

Peter Wickberg och Tomas Eriksson

# **Analys av Air Mobility**

## Kapacitetsberäkningar för strategisk flygtransport och lufttankning



TOTALFÖRSVARETS FORSKNINGSSINSTITUT

Försvarsanalys  
172 90 Stockholm

FOI-R--0741--SE

Maj 2003

ISSN 1650-1942

**Metodrapport**

Peter Wickberg och Tomas Eriksson

*Analys av Air Mobility*  
Kapacitetsberäkningar för strategisk flygtransport och lufttankning

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Försvarsanalys 172 90 Stockholm	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0741--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport
	<b>Forskningsområde</b> 2. Operationsanalys, modellering och simulering	
	<b>Månad, år</b> Maj 2003	<b>Projektnummer</b> E1416
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 22 Metod och utredningsstöd	
<b>Författare/redaktör</b> Peter Wickberg Tomas Eriksson	<b>Projektledare</b> Karin Mossberg Sonnek	
	<b>Godkänd av</b> Elisabeth André Turlind	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> Försvarsmakten	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Analys av Air Mobility Kapacitetsberäkningar för strategisk flygtransport och lufttankning		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> Begreppet air mobility består av flygtransport, lufttankning och stödverksamhet. Rapportens tyngdpunkt ligger på flygtransport. Analyser och modeller av flygtransport måste ta hänsyn till flygplanen med besättningar, laster, flygfält och flygrutter, samt stödjande markresurser. Syfte kan vara att stödja försvarsplanering och studieverksamhet, operativ planering eller krisplanering. Fokus i detta fall är på studieverksamhet för framtida materielanskaffning på air mobility-området.  Kapacitetsberäkning kan utföras med optimeringsmodeller, simuleringsmodeller eller beräkningsverktyg. Fem konkreta exempel har granskats: de amerikanska modellerna NRMO, ADANS och ACE samt studier genomförda av EU och FMV. För svensk del rekommenderas i detta fall att ett beräkningsverktyg används, eftersom de är relativt enkla att använda och ger en tillräckligt god noggrannhet.  En Excelbaserad modell i enlighet med rekommendationen finns också implementerad i form av Transportflygkalkyl – TPK. Modellen finns bifogad rapporten på CD-ROM.  Inom området lufttankning redovisas kunskapsinventering, förslag på beräkningsmetod och en jämförelse med plattformar baserade på militära transportflygplan och civila trafikflygplan, byggd på kapacitet och kostnadseffektivitet.		
<b>Nyckelord</b> Air mobility, strategisk flygtransport, transportflyg, lufttankning, logistik, kapacitetsberäkning, kostnadseffektivitet, studiemetodik, modellering, optimering, simulering		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 92 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Defence Analysis SE-172 90 Stockholm	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0741--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Programme Areas</b> 2. Operational Research, Modelling and Simulation	
	<b>Month year</b> May 2003	<b>Project no.</b> E1416
	<b>General Research Areas</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Subcategories</b> 22 Operational Analysis and Support	
<b>Author/s (editor/s)</b> Peter Wickberg Tomas Eriksson	<b>Project manager</b> Karin Mossberg Sonnek	
	<b>Approved by</b> Elisabeth André Turlind	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Air Mobility Analysis Estimating capacity of strategic airlift and air-to-air refuelling		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>Air mobility consists of airlift, air-to-air refuelling and air mobility support. The focus of this report is on airlift. Analysis and models of airlift must consider aircraft and crews, loads, airfields and routes, and ground support. Possible aims are support to defence planning and studies, operational planning or crisis planning. In this case, we focus on a Swedish study concerned with acquisition of future air mobility assets.</p> <p>Capacity can be analysed with optimization models, simulation models or simple calculation tools. Five examples have been reviewed: US models NRMO, ADANS and ACE, and studies by EU and Swedish FMV. Our recommendation is that a calculation tool be used, since they are relatively easy to use and provide enough accuracy in this case.</p> <p>An airlift capacity model – TPK – corresponding to the recommendation has been implemented in Excel, and is included with the report on a CD-ROM.</p> <p>For air-to-air refuelling, an overview of the area is presented together with a proposed analysis method and a comparison between platforms based on military airlifters and civilian airliners, with respect to capacity and cost efficiency.</p>		
<b>Keywords</b> Air mobility, strategic airlift, air transport, air-to-air refuelling, air refueling, logistics, capacity, cost efficiency, study methodology, modelling, optimization, simulation		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 92 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	



## Sammanfattning

Strategiska transporter har blivit ett allt mer uppmärksammat område i takt med att betoningen på internationella insatser har ökat. Strategisk flygtransport är ett av de områden där det råder kapacitetsbrist inom EU. Med anledning av detta, och att den nuvarande svenska transportflygflottan om åtta C-130 (Tp 84) Hercules har uppnått en hög ålder, har Försvarmakten startat en studie "air mobility". (Begreppet air mobility omfattar flygtransport, lufttankning och stödverksamhet.) Som analytiskt stöd till air mobility-studien har FOI inventerat utländska modeller och tillvägagångssätt för kapacitetsberäkning av på området, och på grundval av detta föreslagit hur motsvarande beräkningar skall ske i denna studie. Den här rapporten dokumenterar detta arbete.

Analys och kapacitetsberäkningar kan genomföras på olika sätt beroende på syftet: försvarsplanering och studieverksamhet som tar sikte på investeringsbeslut och organisationsutformning, operativ planering som syftar till att ta fram planer på hur befintliga förband och resurser skall användas i tänkbara situationer, och slutligen krisplanering som syftar till att ta fram planer för omedelbart genomförande under ett pågående förlopp. Datormodeller som tagits fram för ett av dessa användningsområden är inte nödvändigtvis lämpliga för ett annat. En annan klassificering är typ av modell, där tre huvudtyper förekommer: optimeringsmodeller (som kan indelas i matematisk programmering respektive heuristiska metoder), simuleringsmodeller och beräkningsverktyg.

Fem existerande modeller har gått igenom för att nå lärdom om lämplig beräkningsmetodik för air mobility-studien: tre amerikanska (NRMO, ADANS och ACE), en från EU (kapacitetsberäkningar för insatsstyrkan) och en svensk (ett nyligen genomfört arbete från FMV). En slutsats av denna inventering är att kapacitetsberäkningen i de flesta fall behöver ta hänsyn till fler faktorer än enbart flygplanen och lasterna, normalt också flygplansbesättningarna, flygfält och rutter under transportens gång, samt de markresurser som stödjer transportflyget.

För air mobility-studiens behov rekommenderas en modell i form av ett beräkningsverktyg, eftersom det svenska flygtransportproblemets storlek knappast motiverar användning av optimerings- eller simuleringsmodeller, med tillhörande kostnader för utveckling alternativt inköp och upplärning, samt framtagning av data. Däremot torde det vara värdefullt för air mobility-studien att kunna hantera flera olika alternativa flygplansflottor (även sådana med flera flygplanstyper) och flera olika scenarier.

En modell vid namn TPK (Transportflygkalkyl) som motsvarar dessa rekommendationer har tagits fram. TPK är Excelbaserad, är utformad för att vara förhållandevis lättanvänd och har bifogats denna rapport på CD-ROM. Modellen kan användas på två sätt: antingen specificeras flygplan och laster, och då beräknar TPK den tid som åtgår för transporten. Eller så specificeras laster och tillgänglig tid, och då beräknar TPK hur många flygplan av specificerade typer som krävs. I rapporten finns en beskrivning av TPK och de antaganden och förenklingar som har gjorts i modellen, en användarhandledning samt exempel från körningar.

För operativ planering och krisplanering, särskilt inom en större ram (såsom EU), rekommenderas dock att kompetens kring en datormodell motsvarande NATO:s

ADAMS (ett optimeringsverktyg baserat på heuristiska metoder) vidmakthålls inom Sverige.

Även inom den andra delen av air mobility, lufttankning, råder det brist inom EU. På detta område redovisas en kunskapsinventering och förslag på beräkningsmetodik, men ingen färdig modell. Väsentligt på detta område är att skilja mellan de olika klasser av lufttankningsflygplan som används – baserade på civila trafikflygplan respektive militära transportflygplan – eftersom dessa har mycket olika nyttjandeprofil. Det viktiga måttet för att utvärdera lufttankningsflygplan är mängden levererat bränsle på ett visst avstånd från basen. En översiktlig analys mot detta mått har gett vid handen att endast lufttankningsflygplan baserade på civila transportflygplan är kostnadseffektiva som dedicerade lufttankningsflygplan. Lufttankning kan vara en sidouppgift för militära transportflygplan, men de bör ej ges detta som huvuduppgift.

## Förord

Denna rapport har tagits fram inom ramen för FOI-projektet OA-metoder (OAM), som före årsskiftet 2002/03 hette "Kvalitativa och kvantitativa OA-metoder" (KOAM). Projektet, som är finansierat av Försvarsmakten inom ramen för Metod- och utredningsstöd, syftar till att konkret stödja FOI:s OA-grupper i metodfrågor som uppstår i den pågående verksamheten samt att bevara och öka kompetensen om operationsanalytiska metoder på FOI Försvarsanalys. En del av detta är trainee-uppgifter, där en yngre analytiker ges möjlighet att under handledning lösa en rimligt avgränsad uppgift som är av tydlig operationsanalytisk karaktär och där lösningen efterfrågas av t.ex. en OA-grupp. Den uppgift som har lett fram till denna rapport har varit av just detta slag, och initierades av KRI LUFT:s OA-grupp (före årsskiftet 2002/03 FTK:s OA-grupp) som stöd till studien "Air mobility", där man önskade hjälp med kapacitetsberäkningar.

Arbetet har resulterat i

- Modellen TPK implementerad i Microsoft Excel, som finns bifogad denna rapport på en CD-ROM.
- Denna rapport som beskriver området och bakgrunden till problemet, olika sätt att genomföra kapacitetsberäkningar, samt dokumenterar de valda räknemodellerna.
- Direkt stöd till Air mobility-studien.

Vi skulle vilja passa på att tacka de som varit till hjälp i arbetet med denna rapport. Inom FOI Försvarsanalys tänker vi framför allt på Anders Tavemark som kom med uppslaget till denna uppgift, som har varit vår kontaktperson mot Air mobility-studien och som har kommit med värdefulla synpunkter på rapporten, Krister Jensevik som inledningsvis var vår kontaktlänk med Air mobility-studien och försett oss med underlag och Björn Backström som har granskat rapporten i utkastform. Därutöver har Olof Ekman (tidigare sekreterare i Air Mobility-studien) och Åke Thorssell (ansvarig för fördjupningsområdet strategisk transport på HKV STRA UTV) försett oss med underlag och bidragit med värdefulla synpunkter under arbetets gång.





## Innehållsförteckning

<b>1. Bakgrund</b> .....	<b>10</b>
1.1. <i>Air mobility-studien och uppgiftsställning</i> .....	12
1.2. <i>Rapportens upplägg</i> .....	12
<b>2. Air mobility - ingående komponenter och verksamheter</b> .....	<b>14</b>
2.1. <i>Flygtransport – airlift</i> .....	15
2.2. <i>Lufttankning – air refueling</i> .....	17
<b>3. Dagens europeiska resurser för air mobility</b> .....	<b>22</b>
<b>4. Kapacitetsberäkningar - olika syften och metoder</b> .....	<b>25</b>
4.1. <i>Olika typer av datormodeller för transportproblem och kapacitetsberäkningar</i> .....	26
<b>5. Sammanfattning av beräkningsmetoder för kapaciteter i genomförda studier</b> ..	<b>30</b>
5.1. <i>NPS/RAND Mobility Optimizer (NRMO)</i> .....	31
5.2. <i>Airlift Deployment Analysis System – ADANS</i> .....	33
5.3. <i>RAND – Airfield Capacity Estimator (ACE)</i> .....	35
5.4. <i>EU – Kapacitetsberäkningar för insatsstyrkan</i> .....	38
5.5. <i>FMV Systemanalys – Lufttransportfunktion i de svenska luftstridskrafterna</i> .....	42
5.6. <i>Kombinationer av två eller flera modeller för kapacitetsberäkning</i> .....	43
5.7. <i>Rekommendationer avseende val av modell</i> .....	44
<b>6. Kapacitetsberäkningarnas plats i studieprocessen</b> .....	<b>47</b>
<b>7. Rekommenderad modell – Transportflygkalkyl TPK</b> .....	<b>51</b>
7.1. <i>Antaganden och förenklingar</i> .....	51
7.2. <i>Beräkning</i> .....	53
7.3. <i>Validering</i> .....	54
<b>8. Slutsatser</b> .....	<b>55</b>
<b>Referenser</b> .....	<b>58</b>
<b>Förkortningar och begreppsförklaringar</b> .....	<b>61</b>
<b>Bilaga 1: Data för några typer av transportflygplan</b> .....	<b>63</b>
<b>Bilaga 2: Att använda TPK</b> .....	<b>67</b>
<b>Bilaga 3: Exempel på resultat från körningar</b> .....	<b>74</b>
<b>Bilaga 4: Data för laster, scenarier</b> .....	<b>78</b>
<b>Bilaga 5: Lufttankning</b> .....	<b>82</b>
<b>Bilaga 6: Ansats till kostnadsjämförelse mellan olika typer av lufttankningsflygplan</b> .....	<b>91</b>

## 1. Bakgrund

Sedan Berlinmurens fall, Sovjetunionens sammanbrott och krigen i f.d. Jugoslavien har synen på utnyttjandet av den svenska Försvarsmakten successivt förskjutits från invasionsförsvar till utnyttjande av Försvarsmakten i internationella insatser. Detta har kraftigt ökat intresset för, och behovet av, olika former av strategiska transportresurser, både flyg- och sjötransporter. Ett tecken på detta är att Perspektivplaneringen har valt ”strategiska transporter” som ett av sina fördjupningsområden under de senaste två åren<sup>1</sup>.

Inledningsvis under 90-talet hade de svenska internationella insatserna en huvudsaklig inriktning mot deltagande med arméförband i fredsbevarande insatser, s.k. *peacekeeping*. Därefter har en successiv förskjutning i riktning mot mer krävande insatser, t.ex. fredsframtvängande insatser (*peace enforcement*) och ett bredare deltagande med förbandstyper skett, även sjö- och luftstridskrafter. Det främsta uttrycket för detta är uppbyggnaden av EU:s förmåga till krishantering inom ramen för det s.k. *Headline Goal*. Vid toppmötet i Helsingfors i december 1999 enades EU:s medlemsländer om målsättningen att år 2003 kunna sätta in en styrka av armékårs storlek (60.000 man) inom 60 dagar, tillsammans med nödvändiga flyg- och marinstyrkor, och kunna vidmakthålla denna styrka i ett år<sup>2</sup>. Styrkan skall kunna sättas in upp till 4000 km från Bryssel, vilket innebär Europa, Nordafrika, Mellanöstern och Kaukasus.

Man kan lägga märke till att krishantering i dess bokstavliga betydelse för svenskt vidkommande innebär en väsentligt högre ambitionsnivå än traditionella fredsbevarande insatser i ett antal avseenden, inte minst snabbhet i att få förband på plats. Detta kräver förändringar av det svenska tänkandet i flera avseenden, t.ex. tog det nästan fem månader att få den svenska bataljonen på plats i Kosovo 1999<sup>3</sup>. För att kunna få förband på plats inom rimlig tid, måste därför åtminstone delar av förbanden flygtransporteras; sjötransport av hela förbandet går i många lägen för långsamt. Mot bakgrunden av tillgången på och kostnaden för militära transportflygplan är det å andra sidan inte heller rimligt att flygtransportera hela förband med stridsvagnar eller stora mängder andra pansarfordon; detta kräver helt enkelt för stor flygtransportkapacitet. Även sjötransport har därför en viktig roll för strategisk transport i samband med krishantering, och i någon del av operationen förekommer självfallet även landtransporter.

Det kan konstateras att dagens transportkapacitet i Försvarsmakten ej är tillnärmelsevis tillräcklig för de behov som ställs av framtida krishantering. De enda resurserna på detta område är idag åtta stycken transportflygplan C-130 Hercules (svensk beteckning Tp 84), varav en skall byggas om för lufttankning. Dessa flygplan har idag uppnått en aktningsvärd ålder. Sverige är heller inte ensamt om detta problem. EU-ländernas försvarsmakter har samtliga brist på militär transportkapacitet både på havet och i luften<sup>4</sup>. Därför har strategisk flygtransport pekats ut som ett viktigt bristområdena inför skapandet av EU:s krishanteringsstyrka, vid sidan av lufttankning, sjötransport,

---

<sup>1</sup> PerP (2002), PerP (2003)

<sup>2</sup> EU (2000c)

<sup>3</sup> Granholm (1999)

<sup>4</sup> Annati (2000)

ledningsresurser, flygande underrättelseresurser, precisionsvapen och SEAD-resurser<sup>5</sup>. Trots att målsättningen med EU-styrkan är uttalat markoperativ, finns de stora bristerna alltså på andra områden, inte minst på flygsidan. Detta beror på att stora insatser utanför eget territorium kräver vissa resurser som normalt endast stormakter disponerar, och att USA har stått för en stor del av detta inom NATO.

