogistik, kunna införas med en relativt begränsad vidareutvecklingsinsats.

Avslutningsvis några rekommendationer:

- Börja använda SIMLOX. Verktyget har vissa begränsningar som diskuterats i tidigare avsnitt men det har också tilltalande egenskaper och funktionalitet. Det är dock viktigt att samla på sig erfarenheter från användning. Detta kommer än mer tydliggöra eventuella begränsningar (men också möjligheter) samt hur pass omfattande dessa är.
- Identifiera och specificera funktioner och förmågor knutna till och av relevans för logistikområdet. Detta är en förutsättning för att modellering och simulering ska kunna komma in tidigt i materielanskaffningsprocessen för att understödja framarbetandet av logistiska krav. Det tycks idag delvis saknas eller åtminstone råda oklarheter kring metodik för identifiering och specificering av funktioner. Möjligtvis skulle modellering och simulering även kunna utgöra ett stöd för den processen i sig.
- Initiera forskning relaterat till funktions- och förmågebegreppet. Det är oklart hur samband mellan förmågor och funktioner samt mellan funktioner och materielsystem/förband lämpligen modelleras och representeras. Relaterat till detta är

funktionsaggregering som det likaledes råder oklarheter om hur det ska göras. Denna forskning skulle med fördel kunna knytas till forskningen om CMMS som redan sker på FOI.

- Slutligen måste metoder för simulering på funktionsnivå, oavsett om den sker direkt på denna abstraktionsnivå eller indirekt, studeras och utvecklas. Detta är inte enbart av vikt för logistiken. Om ”Simulation-Based Acquisition” ska tillämpas och införas som metod kommer denna vara betjänt av resultat från sådan forskning.

7 Underlag, källor och bibliografi

Till underlag för denna rapport ligger utöver de rapporter, vetenskapliga artiklar och böcker som listas i bibliografin även samtal med personal från FMV och FOI.

7.1 Bibliografi

- [And03] Håkan Andersson. Har Försvarsmakten behov av simuleringssystem för logistik? C-uppsats, 19100:2008, FHS. Stockholm, juli 2003.
- [ARE04] Arena simulation software. <http://www.arenasimulation.com>, PA, USA, 2004.
- [AST98] ASTOR. Kompendium. FMV, ILS Driftstöd, Stockholm, augusti 1998.
- [Bar03a] Förutsättningar för Drift- och Underhåll (FDU), Applex – Fotospaning Internationell Insats. Rapport. LOG 21 970:412/03, FMV. Stockholm, januari 2003.
- [Bar03b] Driftsäkerhet på funktionsnivå. PowerPoint-presentation, FMV. Stockholm, 2003.
- [Bro04] Kristoffer Broqvist. FDU i kravhanteringsperspektiv. Rapport. LUTAB. Stockholm, februari 2004.
- [Dav00] Wayne J. Davis. Simulation-Based Acquisition: An Impetus for Change. I *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, december 2000.
- [Eks04] Thomas Ekström. Supply Chain Management. En evolution inom den civila logistiken men en revolution inom den militära logistiken? Memo 777, FOI. Stockholm, februari 2004.
- [FHS03] Simulering av logistikens förmåga att understödja sammansatta förband. Preliminär rapport, FHS, Krigsvetenskapliga institutionen. Stockholm, 2003.
- [FMV02] VSHMOD-UH-2010. Fas 2 Förnödenhetsförsörjning. Slutrapport. Bilaga 1 till LOG:14100:35226/02, FMV. Stockholm, september, 2002.
- [FMV04] *Handbok driftsäkerhet – Utkast*. FMV, Stockholm, juni 2004.
- [Ham01] Bob Hamber. T.LOADS Abbreviated Systems Architecture. I *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA, december 2001.

- [HKV03] Särskilda redovisningar rörande operativ förmåga, kompetenser, behov av stridskrafter samt utveckling av materielförsörjning, forskning-, teknikutveckling och studieverksamhet m.m. Rapportbilaga 7. Försvarmakten HKV. Stockholm, mars 2003.
- [Hol04] Gunnar Holm. *Introduktion till modellering och simulering för militära tillämpningar*. Preliminär rapport. FOI. Stockholm, 2004.
- [JCW01] Sanjay Jain, Lisa M. Collins, Russel W. Workman och Eric C. Ervin. Development of a High-Level Supply Chain Model. I *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, Arlington, VA, USA, december 2001.
- [JMS98] M. V. R. Sr Johnson, M. F. McKeon och T. R. Szanto. *Simulation-based acquisition: A new approach*. Defense Systems Management College Press, Ft. Belvoir, VA, USA, 1998.
- [KaP97] David Kassing och Raymond Pyles. *Logistics Modeling: New Challenges and New Opportunities*. Chapter 8 in *Military Modeling for Decision Making 3rd Ed.* Wayne P. Hughes (ed.), MORS, 1997.
- [MGU02] Vahid Mojtahed, Marianela García Lozano, Jenny Ulriksson och Gunnar Holm. CMMS – Konceptuella modeller av militära operationer. Användarrapport, FOI-R--0629--SE, FOI. Stockholm, november 2002.
- [Sys02] Systecon AB, *OPUS10 ver 5.1 User's Reference*, Stockholm, 2002.
- [Sys04] Systecon AB, *SIMLOX User's reference version 2.0*, Stockholm, januari 2004.
- [POP04] Johan Pelo, Kjell Ohlson och Lisbeth Pers. Simuleringsramverk och logistiksimulering – en översiktsstudie. Användarrapport, FOI-R--1318--SE. Stockholm, FOI. Stockholm, augusti 2004.
- [RLG04] *Support Design Service Tool RamLog issue 1.0*. User Guide. SSM/1281/1M, BAE Systems (Operations) Limited, UK, mars 2004.
- [RML03] Försvarmakten. *Regler för militär luftfart*. Stockholm, 2003.
- [RoK00] Marcelo B. Rodrigues och Mario Karpowicz. A Readiness Analysis for the Argentine Air Force and the Brazilian Navy A-4 Fleet via Consolidated Logistics Support. I *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, december 2000.
- [RTZ00] Alex J. Ruiz-Torrez och Edgar Zapata. Simulation Based Operational Analysis of Future Space Transportation Systems. I *Proceedings of the 2000 Winter Simulation Conference*, Orlando, FL, USA, december 2000.
- [USN97] Technology for the United States Navy and Marine Corps 2000-2035. Becoming a 21st-Century Force. Volume 8: Logistics. Report. USA, 1997. Tillgänglig på http://www.nap.edu/html/tech_21st/lgindex.htm