Strategisk transport pekades 1999 också ut som ett område att åtgärda i NATO:s *Defence Capabilities Initiative* (DCI), vilket huvudsakligen syftade till att åtgärda brister inom den europeiska delen av NATO. Det bör också påpekas att detta inte är ett specifikt EU-problem eller europeiskt problem<sup>6</sup>. Även USA har problem både med bristande strategisk transportkapacitet och med en åldrande flygplanflotta<sup>7</sup>. Detta trots att USAF:s operativa flygtransportflotta (2001) om 104 C-5, 58 C-17, 88 C-141 och 418 C-130 Hercules kan förefalla nästan oändligt stor med svenska mått mätt. Dessutom har USA ambitionen att göra om huvuddelen av armén från dagens tunga förband till en medeltung styrka<sup>8</sup>. En viktig utgångspunkt är därför att den svenska bristen på militärt transportflyg ej utan vidare kompenseras av att andra länder har ett överskott på denna kapacitet.

Bl.a. med anledning av denna brist på förmåga till strategisk flygtransport avser f.n. sex EU-länder (Belgien, Frankrike, Luxemburg, Spanien, Storbritannien och Tyskland) anskaffa 180 transportflygplan av typen A400M, vilken f.n. utvecklas av Airbus Military<sup>9</sup>. Projektet har vissa problem efter att först Italien (16 flygplan, 2001) och sedan Portugal (3 flygplan, 2003) har lämnat projektet och Tyskland reducerade sin beställning (från 73 till 60 flygplan, 2002). Bedömningen just nu (i början av 2003) tycks vara att projektet trots allt går att genomföra, men till något ökat styckepris för flygplanen.

Som ett alternativ till köp av flygplan har ibland möjligheten att köpa flygtransporttjänster på den öppna marknaden förts fram<sup>10</sup>. Den tyngre transportkapacitet som idag finns tillgänglig för betalande militära kunder på marknaden består främst av tidigare sovjetiska flygplan, dels Il-76 och dels den jättelika An-124, som numer finns i rysk och ukrainsk ägo. När dessa flygplan faller för åldersstrecket kommer deras ägare rimligtvis inte att ha ekonomiska möjligheter att ersätta dem med nya flygplan. Detta visas också av den svårighet som det ukrainska projektet An-70, i kapacitet jämförbart med A400M och enligt tillverkaren billigare och med lägre teknisk risk, har haft att komma vidare från prototypstadiet.

Förutom strategiska flygtransporter, som är det mest uppmärksammade bristområdet, finns som nämndes ovan även brist inom området flygtankning (på engelska *air-to-air refueling*, AAR). Även detta område räknas in i det vidare begreppet *air mobility*, så som USA använder begreppet. Procentuellt sett torde de europeiska ländernas brist vara ännu större på detta område. Behovet av lufttankningsresurser torde dock variera mer än

---

<sup>5</sup> Solana (2001)

<sup>6</sup> Kaufman (2002)

<sup>7</sup> Tirpak (2001)

<sup>8</sup> Eriksson (2002)

<sup>9</sup> Airbus (2002), JDW (2002), JDW (2003b)

<sup>10</sup> Ekman (2002)

transportbehovet beroende på typ av operation, eftersom behovet av flygunderstöd och detta flygs baseringsmöjligheter ser olika ut i olika fall.

### ***1.1. Air mobility-studien och uppgiftsställning***

Försvarsmakten har tillsatt en studie med rubriken Air Mobility. Studien genomförs av en studiegrupp med C F7 som ordförande. HKV STRA har 2003 tagit över rollen från HKV KRI som uppdragsgivare, samtidigt som FTK (som inledningsvis bedrev studien) från årsskiftet 2002/03 har uppgått i KRI LUFT. De kapacitetsberäkningar och den kunskapsinhämtning som redovisas i denna rapport har genomförts som en del av projektet KOAM på FOI för att kunna fungera som stöd till den studien, men kan förhoppningsvis vara till nytta även i andra sammanhang.

Uppgiften till KOAM som FTK OA-grupp formulerade löd: ”Inventera vad som utförts inom logistikområdet flygtransporter vad gäller operationsanalytiska metoder. Föreslå metod som kan vara lämplig för studiens behov. Utveckla en (enklare) modell för kapacitetsberäkningar för studiens behov, t.ex. i Excel”.

Vid arbetet lades inledningsvis fokus på att söka upp ett antal utländska modeller, där beskrivning fanns tillgänglig, för att bygga en eventuell egen modell på stabilare grund. Även kontakter med utländska systerorganisationer utnyttjades i detta arbete. Dessa modeller, befintligt svenskt underlag och diskussioner med avnämare utgjorde sedan grund för en successiv implementering av en egen modell. Det slutliga valet av Excel (ihop med Visual Basic) som grund för beräkningsverktyget gjordes efter genomgången av de utländska modellerna.

### ***1.2. Rapportens upplägg***

Rapporten utgör dels en redovisning av ovanstående uppgift, och innehåller dels bakgrundsmaterial för att kunna vara läsbar även för andra än de som har varit direkt inblandade i Air mobility-studien.

De målgrupper vi i första hand har haft i åtanke när vi skrev rapporten är dels analytiker som skall genomföra kapacitetsberäkningar eller andra analyser inom detta område, och dels metodintresserade officerare med intresse för air mobility-området.

Rapportens tyngdpunkt ligger på transportdelen av air mobility, och i huvudtexten är det huvudsakligen strategiskt transportflyg som behandlas. Inom området lufttankning redovisas en kunskapsinventering (kapitel 2 och bilaga 5) och förslag på beräkningsmetodik (bilaga 5 och 6), men ingen färdig datormodell.

Kapitel 1 redovisar de strategisk/operativa förändringar som har gjort strategisk flygtransport och lufttankning mer intressant. Kapitel 2 redovisar delområden och olika syften med flygtransport och lufttankning, så som USA, Storbritannien och NATO ser på områdena. Kapitel 3 redovisar dagens europeiska resurser på området. Kapitel 4 går igenom de olika syften som kapacitetsberäkningar kan ha, och de olika metoder som kan användas. Kapitel 5 sammanfattar beräkningsmetoder i ett antal befintliga modeller och genomförda studier, främst utländska, som har inventerats för att komma fram till en lämplig metodik för air mobility-studien. Kapitel 6 visar på kapacitetsberäkningarnas roll i den totala studieprocessen, och sätter dem i relation till de övriga verksamheter som ingår.

Kapitel 7 redogör för den modell – Transportflygkalkyl TPK – som air mobility-studien rekommenderas använda. Kapitel 8 innehåller mer allmänna slutsatser från detta arbete. Bilaga 1 listar data för några vanligen förekommande transportflygplan i aktuell lastklass. Bilaga 2 är en användarhandledning för TPK, och bilaga 3 visar exempel på körningar. Bilaga 4 visar på data som används i TPK. Bilaga 5 och 6, slutligen, innehåller material om lufttankning.

## 2. Air mobility - ingående komponenter och verksamheter

Nu gällande svenska reglementen med relevans för flygtransporter<sup>11</sup> är helt inriktade på utnyttjande inom Sverige, med den väsentligt annorlunda ledningsorganisation som gällde före införandet av OPIL. Deras relevans för detta arbete är därför begränsad. För de internationella transporterna finns en mer uppdaterad, praktiskt orienterad svensk handbok som beskriver ansvarsförhållanden, beställningsförfaranden och liknande<sup>12</sup>. För mer övergripande information om hur *air mobility*-verksamhet i större skala indelas, organiseras och bedrivs har vi förlitat oss på utländska dokument, närmare bestämt amerikanska, brittiska och NATO-doktriner<sup>13</sup>.

I aktuell amerikansk doktrin beskrivs *air mobility* på nedanstående sätt<sup>14</sup>. Vi har valt att inte översätta texten, för att inte leda tankarna fel i de fall där innebörden i ett begrepp inte kan fångas i ett lika kort svenskt uttryck. I slutet av rapporten finns istället en förklaring av vissa amerikanska förkortningar och begrepp.

Air mobility is a system of systems that combines **airlift**, **air refueling**, and **air mobility support** assets, processes, and procedures into an integrated whole. This system is best depicted as a triad... Maximum effectiveness and efficiency are achieved through sound integration of all three of these components. Air mobility support provides the foundation of this triad. Airlift and air refueling can operate independently of one another, but neither can operate without air mobility support.

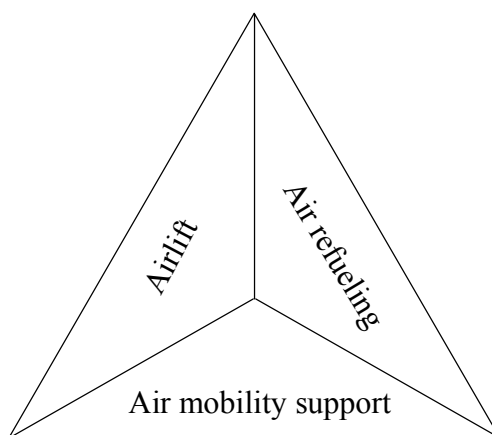


Figure 1. The air mobility triad

Värt att notera är alltså att man trycker hårt på stödverksamhetens betydelse, och även dess ”mjuka” faktorer. För att uppnå ett effektivt utnyttjande av transport- och lufttankningsresurserna måste också stödet (flygbaser, markpersonal, ledningssystem o.s.v.) utformas på ett lämpligt sätt, och beaktas när *air mobility*-verksamhet studeras.

<sup>11</sup> TpR Allm (1996), TpR Flyg (1998)

<sup>12</sup> H Int tp 2000 Fu

<sup>13</sup> AFDD 2-6 (1999), JP 4-01.1 (1996), AP3000 (1999), ATP-56A (2000)

<sup>14</sup> AFDD 2-6 (1999), JP 4-01.1 (1996)

## 2.1. Flygtransport – airlift

Flygtransport beskrivs och indelas på följande sätt av amerikanska flygvapnet<sup>15</sup>:

**Airlift** is the ability to transport personnel and equipment through the air. Airlift operations are typically classified as either **intertheater** or **intratheater** airlift. Operational Support Airlift (**OSA**) comprises a third and special classification of airlift operations. These operations are defined by the nature of the mission rather than the airframe used. Most aircraft are not exclusively assigned to one operational classification.

**Intertheater airlift** provides the air bridge linking a theater to other theaters and to the CONUS<sup>16</sup>.

**Intratheater airlift** provides the air movement of personnel and materiel within a geographic CINC's AOR. The two categories of intratheater movement are: 1) unit deployment, movement, and redeployment; and 2) continuing resupply of forward deployed units (sustainment).

**OSA** is a special classification of operations providing for the timely movement of limited numbers of priority personnel and cargo during wartime, as well as peacetime training for pilots and priority airlift of key decision makers.

In most cases, airlifters offload their payloads after they have landed. This highly effective and efficient delivery method is usually preferred because it minimizes the risk of injury to personnel and damage to equipment, eliminates payload dispersal, and offers an increased availability of resources. This method requires secure, suitable, and conveniently located airfields. **Intertheater airland operations** normally offload personnel and materiel at a main operating location within the theater. Subsequently, intratheater airlift moves designated personnel and equipment to forward operating locations, an employment concept referred to as a **hub and spoke** operation.

Another employment concept, **direct delivery**, involves airlifting personnel and materiel from ports of embarkation to forward operating locations in the theater, bypassing intermediary operating bases and the transshipment of payloads typically associated with hub and spoke operations.

Direct delivery uses **airland** or **airdrop** delivery methods. For example, personnel can be airlifted from CONUS and delivered directly to the theatre by airlanding them at a forward operating location or airdropping them as part of a strategic brigade airdrop operation. Direct delivery shortens in-transit time, reduces congestion at main operating bases, and enhances the sustainment of forward bases.

---

<sup>15</sup> AFDD 2-6 (1999)

<sup>16</sup> CONUS = kontinentala USA. Notera också att en "intratheater"-transport med den gängse amerikanska användningen av "theater" kan vara mycket lång, t.ex. från England till Balkan.



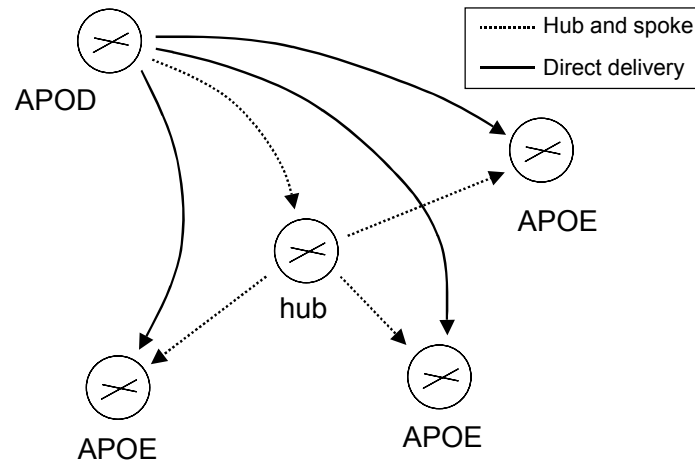


Figure 2. Hub and spoke versus direct delivery

If airland delivery is not practical, or surprise is a consideration, **airdrop** allows commanders to maneuver forces and materiel directly into otherwise unreachable areas including those behind enemy lines. However, airdrop requires extensive training, coordination, specialized equipment, rigging, and suitable drop zones. This delivery method can be successful in permissive and uncertain environments.

Den principiella uppdelningen av ett transportsystem i ”nav och ekrar” (hub and spoke) med omlastning kontra direkt förbindelse, är också välkänt från generell, civil logistik. Civil flygfrakt är normalt uppbyggd på den förstnämnda principen, vilket gör att det endast är tidsmässigt lönsamt med flygfrakt på relativt långa avstånd. Flaskhalsarna finns vanligen i flygplatsernas terminaler, och det är vanligt med lång hanterings- och genomloppstid<sup>17</sup>.

Vidare skiljer man i amerikansk doktrin på några olika grundläggande uppdrag<sup>18</sup>:

- Passenger and cargo movement
- Combat employment and sustainment
- Aeromedical evacuation
- Special operations support

I brittisk flygdoktrin används något annorlunda begrepp, och görs en lite annan uppdelning<sup>19</sup>:

AT operations can be divided into two broad categories:

- Strategic Airlift. Strategic (or inter-theatre) airlift is the carriage of passengers and cargo between theatres of operation<sup>20</sup>.

<sup>17</sup> Lumsden (1998)

<sup>18</sup> AFDD 2-6 (1999)

<sup>19</sup> AP3000 (1999)

- Tactical Airlift. Tactical (or intra-theatre) airlift is the carriage of passengers and cargo within a theatre of operation.

I den brittiska doktrinen betonas också att transportflyg är sårbart:

**Vulnerability.** Although increasing numbers of AT aircraft are equipped with EW self-protection systems, transport aircraft tend to be unarmed, relatively slow and less manoeuvrable than multi-role combat aircraft. Consequently, in a conflict environment they need a favourable air situation or fighter escort if they are to operate with peak efficiency. If this is not available, transport aircraft can attempt to elude defences by a combination of evasive action and flying at low level.

För att på ett korrekt sätt behandla flygtransporter i en kapacitetsberäkning bör man därför i respektive fall ha klart för sig vilket/vilka användningssätt av de ovan uppräknade som i första hand är aktuella, och om några helt kan bortses från eller behandlas mer schablonmässigt.

## ***2.2. Lufttankning – air refueling***

Den amerikanska lufttankningsförmågan anskaffades ursprungligen för att stödja det strategiska bombflyget, men har successivt fått bredare uppgifter. Lufttankning beskrivs och indelas idag på följande sätt<sup>21</sup>:

**Air refueling**, the refueling of an aircraft, known as a receiver, in-flight by another aircraft, referred to as a tanker, supports the national military strategy across the spectrum of military operations. Because air refueling increases the range of other aircraft, expeditionary air forces may be based at locations well outside the range of an enemy threat. Additionally, all tanker aircraft are capable of performing an airlift role and are used to augment core airlift assets.

Air refueling acts as a force enabler permitting aircraft to operate beyond their unrefueled ranges. It also acts as a force multiplier permitting larger payloads and added endurance, significantly increasing the combat potential of the receiver aircraft.

**Intertheater air refueling** supports the long-range movement of combat and combat support aircraft between the CONUS and a theater, or between theaters. Intertheater air refueling operations also support global attack missions and airlift assets in an air bridge. Air refueling enables deploying aircraft to fly non-stop to their destination, reducing closure time.

---

<sup>20</sup> Notera att den brittiska användningen av theatre här avser ”*theatre of operation*”, eller operationsområde, vilket normalt avser ett mindre geografiskt område (t.ex. en del av Balkan) än vid en amerikansk användning av begreppet (t.ex. hela Europa).

<sup>21</sup> AFDD 2-6 (1999), AFDD 2-6.2 (1999)

**Intratheater** air refueling supports operations within a combatant commander's AOR by extending the range, payload, and endurance of combat and combat support assets

There are six basic missions of air refueling.

1) Single Integrated Operation Plan (SIOP) Support<sup>22</sup>

Air refueling provides the nuclear-equipped bomber force the ability to deliver their payload to any location in the world and recover to a suitable reconstitution base. Through air refueling, the range and endurance of bomber aircraft is significantly increased, further enhancing their flexibility to strike at distant targets. Bombers may be launched during periods of increased tension and proceed to orbit areas well beyond the range of enemy missiles or attack aircraft. The bombers can maintain this orbital status until they are directed to fulfill their mission or are recalled.

2) Global Attack Support

Air refueling assets can be employed to give strike platforms the ability to reach any target globally without relying on intermediate basing locations. This provides the ability to rapidly strike targets in distant locations and recover to safe areas. The ability to perform long range strike missions from CONUS is particularly crucial.

3) Air Bridge Support<sup>23</sup>

An air bridge creates an air line of communication linking the CONUS and a theater, or any two theaters. Air refueling makes possible accelerated air bridge operations since en route refueling stops are reduced or eliminated. It reduces reliance on forward staging bases, minimizes potential en route maintenance delays, and enables airlift assets to maximize their payloads. This significantly increases the efficiency of airlift operations by making possible the direct delivery of personnel and materiel.

4) Deployment Support

Air refueling assets can extend the range of deploying combat and combat support aircraft, allowing them to fly non-stop to an AOR/JOA. This capability increases the deterrent effect of CONUS-based forces and allows a rapid response to regional crises. The capability of air assets to fly non-stop to a theater may eliminate the need to obtain landing or overflight rights from foreign countries that may want to remain neutral in a given conflict. Successful execution of the AEF concept, for example, is heavily dependent on the capabilities rendered through deployment support.

---

<sup>22</sup> SIOP är den gemensamma amerikanska planen för utnyttjande av de kärnvapenbärande styrkorna.

<sup>23</sup> Notera i flygplansbeskrivningarna i bilaga 1 att inte alla typer av transportflyg kan lufttankas. C-17 och C-141 kan dock lufttankas.

## 5) Theater Support to Combat Air Forces

Intratheater air refueling enables fighter aircraft to increase their range, endurance, and flexibility. Theater-based air refueling assets bolster the security of combat and combat support air assets by allowing them to be based beyond the range of enemy threats.

Air refueling increases the endurance of air combat support assets. AWACS, JSTARS, RIVET JOINT, and airborne battlefield command and control center (ABCCC) are among the many crucial airborne platforms used to help manage, direct, and conduct combat operations. Without in-flight refueling, they have limited endurance and require extensive re-generation periods between sorties. Extending endurance reduces the number of sorties required, decreases ground support requirements at forward locations, and may reduce the number of aircraft deployed to an AOR.

## 6) Special Operations Support

Air refueling enables special operations forces (SOF) to maintain a long-range operating capability. The US Air Force maintains air refueling crews who are trained to air refuel fixed and rotary-wing special operations aircraft. Successful mission completion requires special equipment, specialized crew training, and modified operational procedures.

Uppenbart är därför att det behöver klargöras för vilka uppdrag en svensk lufttankningsstyrka avses, antingen för nationellt behov eller som ett bidrag till en europeisk styrka. Vissa av de amerikanska uppdragen blir mindre aktuella eller faller bort helt då vissa typer av styrkor saknas, och den geografiska ambitionsnivån är mer begränsad. (USA har ju att ta hänsyn till avstånden över Atlanten respektive Stilla havet.) Å andra sidan kan den kortare räckvidden hos många europeiska flygplan i vissa lägen behöva kompenseras med lufttankning. Rimligtvis är det i första hand stöd till taktiska flygstridskrafter i ett operationsområde (5) som är aktuellt. Även stöd till långräckviddiga attackuppdrag (2) och stöd till specialoperationer (6) torde kunna vara aktuellt. Endast i undantagsfall torde stöd till luftbro (3) och stöd till omgruppering (4) vara aktuellt, eftersom avstånden sällan blir så långa, och mellanlandning dessutom kan tillgripas.

Genomförandet av lufttankningsoperationer beskrivs på följande sätt i amerikansk doktrin och NATO-publikationer<sup>24</sup>:

---

<sup>24</sup> AFDD 2-6.2 (1999), ATP-56A (2000)

Air refueling is normally conducted in one of two ways: in an anchor area, or along an air refueling track.

In **anchor areas**, the tanker flies a racetrack pattern within defined airspace while waiting for receiver aircraft to arrive. Once joined with the receiver, the tanker then flies in an expanded racetrack pattern while refueling the receiver. Anchor air refueling is normally used for intratheater operations where airspace is confined or where receivers operate in a central location. Anchor areas are best suited for small, highly maneuverable aircraft, especially in marginal weather conditions.

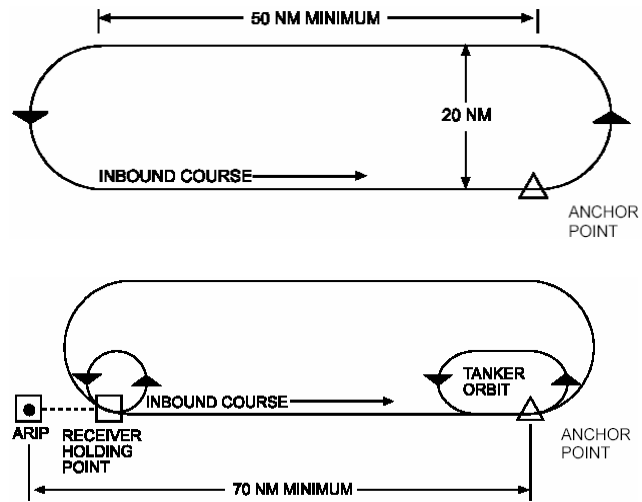


Figure 3. Air refueling using anchor areas.

Air refueling accomplished along an **air refueling track** is the preferred method for intertheater operations. The tanker rendez-vous can be accomplished in two ways. The tanker can orbit at a designated point along the track awaiting the receiver's arrival, or the tanker and receiver can be preplanned to simultaneously arrive at a designated rendezvous point. In certain circumstances, it may be advantageous to combine the anchor and track methods on a single mission. This can be especially useful when multiple strike packages refuel with multiple tanker formations.

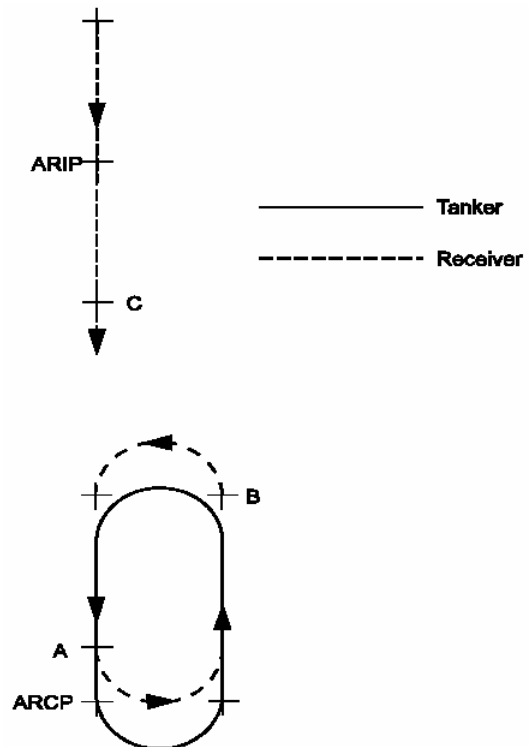


Figure 4. Air refueling track

### Tanker Formation

**Refueling.** Many missions require tankers to refuel their receivers while in a multiple ship formation. Mission requirements may dictate several different types of tankers and multiple receiver types in the same formation.

Formation refueling is one of the most demanding operations due to the number of aircraft in a confined block of airspace and because receiver aircraft may be constantly joining and leaving the formation. Cell formations operations may alleviate airspace constraints by allowing the same number of tankers to operate in less vertical airspace than if they were to operate individually.

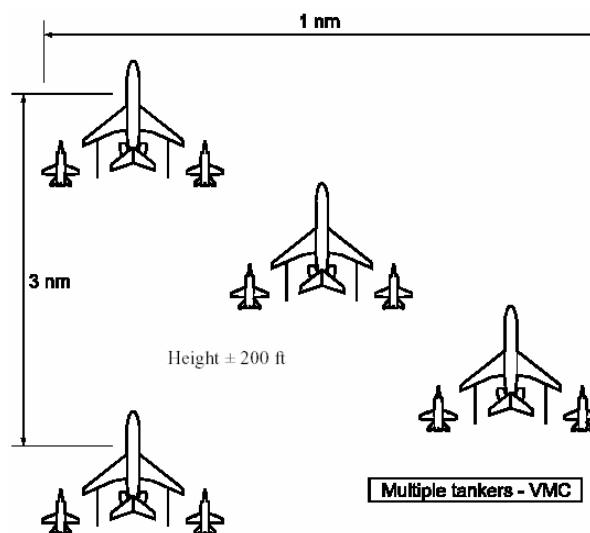


Figure 5. Refueling from a tanker formation.

Detaljer kring det praktiska genomförandet, vilket bl.a. inkluderar vilka flygplan-kombinationer som är godkända, återfinns i en gemensam NATO-publikation vid namn ATP-56(A)<sup>25</sup>. I den kan bl.a. illustrationer av ovanstående och andra formationer återfinnas. De olika typerna av tekniskt olika lufttankningssystem som förekommer förklaras närmare i bilaga 5, där analys av lufttankning presenteras. Huvudtexten i rapporten behandlar huvudsakligen flygtransport.

<sup>25</sup> ATP-56A (2000)

### 3. Dagens europeiska resurser för air mobility

Som nämnts tidigare har strategisk transport pekats ut som ett av de tre viktigaste bristområdena inför skapandet av EU:s krishanteringsstyrka. För att förbättra denna kapacitet, och för att stödja europeisk flygindustri, har sex EU-länder (Belgien, Frankrike, Luxemburg, Spanien, Storbritannien och Tyskland) och Turkiet har gått ihop för att utveckla transportflygplanet A400M inom Airbus Military<sup>26</sup>. Projektet har dock varit aktuellt ett antal år före EU:s krishanteringsstyrka skapades, och gick då under namnet *Future Large Aircraft* (FLA)<sup>27</sup>. Efter att Italien och Portugal har hoppat av projektet, lyder beställningen för närvarande på 180 flygplan beställts, varav Tyskland svarar för den största beställningen med 60 flygplan (från början 73, men i slutet av 2002 minskades detta antal<sup>28</sup>). I nuläget planeras första flygning till 2005 och serieleveranser till 2007.



Figur 6. Det europeiska transportflygplanet A400M, som f.n. utvecklas av Airbus Military.

Förutom strategiska flygtransporter, som är det mest uppmärksammade bristområdet, finns även brist inom det näraliggande området flygtankning (på engelska *air refueling* eller *air-to-air refueling*, AAR). Även detta område räknas in i det vidare begreppet *air mobility*, som USA använder begreppet. Procentuellt sett torde de europeiska ländernas brist vara ännu större på detta område. Behovet av lufttankningsresurser torde dock variera mer än transportbehovet beroende på typ av operation.

De air mobility-resurser som de större EU-länderna har idag, och de flygplan de beställt, framgår av tabell 1 nedan<sup>29</sup>. Data för transportflygplanen återfinns i bilaga 1, och för lufttankningsflygplanen i bilaga 5.

---

<sup>26</sup> Airbus (2002), JDW (2003b)

<sup>27</sup> WEU (1995)

<sup>28</sup> JDW (2002)

<sup>29</sup> Annati (2000), Military Balance (2002), JDW (2002), JDW (2003a)

Land <sup>30</sup>	Frankrike	Italien	Spanien	Storbritannien	Tyskland
Transportflyg ≈ 20 ton idag	14 C-130H 72 C-160	9+2 C-130H 7 C-130J	7 C-130H 2 C-295	27 C-130K 23 C-130J (10 VC-10)	83 C-160
Transportflyg > 20 ton idag				4 C-17A	
Tungt person- tpflyg idag	11 C-135FR 2 A-310	2 A-319J	3 B-707	9 Tristar	(2 B-707) 7 A-310
Lufttankning idag <sup>31</sup>	3 KC-135R (9 C-160)	2+2 B-707TT (7 C-130 J)	5 KC-130H (3 B-707)	(6 Tristar) 19 VC-10	(4 A-310 MRTT)
Beställda flygplan	40 A400M	13 C-130J <sup>32</sup> 4 C-130J-30 12 C-27J 4 B-767TT	7 C-295 <sup>33</sup> 27 A400M	ev. 11 C-17 25 A400M 20 FSTA(tanker) <sup>34</sup>	60 A400M

Tabell 1. Air mobility-resurser i de större EU-länderna

Endast mer betydande air mobility-resurser har tagit med i tabell 1 och 2, ej mindre passagerar-, VIP- eller fraktflygplan. (Bla. innehav av DC-8 och DC-9 är ej medtagna.) Motsvarande situation i ett urval av mindre europeiska länder se ut som följer<sup>35</sup>:

Land	Belgien	Danmark	Finland	Neder- länderna	Norge	Sverige
Transportflyg ≤ 20 ton idag	11 C-130H	3 C-130H		2 C-130H	6 C-130H	8 C-130E/H
Transportflyg ≈ 20 ton idag						
Persontflyg idag	2 A310					
Lufttankning idag				2 KDC-10		
Beställda flygplan	7 A400M <sup>36</sup>	3 C-130J				

Tabell 2. Air mobility-resurser i några mindre europeiska länder

De mindre länderna har i huvudsak ännu inte bestämt sig för att öka sin kapacitet, trots att den i de flesta fall är otillräcklig.

Intressant är att notera att egen militär transportkapacitet över 20 ton idag saknas helt i Europa, med undantag för Storbritanniens fyra leasade C-17. Samtliga större länder

<sup>30</sup> "A+B" i tabellen avser A aktiva och B förrädsställda flygplan. Siffror inom parentes (...) avser flygplan som även återfinns under annan rubrik, d.v.s. kombinerade transport- och lufttankningsflygplan. *Kursiv stil* avser flygplan som helt eller delvis kommer att tas ur tjänst när beställda flygplan levereras.

<sup>31</sup> I denna uppräknings bortses från möjligheten att använda en balkplacerad lufttankningsutrustning på vissa stridsflygplan, eftersom den bränslemängd som kan överföras i sammanhanget är obetydlig. Aktuella flygplan som är utrustade på detta sätt är tyska och italienska Tornado och franska Etendard/Super Etendard, se ATP-56A (2000).

<sup>32</sup> Under leverans, ordern avsåg totalt 20 fpl.

<sup>33</sup> Under leverans, ordern avsåg totalt 9 fpl.

<sup>34</sup> Future Strategic Tanker Aircraft, lufttankningsflygplan baserade på endera B767-300ER eller A330-200 som beräknas tas i tjänst från 2008, och som upphandlats under intressanta former, via ett 27-årigt s.k. *Private Finance Initiative* (PFI). Se JDW (2003a).

<sup>35</sup> Military Balance (2002)

<sup>36</sup> Samt ett för Luxemburg, som kommer att opereras av belgiska flygvapnet.



planerar dock att öka denna kapacitet. Denna brist bör ses mot bakgrund av att förbanden i EU:s krishanteringsstyrka innehåller åtskillig materiel som är ”*outsize cargo*”, d.v.s. sådan last som är för stor eller för tung för att rymmas i en C-130. Exempel på materiel i denna kategori är helikoptrar (även utan rotor), luftvärnssystem, vissa markfordon till flygbaser, och många pansarfordon. I vissa scenarier är det av tidsskäl ej möjligt att sjötransportera all denna materiel.

Lufttankningsförmågan, som är ganska begränsad - endast Storbritannien har några nämnvärda mängder av dedicerade lufttankningsflygplan - kan dessutom i huvudsak uppdelas i två kategorier av flygplan:

- C-130 och C-160 i lufttankningsversion, som har relativt låg kapacitet och långsam hastighet, och därför ej är så lämpliga för lufttankning av stridsflyg.
- Gamla flygplan, som Boeing 707, VC-10 och Tristar, som inom en snar framtid behöver omsättas p.g.a. ökande driftskostnader.

Dessutom kan man notera att den lilla europeiska lufttankningsflottan är spridd på sex olika flygplantyper! Av skäl som förklaras i bilaga 5 fungerar dessutom långt ifrån alla kombinationer av tankflygplan och mottagande flygplan. Exempelvis så är det bara nederländska KDC-10, av ovan uppräknade flygplantyper, som kan tanka F-16.

## 4. Kapacitetsberäkningar - olika syften och metoder

Följande tre huvudsakliga områden för analys av strategisk rörlighet kan urskiljas<sup>37</sup>:

- Försvarsplanering
- Operativ planering
- Krisplanering

De tre områdena skiljer sig åt avseende syften, och vilken form av analys som behöver genomföras.

I fallet **försvarsplanering** är syftet att lämna underlag för investeringsbeslut och organisationsutformning<sup>38</sup>. Det problem som står i centrum är hur givna resurser skall användas på längre sikt, eftersom det tar lång tid att förverkliga investeringar i tung materiel som kanske ännu inte är utvecklad. Frågeställningen blir därför vilka transportresurser som behövs för att tillgodose ett framtida behov, och därför brukar scenarier vara en kärna i all försvarsplanering. Analysbehovet blir därför att ta fram nödvändiga transportresurser för ett givet scenario, alternativt att utvärdera hur väl en uppsättning transportresurser tillgodoser behoven inom respektive scenario. Inom försvarsplanering är det också nödvändigt att kunna behandla flera olika alternativ i flera scenarier. Däremot kan bedömningen oftast göras något mer översiktligt och mindre detaljerat än vid operativ planering eller krisplanering. Ett exempel: som stöd till en EU-operation på Balkan skall flygtransport ske till två flygplatser i operationsområdet. Om detta är ett av flera scenarier i försvarsplanering, torde det vara tillräckligt att behandla dessa som ”typflygplatser” (större flygplats, mindre flygplats, ...) med representativa data, till skillnad från krishantering, där man behöver veta exakta flygplatser och även små skillnader i kapacitet mellan de tillgängliga flygplatserna kan behöva tas hänsyn till i planeringen.

I Sverige är perspektivplaneringen den centrala verksamheten inom försvarsplaneringen, och den stöds med underlag från **studieverksamheten**. Resultaten omsätts i form av försvarsmaktsplaner där bl.a. materielplaneringen ingår.

Den här rapporten handlar i huvudsak om analysstöd till försvarsplanering och studieverksamhet. Det finns dock likheter mellan analysmetoder för olika planerings-syften, så även en del andra syften kommenteras fortsättningsvis.

**Operativ planering** syftar till att ta fram planer för hur befintliga förband och resurser skall användas i olika tänkbara operationer. Tidsperspektivet är alltså kortare än i fallet försvarsplanering, och de tyngre resurserna kan inte varieras, men å andra sidan behöver planerna vara avsevärt mer detaljerade. Analysen av transportresursernas användning syftar bl.a. till att få fram en realistisk tidsplan för transporter i operationen, och att utnyttja givna resurser på ett effektivt sätt. Brister som konstateras i den operativa

---

<sup>37</sup> Schank et al. (1991)

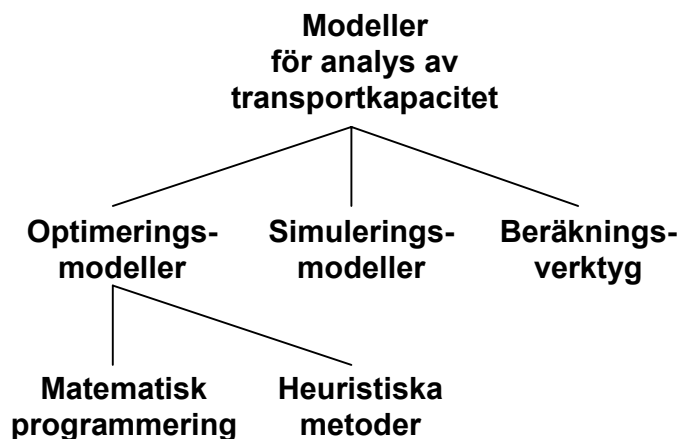
<sup>38</sup> Den metodik som används för svensk försvarsplanering i form av Perspektivplaneringen beskrivs i PerP (2003), s. 16-19.

planeringen återförs vanligen till försvarsplaneringen, för att förhoppningsvis avhjälpas genom framtida investeringar eller andra åtgärder.

**Krisplanering** innebär att planera för ett omedelbart genomförande, d.v.s. operativt stabsarbete. Detta till skillnad mot operativ planering, där planerna skall "läggas på hyllan" tills de behövs. Själva analysbehovet, avseende in- och utdata är dock likartat. En skillnad kan dock vara att en mer detaljerad matchning av transportresurser och specifika laster kan behövas, för att utfärda ordrar. Den stora skillnaden är dock den kortare tid som står till förfogande för själva planeringen. Om operativ planering finns genomförd för en likartad situation, används denna som utgångspunkt, och krisplaneringen handlar endast om att detaljanpassa planen till den situation som uppstått.

#### ***4.1. Olika typer av datormodeller för transportproblem och kapacitetsberäkningar***

De flesta större datormodeller som tagits fram för analys av transportkapacitet kan indelas i två huvudgrupper: **optimeringsmodeller** och **simuleringsmodeller**. Därutöver finns mindre datormodeller i form av **beräkningsverktyg**, ofta som kalkylark. Optimeringsmodellerna syftar till att tala om en "bästa" användning av resurserna, t.ex. vilka flygplan som skall flyga vilka rutter med vilka laster. Simuleringsmodeller å andra sidan (s.k. diskret simulering), spelar upp ett förlopp under vissa förutsättningar, och visar helt enkelt vad som resultatet blir under dessa förutsättningar. Dessa två kategorier är inte helt ömsesidigt uteslutande, för optimering av små delproblem kan mycket väl ingå i en simuleringsmodell.



Figur 7. Olika typer av modeller för analys av transportproblem

##### **4.1.1. Optimeringsmodeller**

Optimeringsmodeller finns av två huvudsakliga typer, som bygger på **matematisk programmering**<sup>39</sup> respektive **heuristiska metoder**<sup>40</sup>. Matematisk programmering ger en möjligheten att få en "äkta" optimal lösning, men kräver en noggrann matematisk formulering av problemet, vilket kan kräva en hel del förberedande bearbetning av ett

<sup>39</sup> Mattock et al. (1995), Baker et al. (2002)

<sup>40</sup> Solanki & Southworth (1991), Rappoport et al. (1992)

typiskt flygtransportproblem. Det är denna typ av metoder, och framförallt delområdet linjär programmering, som brukar vara det som lärs ut i grundkurser i det matematiska ämnet optimeringslära, vilket kan sägas vara den civila, akademiska variant av operationsanalys man vanligen hittar i Sverige<sup>41</sup>. Vi tänkte inte här närmare beskriva matematisk programmering som metod, utan hänvisar den intresserade till RAND:s rapport<sup>42</sup> eller läroböcker på området, som finns i både enklare<sup>43</sup> och svårare<sup>44</sup> versioner. Om det är ett stort problem som skall lösas, kan lösningen dessutom bli beräkningsmässigt krävande. De programpaket som används för att lösa stora optimeringsproblem har normalt funnits på arbetsstationer i UNIX-miljö snarare än PC-miljö. Ett exempel på en optimeringsmodell som bygger på matematisk programmering är NRMO, som beskrivs senare i rapporten.

Modeller som bygger på heuristiska metoder använder sig av olika "tumregler", upprepade ett stort antal gånger, för att hitta en "bra" lösning. Jämför med en tumregel för att navigera sig genom en labyrint: "ta alltid av åt höger vid varje vägskäl där detta är möjligt, vänd om vid återvändsgränder"<sup>45</sup>. Denna typ av modeller kan vara enklare att tillämpa på transportproblem än de som bygger på matematisk programmering, men det finns å andra sidan ingen garanti för att de hittar den "bästa" lösningen. Om "tumreglerna" däremot är klokt valda, kan skillnaden mellan "bra" och "bäst" vara utan praktisk betydelse. En modell som bygger på heuristiska algoritmer är det amerikanska *Airlift Deployment Analysis System* (ADANS), ursprungligen utvecklad för dåvarande *Military Airlift Command* (MAC). Under namnet *Allied Deployment and Mobility System* (ADAMS) är det NATO:s standardverktyg för flygtransportplanering inom operativ planering och krisplanering, och körs i vanlig PC-miljö. Värt att notera är att ADANS använder olika heuristiska regler för operativ planering och krisplanering, som i tekniska termer klassas som "greedy heuristic" respektive "insertion heuristic"<sup>46</sup>. Anledningen till detta är att olika "tumregler" är tillämpliga när alla laster är kända vid ett och samma tillfälle, och en transportplan skall byggas från noll (operativ planering) respektive när laster tillkommer successivt och skall infogas i en existerande plan, som löpande uppdateras (krisplanering). Detta illustrerar en aspekt av heuristiska metoder – att de normalt måste skraddarsys för det enskilda problemet för att fungera väl. Nämnas kan att de datorverktyg som används av civila flygbolag för schemaläggning och optimering av flygrutter oftast använder sig av denna typ av metoder.

#### 4.1.2. Simuleringsmodeller

Olika simuleringsmodeller skiljer sig mest åt genom hur detaljerad simuleringen är, och hur de kommunicerar med omgivningen. Äldre simuleringsmodeller producerade oftast en resultatlista, som kunde vara svårtolkad, medan senare tiders modeller ofta har

---

<sup>41</sup> Metoden har dock sitt ursprung inom den militära operationsanalysen, och linjär programmering med den s.k. simplexmetoden infördes 1947 av RAND-medarbetaren George Dantzig som arbetade med planeringsproblem inom US Airforce.

<sup>42</sup> Mattock et al. (1995)

<sup>43</sup> Exempelvis Edlund (1999), en bok framför allt avsedd att användas i ekonomutbildning.

<sup>44</sup> Hillier & Lieberman (1995), Lundgren et al. (2001) och åtskilliga andra böcker avsedda för matematikkurser i optimering.

<sup>45</sup> Lite fylligare, men ändå grundläggande beskrivning av olika heuristiska metoder finns i olika läroböcker, t.ex. Pidd (1996).

<sup>46</sup> Schank et al. (1991), Solanki & Southworth (1991)

inkluderat grafiska gränssnitt, vilket ofta är betydligt mer tilltalande för användaren. (Att det finns ett grafiskt gränssnitt är dock ingen garanti för att den bakomliggande simuleringsmodellen är bättre än i en gammal modell!) Variationer i detaljeringsgrad kan illustreras av två representanter ur en äldre generation av amerikanska modeller<sup>47</sup>.

Modellen MIDAS hanterade transportproblem på en högre operativ nivå, med Pentagons planerare som användare, och täckte därför både sjö- och flygtransport. Dock simulerades inte enskilda flygplanrörelser, utan flygtransportkapaciteten hanterades som ett "rör" mellan start och slutpunkt, som en viss mängd last per dag kunde "hällas" igenom. (Man bör minnas att denna modell togs fram i en tid där förstärkning av styrkorna i Europa vid ett sovjetiskt anfall var det övergripande planeringsproblemet för USA, snarare än att som idag planera inför många olika konflikter som kan inträffa på olika avstånd från hemlandet.) Modellen FLOGEN å andra sidan, som användes av dåvarande flygtransportkommandot MAC, simulerade enskilda de enskilda flygplanens rörelser. Detta innebar att FLOGEN, trots att den hanterade ett snävare avgränsat problem (enbart flygtransport), krävde betydligt mer datorkraft. Idag är inte själva processorkapaciteten en begränsande faktor på samma sätt som förr, men en mer detaljerad simulering medför fortfarande att tiden och kostnaden för att utveckla och verifiera programvaran ökar. Om behovet av indata dessutom ökar, kan den totala kostnaden för att använda modellen stiga markant.

Det är inte ovanligt att simuleringsmodellen används för att genomföra många körningar med vissa variationer, för att utforska konsekvenserna av olika operationskoncept, tilldelningar av transportresurser och så vidare. Det typiska simuleringsmodeller då kan svara på är t.ex. hur lång tid transporterna tar, efter hur lång tid vissa kritiska förband är framme och var flaskhalsarna i transportapparaten uppstår.

Det kan verka som om optimeringsmodellerna normalt är att föredra eftersom de i grunden är utformade för att tala om vad som är "bäst" med en enda körning. I de fall där modellanvändning också syftar till problemförståelse hos den som kör modellen, snarare än en "färdigkokad" lösning, behöver dock inte detta vara fallet. Den förlopps-presentation eller resultatredovisning som en simuleringsmodell kan ge, kan vara till större nytta för denna problemförståelse. Detta gäller särskilt i ett tidigt skede av arbetet, då problemställningen kanske inte är särskilt exakt, och där många parametrar ännu inte är upplåsta – exempel på frågeställningar i ett tidigt skede kan vara "skall en enda eller två olika flygplantyper anskaffas?" eller "skall operationen bygga helt på flygtransporterade förband eller ska även sjötransport användas?". Svårigheten att använda en renodlad optimeringsmodell i detta skede kan illustreras med ett exempel från operativ planering. Det är brukligt att först lägga upp den övergripande operationsplanen i form av en tidsplan, och först därefter försöka tillgodose transportbehoven med givna resurser. Inte sällan visar det sig då att tidsplanen inte riktigt kan innehållas, och därför måste planerna modifieras i ett iterativt stabsförfarande, tills den övergripande operationsplanen och transportresurserna stämmer överens med varandra. Om det inledande problemet angrips med en optimeringsmodell kan svaret helt enkelt bli "går inte", medan en simuleringsmodell kan visa hur mycket som faktiskt gick att transportera inom givna tidsramar. Det senare svaret kan vara till mer nytta i den fortsatta processen.

---

<sup>47</sup> Schank et al. (1991)

### 4.1.3. Beräkningsverktyg

Den sista kategorin datormodeller är beräkningsverktygen. De löser problem som är tillräckligt små för att sammanfattas i några formler och logiska beslutsregler, och eventuellt en databas. Fördelen med dessa är att de oftast är lätta att konstruera och använda. Ofta visar det sig att denna typ av relativt enkla verktyg, klokt utformade, kan vara nog så användbara som stora datorverktyg för översiktliga analyser. Vårt intryck är att denna typ av verktyg under de senaste åren har blivit alltmer vanliga även i länder med stora resurser som Storbritannien och USA. Man kan kanske uttrycka det på så sätt att datormodeller för militär användning, istället för att utgöra en homogen kategori, har polariserats mellan allt större, mer specialiserade datormodeller å ena sidan, och små modeller baserade på relativt lättanvända standardprogram som t.ex. Microsoft Excel å den andra.

När det specifikt gäller datormodeller för militära transporter i modellernas hemland framför andra, USA, kan man enkelt uttrycka det på sådant sätt att utvecklingen har gått från optimeringsmodeller till simuleringsmodeller (under 70- och 80-talen) och sedan delvis tillbaka till optimeringsmodeller igen under 90-talet, samtidigt som dessa kompletteras med enklare beräkningsverktyg. Exempel på nyare amerikanska optimeringsmodeller är de ovan nämnda NRMO och ADANS.

Inom försvarsplanering/studieverksamhet, som är huvudområdet för denna rapport, syftar användandet av datormodeller och beräkningsverktyg normalt dels till att uppnå förståelse för problemet i ett tidigt ostrukturerat skede, och dels till värdering – att kunna jämföra några slutligen utvalda alternativ med varandra. I denna värdering är det brukligt att värderingen skall ske inom ramen för ett antal olika uppgifter eller scenarier. Önskvärt är därför att ha ett verktyg med sådan flexibilitet att det lätt går att variera såväl flygplanalternativ som scenario.

Slutsatsen för svensk del, med inriktning på air mobility-studien, blir därför att de stora datormodeller som USA använt förmodligen är helt onödiga att använda. Antalet flygplan är litet, och transportnätverket är inte särskilt komplicerat. Det är mer en fråga om en rättfram beräkning av kapacitet snarare än en regelrätt simulering. Bedömningen blir därför att ett enkelt beräkningsverktyg implementerat i Excel kan fylla behoven för air mobility-studien. Modellen TPK som presenteras senare i rapporten är vårt förslag på hur detta behov skall tillgodoses. Ett närmare studium av andra datormodeller och använda beräkningsätt kan dock användas för att säkerställa att rätt faktorer väljs ut för dessa beräkningsverktyg.

Denna slutsats gäller dock inte vid själva genomförande av större internationella operationer, t.ex. insats av en EU-styrka, snarare än vid genomförandet av studie inriktad mot anskaffningsalternativ. I det läget kommer många flygplan att vara inblandade, som kan ta olika laster och som flyger mellan olika flygplatser, där kapaciteten kan vara begränsande. I det läget är stora datoriserade optimeringsmodeller mycket värdefulla verktyg. I praktiken innebär detta att befintliga verktyg och procedurer inom NATO bör utnyttjas, t.ex. ADAMS. Kompetens på detta område bör därför med fördel finnas även inom Sverige.

## 5. Sammanfattning av beräkningsmetoder för kapaciteter i genomförda studier

Flygtransportkapacitet definieras som det antal passagerare och antalet ton last som kan levereras till ett specifikt mål inom en förutbestämd tidsperiod. Hur stor denna kapacitet är, beror ej enbart på den last, eller den plattform som är satt att transportera lasten. RAND har i en rapport beskrivit flygtransportkapacitet som beroende av följande fyra faktorer<sup>48</sup>:

- De laster som skall transporteras
- De flygfält och rutter som ligger mellan start och mål för transporten
- De markresurser som finns tillgängliga för stöd till transportflyget
- De flygplan som skall utföra transporten och dess besättning

Dessa faktorer inkluderar således själva transportresursen som stödet till dem, se figur 1. Att beräkna transportkapacitet och utnyttjande av flygresurser är således ingen enkel eller entydig uppgift. Beräkningarna och angreppssätten skiljer sig åt beroende på användningsområde. Här nedan skall några olika modeller beskrivas. Dessa sammanfattas sedan i ett ramverk för kapacitetsberäkning. Därefter dras några mer generella slutsatser om vad i dessa metoder som kan vara användbart i studieverksamheten och mer specifikt för Air mobility-studien.

För denna rapportens räkning har fem stycken beräkningsmodeller analyserats. De modeller som studerats är:

1. NPS/RAND Mobility Optimizer (NRMO)
2. Airlift Deployment Analysis System – ADANS
3. RAND - Airfield Capacity Estimator (ACE)
4. EU – Kapacitetsberäkningar för insatsstyrkan
5. FMV Systemanalys - Lufttransportfunktion i de svenska luftstridskrafterna

Dessa är ursprungligen avsedda att lösa olika typer av problem. Flera av dem är ämnade att användas för uppgifter av typen operativ planering, snarare än försvarsplanering (jämför föregående kapitel). Att de tas upp i denna rapport beror på att det finns kopplingar mellan de olika typerna av beräkningar, vilket också gör att lärdomar kan dras från modellerna som sedan kan appliceras på svenska förhållanden.

Vi har inte haft möjligheter att arbeta direkt med alla modeller. Vissa av dem kan inte köras på standarddatorer och flera av dem kräver en hel del kunskap om den specifika mjukvaruimplementationen för att kunna användas. Däremot finns mycket skrivet om modellerna, i form av artiklar och rapporter, varför det ändå är möjligt att få en god överblick över hur modellen fungerar utan att ha tillgång till själva mjukvaran. För NRMO och ADANS har vi inte haft tillgång till mjukvaran utan fått förlita oss på det som skrivits om modellen. EU- och FMV-modellen är bägge kalkylmodeller

---

<sup>48</sup> Stucker & Williams (1999)

(beräkningsverktyg), så dessa har vi helt eller delvis kunnat återskapa i Excel för att laborera med dem. ACE-modellens mjukvara har vi haft direkt tillgång till.

Med utgångspunkt från metodinventeringen ovan har FOI även arbetat fram ett eget förslag till beräkningsmodell - Transportflygkalkyl TPK. Här har de metodkunskaper som inhämtats från övriga modeller använts för att skapa en modell som på ett bra sätt kan motsvara svenska behov och är specifikt utvecklad för att användas som ett verktyg i studieverksamheten.

### ***5.1. NPS/RAND Mobility Optimizer (NRMO)***

NRMO är ämnad för operativ planering och arbetar med optimeringsmetoder av typen matematisk programmering. Modellen har utvecklats i samarbete mellan Naval Postgraduate School (NPS) och RAND. Den representerar en typ av kapacitetsplaneringsmodell som, i Sverige, hittills inte har använt i någon större utsträckning för transportberäkningar. Modellen är framtagen för amerikanska transportbehov. Det huvudsakliga syftet är att samordna ett mycket stort antal flyg- och sjötransporter, vilket kräver en modell med stor beräkningskraft.

NRMO är ett exempel på en större, optimeringsinriktad modell för kapacitetsberäkningar. Den fokuserar på taktiska och strategiska faktorer som har att göra med ett helt system för flygtransport<sup>49</sup>. Med ett system menas här ett antal stationer och rutter som kan tänkas användas för att genomföra någon form av *air mobility*-aktivitet. För att kunna använda modellen är det viktigt att detta nätverk är tydligt definierat. Det krävs en stor medvetenhet om transportnätverkets struktur för att kunna använda modellen. Detta gör att den är mindre väl lämpad för vissa uppgifter av karaktären försvarsplanering, nämligen de där rutter och uppdrag ej är kända eller inte kan beskrivas exakt. NRMO kan täcka in ett väldigt brett spektrum av tänkbara aktiviteter och operationer. I samma modell kan både lufttankning och rörelser med last och personal hanteras. Varje del i transport-systemet kallas för en komponent. I figur 5 nedan visas ett antal sådana komponenter som kan ingå i modelleringen.

Som indata till NRMO-modellen krävs följande uppgifter<sup>50</sup>:

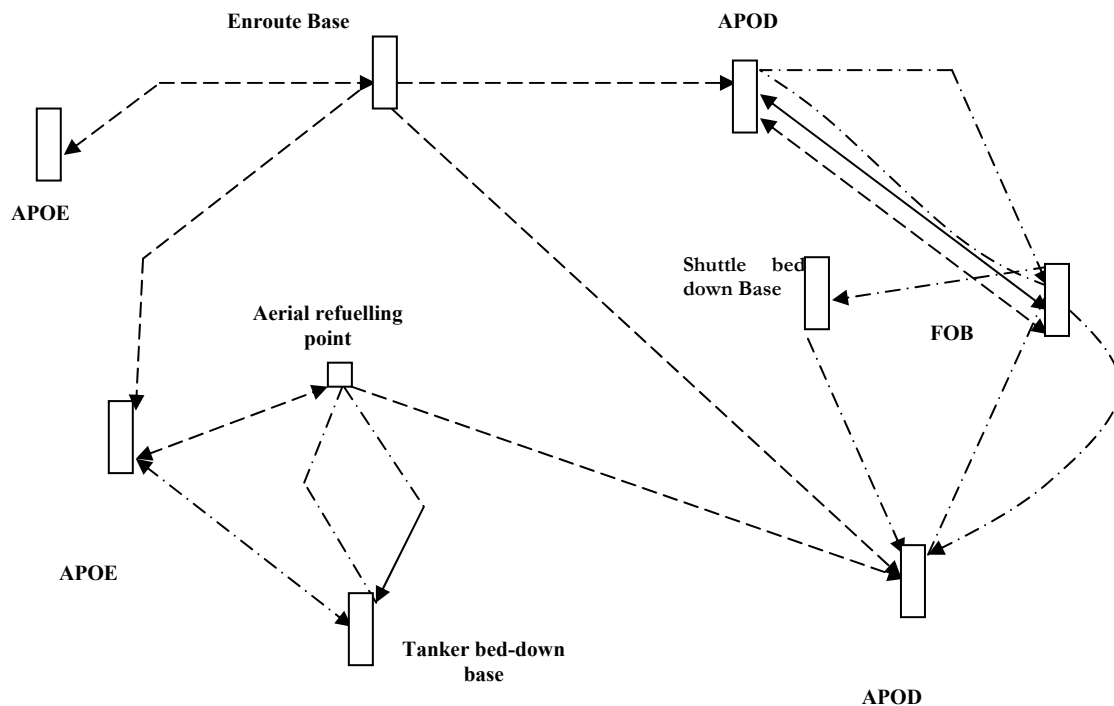
- Beskrivning av flygplanets rutt, inklusive namn och positionskoordinater för flygfält, navigationspunkter som märker ut ruten och markeringar av vilka flygplanstyper som har tillåtelse att flyga längs den markerade ruten.
- Data över flygfält, inkluderar fältets position (i latitud och longitud), kapacitet (i termer av antalet flygplan som kan servas samtidigt), som indata skall också anges vad som kan genomföras på respektive flygfält, t.ex. tankning, lastning, lossning etc.
- Krav på rörlighet hos truppenheter, inklusive enhetens tillhörighet, hur snabbt respektive enhet kan mobiliseras, antal ton som skall transporteras och antal passagerare.

---

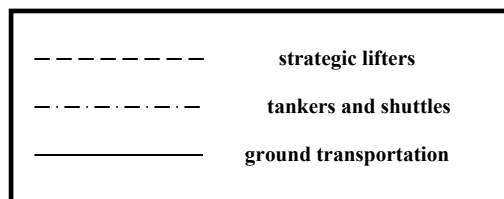
<sup>49</sup> Baker et al. (2002)

<sup>50</sup> Stucker & Williams (1999)





Figur 8. Exempel på ett transportsystem i NRMO. Alla komponenter i figuren kan hanteras direkt i modellen, systemet som helhet är det som optimeras.



- Flygflottans storlek, antalet flygplan i transportflottan och eventuella mobiliseringstider för dessa. Här skall också anges karakteristika för varje typ av flygplan, såsom maximal last, flyghastighet och teknisk tillgänglighet.

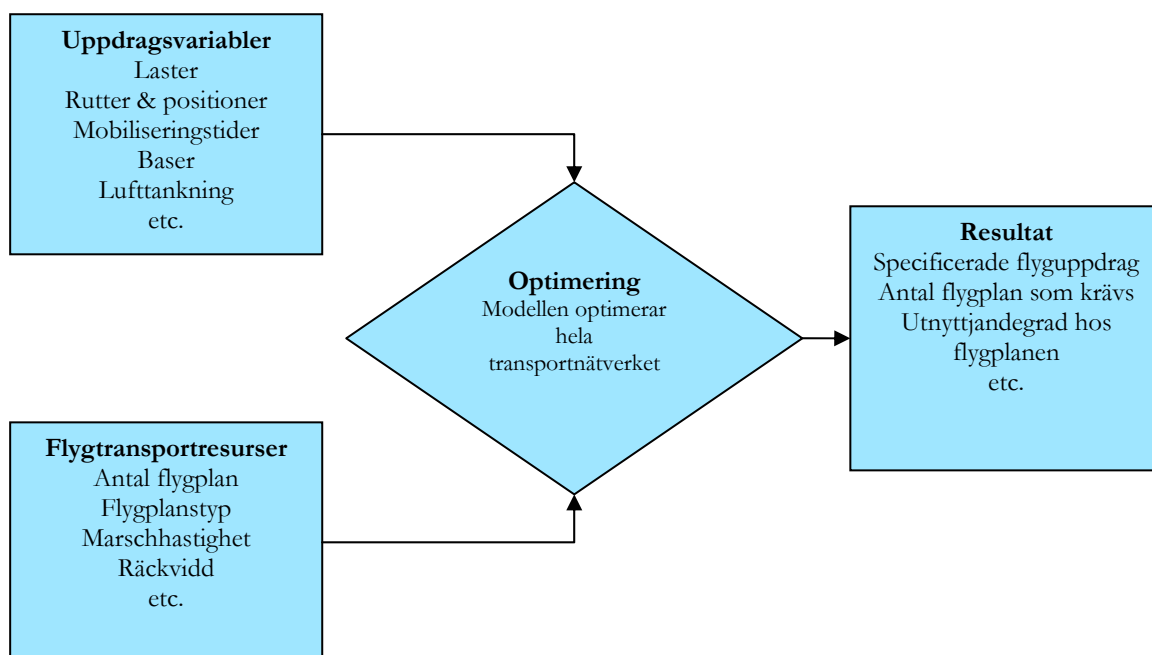
Själva beräkningen i modellen genomförs med optimeringsmetoder. Istället för att maximera flygtransportkapaciteten är det enklare, av beräkningsmässiga skäl, att minimera ett antal straffpoäng (*penalties*) som modellen själv delar ut för försenade leveranser. Modellen kan också hantera ett sekundärt mål, såsom kostnadsminimering eller lägsta möjliga utnyttjandegrad hos flygflottan. Det är användaren som styr vilket eller vilka av dessa krav som skall vara dimensionerande. Den stora styrkan med modellen är dess kapacitet att hantera stora transportsystem. NRMO kan exempelvis användas för att optimera flygtransportssystemet vid en större regional konflikt<sup>51</sup>.

Schematiskt fungerar NRMO som i figuren nedan. Som indata går dels uppdragsvariabler, dessa inkluderar laster (räknat i antalet ton) och antal passagerare. NRMO delar in laster i bulk, *outsized* och *wide body*<sup>52</sup>. Bulk är last som går att lasta på standardpalett (88 tum x 108 tum). *Outsized* är last som inte kan lastas på standardpalett och som är mer skrymmande än bulklast. *Outsized* är största lastklassen som inte heller går att lasta på standardpalett. Till flygresurser räknas både flygplan och baser. I flygplansdata ingår standarddata för de

<sup>51</sup> Här avses regional i ”amerikansk” mening. Vilket betyder stora områden motsvarande kontinenter.

<sup>52</sup> Baker et al. (2002)

transport- och tankerflygplan som används av amerikanska flygvapnet (C-130, C-17, C-5 etc.). För flygfält ingår standardtider för markhantering och det antal plan som kan hanteras samtidigt på respektive fält. Med alla dessa data sker sedan en optimering med fokus på hela transportsystemet, enligt figuren nedan.



Figur 9. Processchema – NRMO

Exempel på resultat som kan hämtas från modellen är<sup>53</sup>:

- Specificerade flyguppsdrag, antal flygplan som följer en viss rutt, deras last, och de tider och datum de flyger på.
- Antal och typ av flygplan som krävs för transport och lufttankning
- Utnyttjandegrad hos flygplan, baser och rutter

## 5.2. Airlift Deployment Analysis System – ADANS

ADANS är en optimeringsmodell för militära flygtransporter utvecklad vid *Oak Ridge National Laboratories* (ORNL) i USA på beställning av dåvarande *Military Airlift Command* (MAC)<sup>54</sup>. Den används också inom NATO, då under namnet ADAMS. Mer specifikt arbetar modellen med heuristisk optimering. Som nämnts i föregående kapitel, är skillnaden mellan optimering med matematisk programmering och heuristisk att den senare nöjer sig med att hitta en ”bra” lösning, snarare än strikt optimal lösning. Det utmärkande för heuristiska modeller är att de arbetar med ett antal ”tumregler”. Fördelen med att använda denna ansats istället för matematisk programmering är att beräkningen inte ställer samma krav på datorkapacitet och därmed oftast också går snabbare att genomföra än ”sann” optimering.

<sup>53</sup> Stucker & Williams (1999)

<sup>54</sup> Solanki & Southworth (1991)

ADANS är ett verktyg som är byggt för att kunna hantera både operativ planering och krisplanering. Två olika metoder används för respektive typ av planering. Vid operativ planering, där alla laster är kända på förhand och syftet är att anpassa givna laster till transportresurser vid ett enda modellkörningstillfälle används en s.k. ”*greedy heuristic*” som tilldelar laster till flygresurser. Vid krisplanering är situationen något annorlunda eftersom laster tillkommer mer kontinuerligt, samtidigt som transportuppdrag blir slutförda, vilket betyder att lastbehovet inte är givet när planeringen inleds utan förändras under arbetets gång. Det krävs då en modell som kan hantera tillkommande laster och successivt anpassa liggande planering efter detta. I ADANS används då en algoritm som kallas ”*insertion heuristic*”<sup>55</sup>. Eftersom heuristiska metoder arbetar med tumregler för en viss typ av planering är det inte givet att samma regler fungerar för en annan typ av planering. Det kan alltså behövas nya regler om situationen förändras.

Ett exempel på hur modellen fungerar vid krisplanering (*insertion heuristic*) visas nedan. Första steget i arbetet är att användaren anger vad som behöver transporteras och anger en tidigaste tid när lasten kan vara levererad (earliest-arrival date) och en senaste tid när lasten måste vara levererad (latest-arrival date). Detta ger modellen ett intervall när leverans är möjlig. All last delas in i någon av följande kategorier bulk, oversize, outsize och passagerare, dessa motsvaras av att transport är möjlig med en viss typ av flygplattform (allt last som är klassad som bulk kan t.ex. fraktas med C-130).

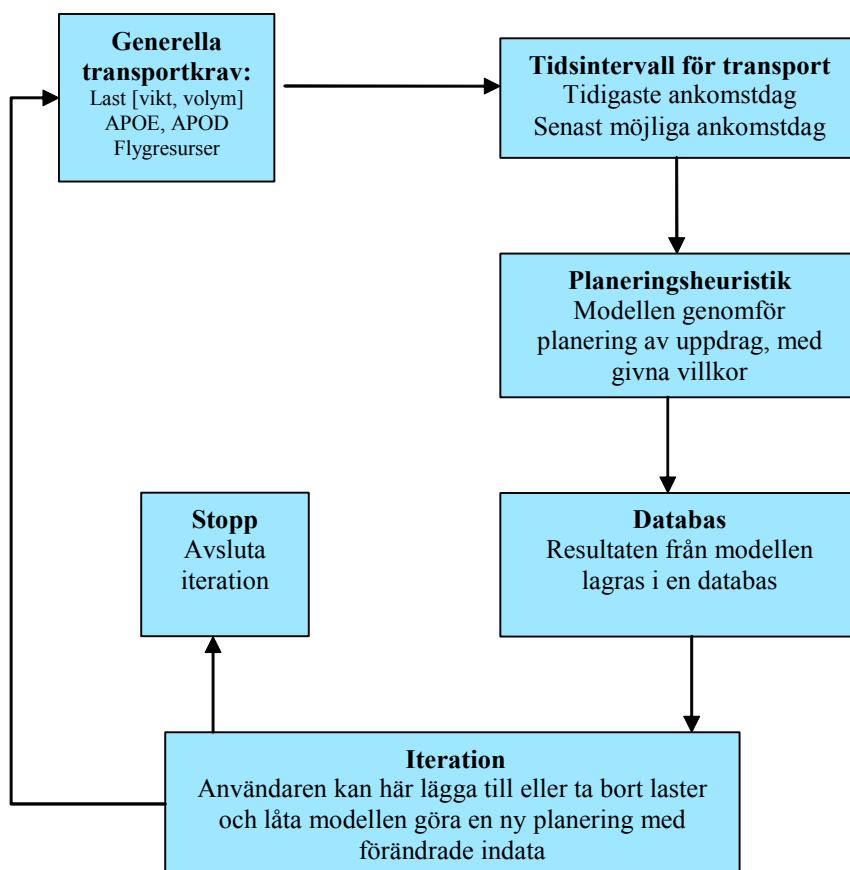
Schemat i figuren nedan sammanfattar huvuddragen i processen<sup>56</sup>. Det första steget är att användaren anger vilka transportkrav (requirements) som finns för den operation som skall genomföras. Då specificeras de laster som skall transporteras, varifrån de hämtas och var de skall lämnas. Det intervall inom vilket lasterna skall anlända till operationsområdet definieras också. Givet laster och tidsintervall, jämförs dessa sedan mot tillgängliga transportresurser. Detta är definierat dels med antal och typ av flygplan, dels med deras geografiska lägen (dvs. den flygbas där de är stationerade).

Tilldelningen av flygresurser till givna laster sker med följande funktion. Först bestäms den mängd last som kan fraktas med en viss flygplanstyp (i termer av vikt, area och volym). Modellen söker sedan en lösning som minimerar andelen outnyttjad kapacitet. Samma procedur genomförs för varje transportuppdrag och modellen försöker sedan att hitta en bästa lösning (*best fit*) på hela allokeringsproblemet. Detta görs genom att flygplanet först fylls till maximal kapacitet för en av de tre lastvariablerna (vikt, area eller volym). Om flygplanet t.ex. lastas till maxvikt, innebär detta att det förmodligen inte utnyttjar hela sin kapacitet vad gäller golvyta (area) eller volym. ADANS ansätter ett värde för denna outnyttjade kapacitet (*plane preference value*). Detta fås genom att procentandelen outnyttjad kapacitet för de två icke maximerade variablerna (t.ex. area och volym) summeras. Detta värde används sedan för att minimera andelen outnyttjad kapacitet för alla tillgängliga flygresurser. Med dessa indata schemalägger modellen alla de förflyttningar som skall genomföras. Detta görs genom att allokera de transportresurser som finns tillgängliga till de laster som skall transporteras. Resultatet av schemaläggningen samlas i en databas som sedan presenteras för användaren.

---

<sup>55</sup> Schank et al. (1991)

<sup>56</sup> Rappoport et al. (1992)



Figur 10. Processchema ADANS

Nu vidtar en process där lasterna kan förändras och modellen anpassar planeringen (*insertion*). Med utgångspunkt från resultatet av den första planeringscykeln kan användaren nu ändra eller lägga till laster och genomföra en ny schemaläggning av alla transporter. En iterativ process uppstår mellan modell och användare genom att modellen planerar uppdrag och presenterar resultat, användaren gör ändringar eller tillägg och modellen upprepar proceduren med de nya villkoren. Denna process fortsätter till dess att användaren har hittat en tillräckligt god lösning på problemet och då väljer att avsluta iterationen.

### 5.3. RAND – Airfield Capacity Estimator (ACE)

I studier av civilt fraktflyg har det visat sig att endast en liten del av den totala transporttiden (ca 8 %) utgörs av effektiv flygtid<sup>57</sup>. Detta innebär att markhantering av både last och flygplan är en betydelsefull faktor att ta hänsyn till vid kapacitetsberäkningar för transportflyg. Även om denna studie rörde civilt fraktflyg, som på flera sätt skiljer sig från militärt, indikerar resultatet ändå att markhantering är en viktig fråga även vid militär transport.

Airfield Capacity Estimator (ACE) är en modell som tar fasta på den problematik som finns kring markhantering och flygfältens inverkan på den totala transportkapaciteten<sup>58</sup>. Modellen har tagits fram av amerikanska RAND för att få en bättre hantering av

<sup>57</sup> Lumsden (1998)

<sup>58</sup> Stucker et al. (1998), s. 8

marktider vid flygtransport. Grundsynen i ACE är att ett flygfält betraktas som en stor samling resurser, vilka skall utnyttjas vid markhantering av flygplan. Uttryckt i matematiska termer kan detta skrivas på följande sätt;

$$C = \min[R_i * A_i / S_i], \quad i = 1 \dots n$$

Där  $C$  är flygfältets kapacitet uttryckt i det antal flygplan som kan tas emot och betjänas under en och samma dag,  $R_i$  är mängden av en viss resurs  $i$  som finns tillgänglig på flygfältet,  $A_i$  är antalet timmar per dag som resursen finns tillgänglig och  $S_i$  representerar den tid det tar att för resursen  $i$  att arbeta med ett flygplan. I flertalet tidigare modeller hade flygfält mer eller mindre hanterats som parkeringsplatser för flygplan, vilket innebär att dess kapacitet bestämdes av ett samband liknande detta:

$$C = \frac{\text{Maximalt antal flyg på marken} * \text{antal arbetstimmar}}{\text{Normala marktider}}$$

ACE går mer på djupet än ansatsen ovan. RAND har i arbetet med modellen kartlagt en stor mängd aktiviteter som behöver genomföras vid markhantering av ett flygplan. Totalt har ett 40-tal resurser studerats (noteras med  $i$  i ekvationen ovan). Alla dessa har inverkan på hur stor kapacitet flygfältet har. Ambitionen var dock inte att kartlägga alla aktiviteter och operationer som utförs på ett flygfält, snarare valde RAND att fokusera på ett färre antal väsentliga resurser och beskriva dessa i detalj. De tre viktigaste faktorerna för flygfältets kapacitet är teknisk service till flygplan, tankning och lastning/lossning<sup>59</sup>. Dessa finns beskrivna både som en samlad aktivitet i modellen, men också nedbrutna i komponenter som anses viktiga. Lastning och lossning finns till exempel dels beskriven som en aktivitet, men man har också valt att modellera enskild utrustning (truckar etc.) och de avstånd som lasten måste transporteras på flygfältet (t.ex. avstånd från/till olika terminaler).

Modellen är implementerad i Microsoft Excel (med makron skrivna i Visual Basic) och kan därför köras på alla standard PC och Macintosh<sup>60</sup>. För att skatta tidsåtgången för olika typer av operationer har man kartlagt dessa och beräknat standardtider för varje typ av operation. Dessa är dock anpassade efter flygplanstyp, vilket ter sig naturligt eftersom olika flygplanstyper kräver olika långa servicetider.

Marktider för snabb service				
Flygplanstyp	Tankning	Lossning	Både tankning och lossning	Varken tankning eller lossning
C-130	1:41	0:46	1:41	0:46
C-141	2:50	1:42	2:50	1:42
C-5	4:24	2:22	4:24	2:22
C-17	2:52	1:30	2:52	1:30
KC-10	4:46	2:41	4:46	2:41
KC-135	4:00	2:36	4:33	1:55

Tabell 3. Marktider för olika typer av flygplan vid olika typer av markoperationer (mätt i timmar och minuter). Källa: Stucker et al. (1998)

<sup>59</sup> Stucker et al. (1998), s. 5

<sup>60</sup> Modellen kan laddas ner från Rands webbplats: <http://www.rand.org/publications/MR/MR700/ACE/>

I tabell 3 ovan visas ett exempel på marktider för några olika flygplanstyper. Resultaten är hämtade från en körning med ACE-modellen. Att som i tabellen ovan beräkna hur långa marktiderna blir för en viss typ av flygplan är ett användningsområde för modellen. Det är även möjligt att istället för enskilda flygplans marktider, beräkna kapaciteten för hela flygfältet. Då beräknas det antal flygplan av en viss typ (eller en kombination av olika typer) som kan betjänas under en och samma dag. Ett resultat från en sådan körning visas i tabell 4 nedan.

<b>Flygfältets kapacitet (mätt i antal plan per dag)</b>				
<b>Flygplanstyp</b>	<b>Tankning</b>	<b>Lossning</b>	<b>Tankning och lossning</b>	<b>Varken tankning eller lossning</b>
C-130	42	72	42	80
C-141	37	62	37	62
C-5	23	27	23	44
C-17	36	54	36	70
KC-10	21	30	21	39
KC-135	26	14	14	55

*Tabell 4. Flygfältets kapacitet mätt i antal plan per dag. Källa: Stucker et al. (1998)*

I modellen görs också en indelning i två olika serviceprogram som kan utföras på flygplatsen. Antingen väljer användaren snabb service (*quick turn*) och då motsvaras tiderna av en snabb markhantering. Alternativet är att välja ett mer fullständigt program (*full service*), här kan finns också möjlighet att styra exakt vilka moment som skall genomföras, t.ex. kan användaren välja om det är nödvändigt med avisning av flygplanet eller inte. I tabellen ovan visas marktider för ett kort stopp.

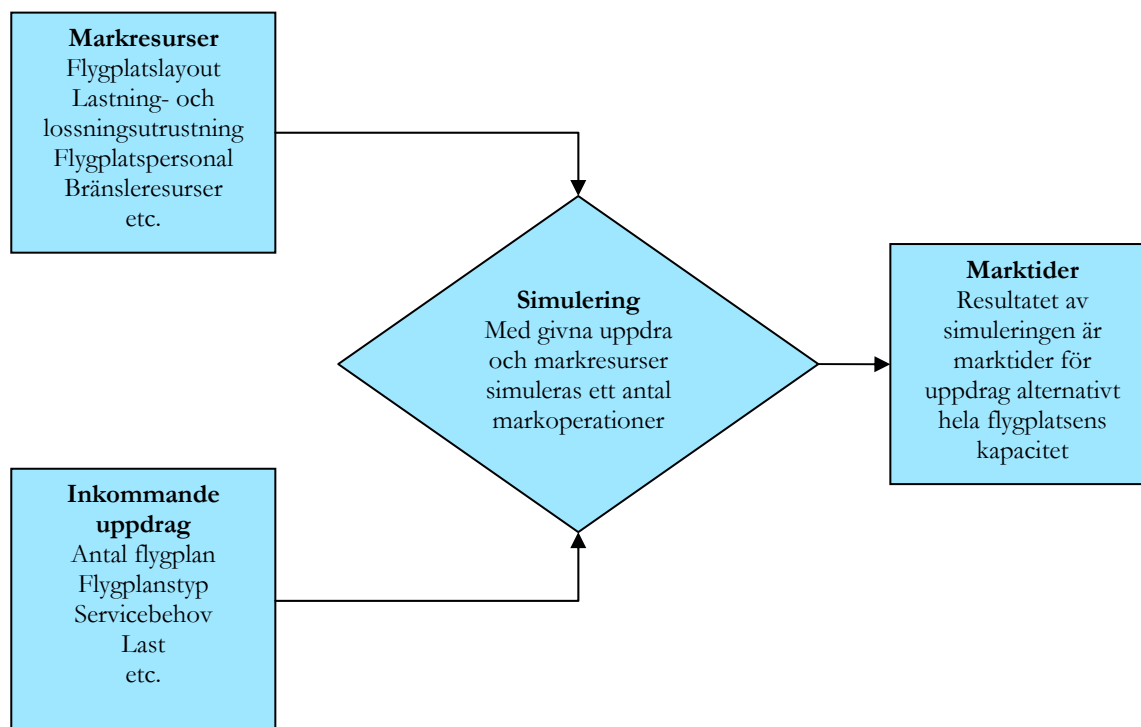
Resultaten ovanför är hämtade från en körning med ett av de flygfält som finns dokumenterade i ACE. I modellen finns en programbank med ett antal existerande flygfält och ett antal typflygfält. Det finns även möjlighet att konstruera en flygplats, genom att själv ange indata till modellen. Då finns möjlighet att välja ett stort antal olika alternativ för att dimensionera flygfältet. Även här kan ett 40-tal olika parametrar styras för att definiera funktion och servicenivå. Alltifrån tillgången på bränsle och terminalens placering till utbudet av arbetskraft kan styras av användaren.

Som indata till modellen anges först flygfältets konfiguration, vilket har diskuterats tidigare. Efter detta anges vilka inkommande uppdrag som kommer att anlända till flygfältet. Här anges hur många flygplan som kommer att landa och vilket servicebehov de har. Möjligheter finns att definiera upp till 8 stycken olika uppdrag, där varje uppdrag, i sin tur, kan bestå av ett antal landningar.

När själva beräkningarna skall genomföras finns två olika valmöjligheter. Standardförfarandet är att låta modellen räkna igenom de parametrar som användaren angett och därefter returnera antingen marktider eller flygplatskapacitet. Alternativet är att med Monte Carlo-simulering låta modellen genomföra en mer omfattande modellering av den givna situationen<sup>61</sup>. Detta ger förmodligen ytterligare noggrannhet åt beräkningarna, men är samtidigt mer tidskrävande och kräver möjligen något bättre datorkapacitet.

<sup>61</sup> För en beskrivning av Monte Carlo-simulering se t.ex. Taha (1997).

Utdata från modellen blir olika beroende på om syftet är att beräkna marktider eller kapaciteten för ett visst flygfält. Om marktider skall beräknas returnerar modellen dessa för varje fördefinierat uppdrag. För hela flygfältet returneras däremot kapaciteten mätt i det antal flygplan som kan betjänas under ett och samma dygn. Processchemat nedan visar överskådligt hur beräkningarna i ACE genomförs.



Figur 11. Processchema för ACE-modellen

#### 5.4. EU – Kapacitetsberäkningar för insatsstyrkan

EU har, som tidigare beskrivits, beslutat sig för att sätta upp en insatsstyrka. Denna skall kunna operera i EU-området och dess närhet. Styrkan skall kunna ingripa i kriser och konflikter med tämligen kort varsel. Detta ställer också krav på att medlemsländerna skall förfoga över tillräckliga transportresurser, både vad avser flyg och andra typer av transport. Därför har en utredning av EU-styrkans transportbehov genomförts<sup>62</sup>. I denna finns också kapacitetsberäkningar, som närmare undersöks i avsnittet nedan.

Utredningen har räknat fram ett totalt transportbehov för både sjö- och lufttransport. Som ingångsdata till beräkningarna finns tre olika grundscenarion att utgå ifrån, dessa är:

- |                                       |      |
|---------------------------------------|------|
| 1. Separation of Parties by Force     | SOPF |
| 2. Conflict Prevention                | CP   |
| 3. Non-combatant Evacuation Operation | NEO  |

SOPF är det enskilt största av de tre scenarierna. I detta beskrivs en insats med hela EU-krisstyrkan, d.v.s. 60.000 man. Transporterna till insatsområdet är däremot mer utspridda i tid än i övriga scenarier. Man räknar med att all materiel och personal skall finnas på plats

<sup>62</sup> EU (2000a)

och vara förberedda för insats inom 60 dagar. Till detta kommer att viss materiel måste transporteras ned inom kortare tid eftersom det krävs längre förberedelsetider för vissa truppslag. Totala transportbehovet för insatsen räknas i linjemeter (LIM), d.v.s. den längd som fordon och containrar upptar om man ställer upp dem på kolonn. I scenariet antas att det finns två flygplatser (APOD) och två hamnar (SPOD) tillgängliga för styrkan. Vidare antas att hotnivå för både flyg- och sjötransport är låg till mycket låg, dvs. transport och markoperationer kan ske tämligen fritt. Av den materiel som skall transporteras till området skattas (på erfarenhetsmässig basis) en andel av dessa som kräver flygtransport. För SOPF-scenariot antas att 20 % av all materiel transporteras via flyg, en siffra som får anses hög i sammanhanget. I många operationer som har genomförs under senare år har cirka 5-10 % av all materiel transporteras via flyg<sup>63</sup>. Som tidigare beskrivits kräver viss materiel längre förberedelsetider, varför denna måste vara på plats tidigare än övrig materiel.

CP-scenariot har en annorlunda karaktär än SOPF. Istället för en större insats för att skilja två stridande parter åt, baserar sig CP på en tidigare insats i en situation där konflikten ännu inte eskalerat till krigsliknande former. Detta innebär att tiden är en mer kritisk faktor i CP-scenariot. Målet är att snabbt få en insatsstyrka på plats för att stoppa en konflikt som håller på att trappas upp. I detta scenario är alltså tiden av större betydelse än i SOPF –scenariot. Det ställs dock inte samma krav på materiel för denna insatsstyrka, så den totala lastmängden är mindre. Även i detta scenario kommer 20 % av all last transporteras med flyg, samtliga passagerare flygtransporteras också, och resten av materielen transporteras till sjöss.

NEO-Scenariot är en insats för att evakuera icke-krigförande från en krishärd eller ett krigsområde. Insatsen skiljer sig från de två övriga scenarierna genom att den är kort i tid och mycket tidskritisk. Målet är här att mycket snabbt få ned en styrka till operationsområdet, genomföra en evakuering och sedan avsluta operationen. Typen av materiel som krävs för att genomföra NEO-scenariot är också något annorlunda, eftersom insatsen bygger på ett lätt markstridsförband samt en helikopterstyrka. Det totala antalet linjemeter som skall transporteras är förhållandevis litet, men **all** transport förväntas ske med flyg och större andel av lasten är av typen *wide body* eller *outsized* (betydelsen av detta beskrivs mer utförligt nedan).

Kapacitetsberäkningarna genomförs på samma sätt för de tre olika scenarierna. Som indata till beräkningarna finns för varje scenario ett transportbehov, bestående av ett antal passagerare, ett visst antal linjemeter last och en tidshorisont då materiel och personal måste vara på plats och förberedda på insats. Efter detta görs en uppdelning på vilken last som skall transporteras via flyg respektive båt. Denna indelning skiljer sig åt beroende på typen av scenario, i både SOPF- och CP-scenariet används indelningen 20 % flyg-, 80 % sjötransport. I NEO-scenariet transporteras däremot 100 % av materielen med flyg. Eftersom denna rapport fokuserar på kapacitetsberäkningar för flyg, lämnas beräkningarna för sjötransport utan vidare kommentar. Dessa genomförs dock på liknande sätt som beräkningarna nedan.

---

<sup>63</sup> EU (2000a), s. 2.



När uppdelningen i flyg- och sjötransport är genomförd sker en indelning av lasten efter vilken flygplanskategori som krävs för transporten. Det finns klara begränsningar för vilken typ av materiel som kan fraktas med en viss kategori av flygplan. För EU-styrkans behov görs en indelning i general cargo, wide body cargo och outsize cargo. Dessa motsvaras av att transport är möjlig med olika flygplanstyper. C-130 kan exempelvis transportera en last med general cargo, men inte en outsize. En fullständig tabell över de olika storleksklasserna återfinns nedan. (Flygplandata återfinns också i bilaga 1.)

Flygplanstyp	Lastkap. (M.T)	Längd (m)	Bredd (m)	Höjd (m)	Storleksklass
AN124	135	36,5	6,4	4,4	Outsize upper
C-5	118	43,8	5,79	4,11	Outsize upper
C-17	80	26,8	5,48	3,76	Outsize medium
A-400M	35	17,71	4	3,85	Outsize medium
C-130 H	17	12,3	3,12	2,74	General Cargo

*Tabell 5. Indelning av flygplanstyper i storleksklasser*

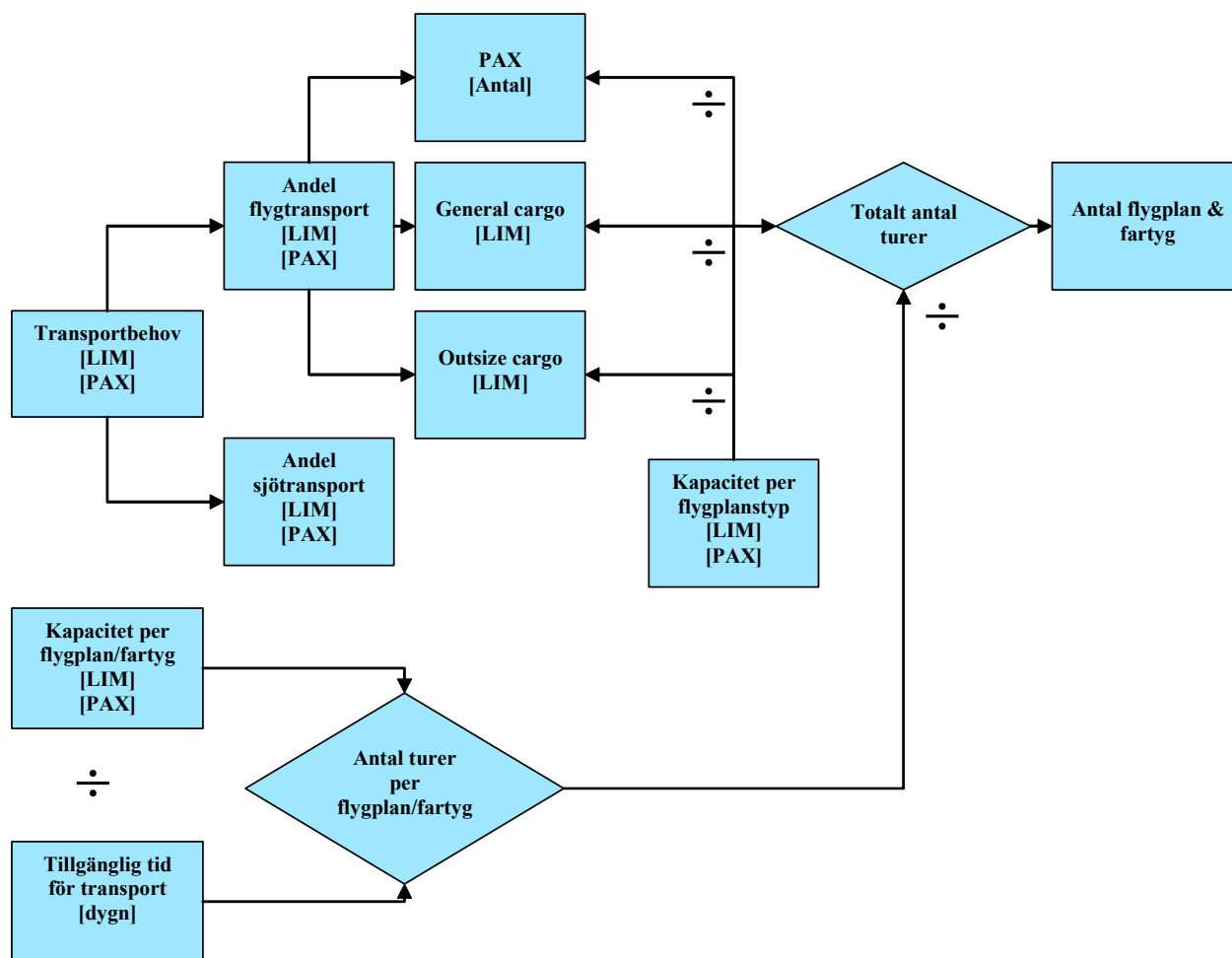
För beräkningar av flyg- och marktider använder EU-rapporten sig av ungefärliga tider beroende på avståndet till insatsområdet och vilken typ av flygplan det rör sig om. Samma indelning i storleksklasser används för att uppskatta flygtider. Ingen indelning i flyg- respektive marktids sker, utan istället anges en totaltid för en tur-retur flygning till operationsområdet, inklusive markservice. Dessa tider sammanfattas i tabellen nedan<sup>64</sup>.

Storleksklass	Tid (dagar)			
	4000 km		10.000 km	
	Enkel resa	Rundtur	Enkel resa	Rundtur
Outsize upper	0,75	1,5	1,5	2
Outsize medium	0,75	1,5	1,5	2
General cargo	1	2	2,5	5
Passagerare	0,5	1	1	2

*Tabell 6. Flyg- och marktider (dagar) för EU:s kapacitetsberäkningar*

Notera att avståndet 4000 km från Bryssel är satt som ett riktmärke för var EU kan tänkas sätta in militära resurser. Efter att flyg- och marktider bestämts kan själva kapacitetsberäkningen genomföras. Den finns sammanfattad i processchemat nedan. Utgångspunkten för beräkningarna är det totala transportbehovet för respektive scenario, d.v.s. hur många linjemeter last som skall transporteras och de tider inom vilka materielen skall vara vid målet och berett på insats. Detta beror på vilken typ av scenario som skall genomföras.

<sup>64</sup> EU (2000a), s. 4.



Figur 12. Processchema för EU-styrkans planeringsmodell

I modellen finns också angivet transporttider för olika typer av skepp och flygplan. Först delas transportbehovet in i antal passagerare och totalt antal linjemeter last. Beroende på vilket scenario det är frågan om görs sedan en bedömning av hur stor andel av lasten som kräver flygtransport. Liknande beräkningar görs för den last som transporteras till sjöss och den som transporteras via flyg, här kommer dock att fokuseras på flygtransporter.

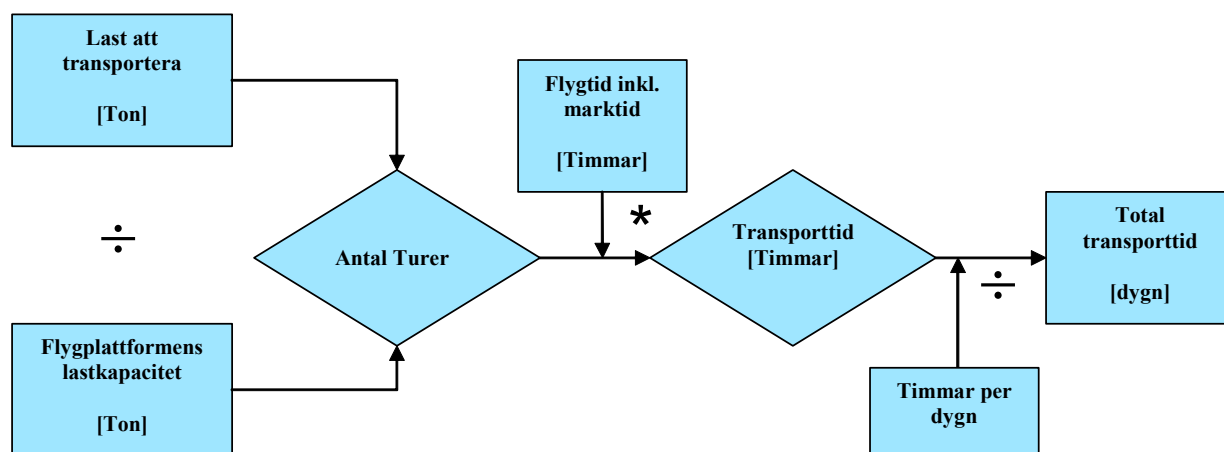
När denna uppdelning är genomförd finns en given mängd last och passagerare som kräver flygtransport. Lasten delas sedan in i olika klasser efter vikt och volym. Dessa har tidigare visats i rapporten. Efter det att all last klassats enligt detta system finns ett lastbehov indelat efter flygplanstyp, d.v.s. ett visst antal linjemeter last som skall fraktas med en viss typ av flygplan. Antalet linjemeter last divideras nu med lastkapaciteteten hos flygplanen. Ur detta fås hur många turer som måste göras för att utföra transporten. Antalet turer varje typ av flygplan måste genomföra divideras sedan med möjligt antal turer inom angiven tidsram. Resultatet som fås ur modellen är det antal flygplan och fartyg av olika typ som behövs för att kunna genomföra transporten. Denna siffra används i slutänden av EU för att ställa krav på medlemsstaterna vad gäller styrkebidrag och deras beredskap.

## 5.5. FMV Systemanalys – Lufttransportfunktion i de svenska luftstridskrafterna

FMV har i en rapport studerat vilken framtida lufttransportfunktion Sverige är i behov av<sup>65</sup>. Rapporten utgår från idag befintliga mark- och luftstridskrafter (SWERAP och SWAFRAP) och sätter in dessa styrkor i några olika scenarier. Gemensamt för dessa är att de involverar lufttransport av personal och materiel till ett främmande land. De scenarier som blir dimensionerande är en insats i Makedonien och en i Zimbabwe. Samma styrka används i bägge scenarierna, vilket också innebär att samma last skall transporteras till respektive område.

Utgångspunkten för kapacitetsberäkningen är de styrkeelement som ingår i SWERAP och SWAFRAP. I bakgrundsmaterialet till modellen finns dessa styrkor beskrivna i detalj och FMV har kartlagt den materiel och personal som ingår i styrkorna. Som dimensionerande faktor mäts materielens vikt i ton och ett antagande görs om hur stor del av materielen som behöver transporteras via flyg. FMV antar att all personal kommer att transporteras med flyg. Både SWERAP och SWAFRAP kräver flygtransport av ett 15-tal containrar samt 10-15 fordon. För övriga styrkor antas att 20-25 % av all materiel kräver flygtransport. Som indata till modellen anges, förutom ett scenario, några olika typer av flygplan som kan tänkas ingå i ett framtida svensk lufttransportfunktion, dessa är: A-400M, C-5, C-17, C-130, 747-400F och 767-300F.

FMV antar vidare att det för transport finns ett givet antal flygplan av samma typ till förfogande. För studien väljer man att låta flottan helt och hållet bestå av en enda typ av transportflygplan. Den faktor som begränsar transportkapaciteten i modellen är lastens vikt. Varje flygning antas kunna ske med maxlastade flygplan. Givet är då också att lasterna är konfigurerade på så sätt att alla förekommande typer av last kan transporteras med alla typer av flygplan som används i scenariot.



Figur 13. Processchema - FMV:s lufttransportmodell

I figuren visas beräkningsgången i FMV:s modell. Utgående från den flygplanstyp flottan består av fås en total lastkapacitet mätt i antal ton. Eftersom det finns en given last (också

<sup>65</sup> FMV (2001a)

uttryckt i ton) som skall transporteras, kan det antal turer som krävs för att förflytta all materiel till operationsområdet beräknas som flygplanens samlade maxlast dividerat med antalet ton som skall transporteras. Detta ger det antal turer som krävs för att transportera materielen. Flygtiden för respektive operation är satt till ett givet antal timmar, i denna inkluderas också marktid inklusive lastning och lossning. Genom att multiplicera antalet turer med flygtiden fås en total transporttid uttryckt i timmar. Givet att man kan flyga dygnet runt fås 24 flygtimmar per dygn. Den totala transporttiden divideras sedan med antalet flygtimmar. Detta ger en total transporttid, mätt i dygn. Detta mått används sedan för att jämföra olika alternativ till framtida transportkapacitet.

### ***5.6. Kombinationer av två eller flera modeller för kapacitetsberäkning***

Förutom de modeller som presenterats tidigare i denna rapport kan en metod för kapacitetsberäkning vara att kombinera resultat från en eller flera modeller och på så sätt få en bättre skattning av transportkapaciteten. Eftersom ACE-modellen endast arbetar med en delmängd av flygtransportkapaciteten (flygfält och markservice) och är väl avgränsad till denna uppgift kan den vara en lämplig kandidat för att kombinera med andra modeller. En möjlig ansats är att använda ACE för att beräkna tider för markservice, lastning och lossning och sedan kombinera detta med en annan modell eller simulering för rutter, flygning etc. RAND har i en rapport prövat att kombinera ACE med några andra modeller<sup>66</sup>. De fann att kombinationen av ACE med en annan modell gav tämligen stor påverkan på beräkningen. Här jämfördes med ett fall då marktider tidigare skattats med erfarenhetsmässiga värden, vilket förmodligen betyder ACE-modellens skattningar var av högre kvalitet än de tumregler som annars användes.

De flesta kapacitetsmodeller som hittills diskuterats har använt någon form av förenklat antagande avseende mark- och servicetider. Såväl FMV- som EU-modellerna, och vårt eget modellförslag senare i denna rapport (TPK) använder sig av erfarenhetsbaserade mått avseende marktider. Dessa skulle alltså kunna kompletteras med data från ACE-modellen. Här följer ett exempel på kombination av två kapacitetsmodeller.

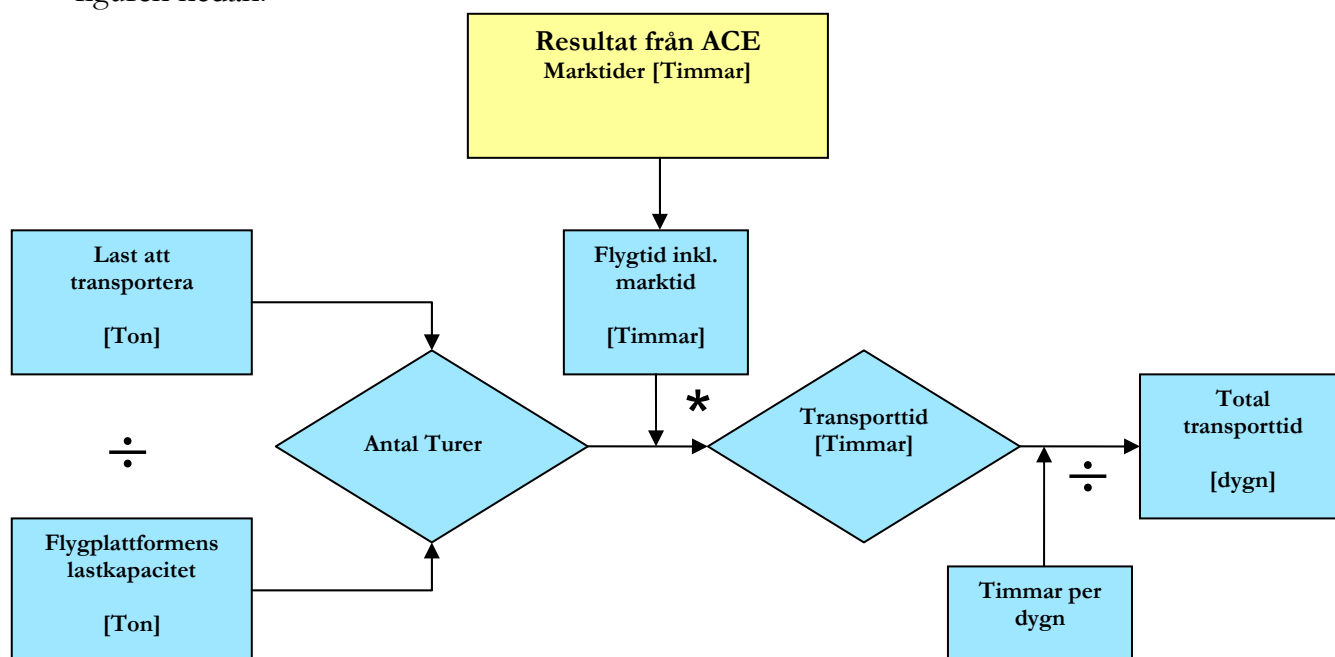
RAND har använt ACE i kombination med optimeringsmodellen NRMO. Syftet var att förse NRMO modellen med bättre information om mark- och servicetider. En mindre studie genomfördes där endast delar av NRMO-modellen användes. I normalfallet använder sig NRMO av standardiserade marktider, som var baserade på erfarenheten hos användarna (i det här fallet amerikanska flygvapnet). Resultatet var att ACE i de flesta fall visade på längre marktider än de standardvärden som annars användes. Detta ledde också till att den totala transportkapaciteten minskades när flygplatsdata från ACE-modellen användes.

Detta resultat visar att det kan finnas problem med att använda standardiserade marktider och att det också kan finnas möjligheter att uppnå bättre prognoser av transportkapacitet genom att kombinera data från flera olika modeller.

---

<sup>66</sup> Stucker & Williams (1999)

Erfarenheterna från RAND indikerar att en bättre skattning av flygplatskapaciteter kan ge tämligen stora effekter på slutresultatet i modellerna. Det är då också tänkbart att även de svenska beräkningsmodellerna skulle kunna förbättras genom att de förses med noggrannare skattningar av flygplatskapacitet. I exemplet nedan införs data från ACE i FMV:s beräkningsmodell. Att föra över resultat från den ena modellen till den andra är heller ingen svårighet. Alla dessa modeller arbetar med kalkylberäkningar i Excelformat. Därför kan värdena på marknader direkt ersättas med modellvärden från ACE, som visas i figuren nedan.



Figur 14. Marknader från RAND:s ACE överförs till FMV:s lufttransportberäkningar

Detta kan ge en grund för förbättrade kapacitetsberäkningar. Nackdelen med att använda sig av ACE är att krävs det mer underlag för att fullt ut kunna använda modellen. Till exempel krävs information om vilka flygfält som kommer att användas och vilka resurser som kan tänkas finnas på dessa flygfält.

### 5.7. Rekommendationer avseende val av modell

Den uppsättning modeller som presenterats i rapporten är bara ett axplock av de alla de som används för att beräkna transportkapacitet. De visar ändå på en stor variation i angreppssätt och metod. Utifrån dessa olika modeller är ambitionen att hitta ett tillvägagångssätt som kan passa för svenska förhållanden och därmed komma till användning i studie Air Mobility.

Modeller för kapacitetsberäkningar varierar också stort i grad av komplexitet. Eftersom den svenska transportflygflottan, med internationella mått mätt, är relativt liten, bör valet av modell anpassas till en lämplig kapacitetsnivå. Tabellen nedan visar ett spann av modeller som finns att tillgå för kapacitetsberäkningar för transportflyg. Den klassning som valts av modellerna är dels efter syftet med beräkningen, klassat efter de tre huvudsakliga områden som beskrivits tidigare i rapporten. De fyra olika kategorierna av modeller i tabellen är en indelning efter de olika beräkningsmetoder som används. Med utgångspunkt från tabellen dras nu några slutsatser om lämplig metod för svenska förhållanden.

	Försvarsplanering	Operativ planering	Krisplanering
Optimering		NRMO	NRMO
Simulering		MOBSIM m.fl..	MOBSIM m.fl..
Heuristik		ADANS, ADAMS	ADANS, ADAMS
Kalkylering	FMV, EU, TPK	FMV, EU, ACE	

*Tabell 7. Modeller för kapacitetsberäkning, indelade efter syfte och beräkningsmetod*

Optimeringsmodeller har sitt största användningsområde då det gäller samordning av stora transportsystem. Detta gör också att många av dem kräver tillgång till stor datorkraft, och därför inte kan köras på standarddatorer. I gengäld fås en hög detaljnivå i resultaten, modellerna kan hantera stora mängder data och ta hänsyn till en mängd olika faktorer som kan påverka transportkapaciteten. Ett exempel på uppgift som lämpar sig för optimering är en transportinsats på EU-nivå, där ett stort antal transporter skall styras och samordnas. Ur ett svenskt perspektiv står denna typ av modell för en beräkningskapacitet långt över vad som krävs. Optimeringsmodeller lämpar sig bäst för planering i kortare tidsperspektiv, dvs. operativ planering eller krisplanering. Detta beror på att optimeringen kräver exakt vetande om vilka laster som skall transporteras och de flygresurser som finns tillgängliga. Sådan information finns, normalt sett, inte tillgänglig för försvarsplaneringsuppgifter. Därför bör inte denna typ av modell användas i nuvarande svensk försvarsplanering. Däremot kan dessa modeller vara användbara om ett svenskt bidrag till en större insats skall utvärderas och analysen syftar till att ge en inblick i hur ett sådant större transportnätverk fungerar.

Det finns ett mycket brett spektrum av simuleringsmodeller som kan tänkas användas för flygtransporter. Under arbetet med denna rapport har dessa endast studerats översiktligt. En av orsakerna till detta är att simuleringar ofta kräver god kännedom om programvaran för att kunna användas. Simuleringar kommer dessutom bäst till sin rätt för uppgifter av typen operativ planering eller krisplanering. Detta beror återigen på att modellerna är bra på att utvärdera ett givet scenario, där laster, flygresurser etc. är väl kända, men mindre bra på att hantera variationer i flygflottans utseende eller utprovning av en större mängd scenarier. En tänkbar metod är att genomföra ett större antal simuleringar med varierade indata för att få en uppskattning av osäkerheter och variationer. Vår bedömning är dock att detta skulle bli alltför arbetskrävande och inte ge resultat av den typ som är önskvärda att få fram i studiemiljö. Detta beror på att simuleringar i allmänhet levererar resultat på andra frågeställningar än de som ställs i försvarsplaneringssyfte.

Heuristiska modeller är mer lämpade för den typ av beräkningar som studien skall genomföra. De verktyg som analyserats i rapporten, erbjuder noggrannhet på en för, svenska förhållanden, rimlig nivå. Samtidigt är modellen inte alltför komplicerad eller krävande att hantera och ger snabba resultat. Ett problem vid användandet av heuristiska metoder är att de normalt måste skräddarsys för det enskilda problemet för att fungera väl. Detta gör att deras lämplighet för försvarsplaneringssyften kan påverkas. I försvarsplaneringen kan många variabler vara tämligen osäkra, och modellen måste därför kunna anpassas för att hantera lika typer av situationer och problemställningar. Detta kan utgöra ett problem eftersom de tumregler som styr en heuristisk modell inte alltid är enkla att definiera. Både ADAMS och ADANS är framtagna som verktyg för operativ planering

och krisplanering, varför det finns frågetecken kring hur pass användbara de är i försvarsplaneringssyfte.

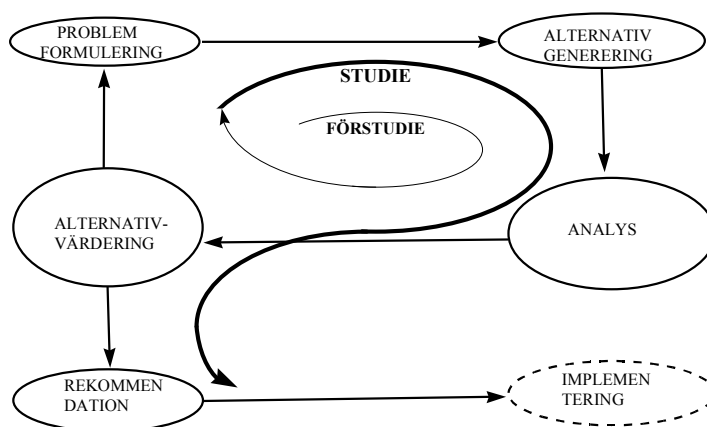
Kalkylbaserade verktyg är användarvänliga och kräver inga expertkunskaper. Noggrannheten i denna typ av modell blir dock, i allmänhet, lägre än hos simulerings eller optimeringsmodeller. De kan heller inte ta hänsyn till lika många detaljer som dessa. En fördel är dock att kalkylverktyg ger snabba svar, inte kräver något större arbete för att använda och är relativt billiga att implementera. Det är också enkelt för användaren att själv ändra förutsättningar och arbeta med modellen.

För Air mobility-studiens behov är en modell motsvarande kalkylverktyg eller heuristisk ansats lämplig. Den stora beräkningsförmågan hos modellerna i det ”övre skiktet” tillför inte mycket värdefull information vid försvarsplanering och studieverksamhet. Uppgiften att beräkna flygtransportkapacitet för vårt nationella behov kan lösas med enklare typer av modeller. Kring heuristiska verktyg finns dock ett frågetecken kring huruvida någon modell är väl anpassad för försvarsplaneringsuppgifter.

Vår rekommendation är därför att studien bör välja ett kalkylbaserat verktyg, och vi presenterar därför modellen TPK senare i denna rapport. Denna typ av modell ger tillräckligt god beräkningsnoggrannhet för studiens behov och är ofta väl anpassade för uppgiften. Däremot anser vi att kompetens motsvarande ADAMS-modellen behövs vid uppgifter motsvarande operativ planering och krisplanering. ADAMS används idag hos OPIL för att beräkna transportbehov vid insatser med svensk trupp. Den kompetens som idag finns kring användandet av denna typ av verktyg bör bevaras inom FM.

## 6. Kapacitetsberäkningarnas plats i studieprocessen

Innan vi går över till själva modellen TPK kan det vara på sin plats att diskutera kapacitetsberäkningarnas plats i den totala studieprocessen. I en studie som syftar till att rekommendera vilket beslut som bör fattas avseende anskaffning av transportflyg ingår flera steg och aktiviteter. Kapacitetsberäkningar är en central del av denna process, men är ingalunda liktydig med hela studieprocessen. För att ge en bättre förståelse av kapacitetsberäkningarnas plats i den totala studieprocessen återges här i kortfattad form hur studieprocessen typiskt ser ut för system- och funktionsstudier inom Försvarsmakten. Närmare beskrivning av processen, ett s.k. systemanalytiskt tillvägagångssätt (SA), finns beskriven i Försvarsmaktens Studiehandbok<sup>67</sup>.



Figur 15. Typisk arbetsgång vid en systemstudie enligt "SA-schemat". Observera förstudien!

Typiskt för studieproblemen som gäller framtida materielanskaffning och förbandsutformning är att svaren inte är omedelbart uppenbara, beroende på att de ekonomiska resurserna är begränsade, olika tänkbara alternativ är bra på olika saker, kvalitet och kvantitet måste vägas mot varandra, effekten av alternativen påverkas av andra beslut inom Försvarsmakten, olika former av risker måste vägas in, och så vidare. Dessa frågeställningar är sammantaget ofta så komplicerade att det i studiegruppen är fördelaktigt att ha en så bred sammansättning, att kompetens finns för att belysa t.ex. operativa sammanhang, taktiska situationer, tekniska prestanda och kostnadsaspekter, samtidigt som det finns kompetens om hur själva studien skall bedrivas ur bl.a. metodaspekter.

Tillvägagångssättet som det visas i figuren ovan bygger på de fyra huvudsakliga faserna problemformulering, alternativgenerering, analys och alternativvärdering. Det är oftast nödvändigt att återvända till en fas flera gånger allteftersom studiegruppen blir klokare. På grund av problemens komplexa natur, och att olika deltagare normalt behärskar det ur olika aspekter (ingen känner normalt till hela bilden när studien börjar), brukar det vara

<sup>67</sup> HStud del 2 (1999).



synnerligen lämpligt att genomföra en förstudie, omfattande högst 20 % av den totalt tillgängliga tiden. I förstudien strävar man efter att gå igenom hela studieprocessen på ett översiktligt sätt, för att se var svårigheterna finns och t.ex. var ytterligare underlag behöver tas fram. För att denna skall gå tillräckligt fort är det vanligt att man skär ner på bredden av analysen. Istället för att analysera och värdera alla alternativ i alla scenarier, väljs några alternativ ut i ett par scenarier, för att tidigt se om de nödvändiga resultaten kan fås fram och om arbetsupplägget är realistiskt tidsmässigt. Det är alltför vanligt att det slarvas med förstudien (att den inte genomförs alls, att den inte genomförs komplett, eller att den utförs av andra personer), vilket innebär att ett antal "a-ha"-upplevelser kommer för sent under studien. Det går inte att nog betona vikten av att en korrekt upplagd förstudie genomförs!

I **problemformuleringsfasen** svaras mer preciserat på vilket problem som egentligen behöver lösas. Detta är inte så enkelt som det låter, och det är inte liktydigt med den inledningsvis givna studieuppgiften, då denna kan behöva vidgas eller avgränsas. En lämplig problemavgränsning är centralt; inte så snäv att väsentliga delar av problemet tas bort, men å andra sidan inte så vid att det blir omöjligt att behandla. Ett exempel: att studera enbart om livstidsförlängning av Tp84 skall genomföras torde vara en för snäv avgränsning, eftersom denna handlingsväg kan behöva jämföras mot nyanskaffade flygplan. Att studera lämplig framtida utformning av flygtransportflottan är då en lämpligare avgränsning. Att däremot vidga perspektivet till att omfatta alla framtida transportresurser inom hela försvarsmakten kan nog däremot vara en för vid problemformulering. Redan på detta stadium behöver också de ekonomiska ingångsvärdena till studien klarläggas.

Därefter följer **alternativformuleringen**, där man tar fram de olika tänkbara alternativen till lösning, och information om dem samlas in. I fallet flygtransport klarläggs alltså vilka olika flygplanalternativ som finns att välja mellan, och bl.a. deras prestanda, kostnader och tidsförhållanden för att anskaffa dem. Om fler alternativ är tänkbara än studien kan behandla är det viktigast att täcka in de som är principiellt olika, t.ex. större respektive mindre transportflygplan, enhetsflotta eller blandad flotta.

I **analysfasen** jämförs alternativen mot varandra. Ofta är detta den tidskrävande av de fyra faserna, och det är här simuleringsmodeller, beräkningar och spel framför allt kan komma till användning. Kärnan i analysen är att ta fram alternativens **effekt** för att sedan kunna jämföra effekt och **kostnad** i ett sammanhang. Att utvärdera effekten är normalt inte alls trivialt. Eftersom det som efterfrågas är effekten i ett operativt sammanhang, behöver normalt den operativa inramningen klarläggas i form av scenarier, hotnivå, egna styrkor, uppgifter, tidsförhållanden o.s.v. Det är därför viktigt att välja ett relevant **effektmått**. Normalt är utmaningen att inte fastna enbart i tekniska prestanda för systemen, utan att "lyfta" dem till taktisk eller operativ nivå. Valda effektmått bör också vara i samklang med problemformuleringen. Ett exempel: den maximala lastkapaciteten uttryckt i ton per lyft hos en uppsättning flygplan behöver inte vara det relevanta effektmåttet, om de flesta scenarier innebär att flygplanen ej kommer att utnyttjas med maxlast, och dessutom olika flygplan kan användas på olika många flygplatser och har olika teknisk tillgänglighet. I detta fall är det troligtvis mer relevant att använda total lastkapacitet per dygn (efter hänsyn till scenariobundna faktorer), eller total tidsåtgång för att genomföra ett operativt relevant större transportuppdrag. (Tänkbara effektmått för

lufttankning diskuteras i bilaga 5.) Som förstås är det i denna fas som **kapacitetsberäkningar** kommer till användning i en studie som avser anskaffning av transportflyg. I det tidigare avsnittet om kapacitetsberäkningar för olika syften kommenterade vi vilka typer av beräkningsverktyg som torde vara av värde just för analyser av flygtransporter.

Efter analysen genomförs **alternativvärdering**. Alternativen ställs mot varandra i en kostnads-effektjämförelse. I de flesta fall är urvalskriteriet sådant att alternativet som har högst effekt till given kostnad är det som är ”bäst”. Här måste man också ta hänsyn till osäkerheter, vilket t.ex. kan innebära att två alternativ är så gott som likvärdiga; skillnaden mellan dem är för liten för att vara relevant med hänsyn till osäkerheter. Olika former av resultattolkning och bedömningar hör också hemma här. Finns viktiga faktorer som inte har kunnat vägas in i effekten, t.ex. olika krav på utbildningssystem?

Slutligen, när studien är färdig, är det dags att formulera en **rekommendation**. Denna måste självfallet formuleras på ett sådant sätt att uppdragsgivaren och beslutsfattare kan ta den till sig. Det är inte lämpligt att bara beskriva vilket alternativ som rekommenderas, utan studien måste också tydligt förklara *varför* detta alternativ visade sig vara det mest lämpliga. Detta innebär att pedagogiskt förklara vilka faktorer som blev utslagsgivande, och varför dessa är väsentliga givet problemformuleringen.

Förhoppningsvis följs sedan rekommendationen av **implementering**. Det är viktigt att komma ihåg att enbart en överlämnad skriftlig rapport ofta inte räcker för att övertyga en beslutsfattare, utan att föredragningar och andra former av informations- och marknadsföringsverksamhet ofta är nödvändigt.

När det är frågan om stora materielobjekt, som nyanskaffning av transportflyg, är ställningstaganden inom ramen för perspektivplaneringen (PerP) viktig. Jämfört med den tiden när de separata försvarsgrensledningarna fanns (1998), torde PerP idag vara viktigare för materielobjektens ”öde”. Om ett materielobjekt vinner PerP:ens gillande, och ekonomiskt utrymme för det finns, går implementeringen sedan över i en materielplanering och själva anskaffningsprocessen. Materielanskaffningsprocessen med dess målsättningsarbete och typer av dokument beskrivs närmare i H MÅL<sup>68</sup>, och vi tänkte därför inte försöka oss på att beskriva denna i sin helhet. Det bör dock påpekas att det finns överlapp mellan studiegenomförandet som det beskrivits ovan och målsättningsarbetet. De inledande målsättningsdokumenten, UTOEM för förband, UTTEM och eventuell Systemplan A för materiel, bör produceras av studien. Att sedan förfina dessa dokument till sin slutliga form bör därefter normalt vara ett linjearbete (KRI) snarare än en fortsatt studie, men med utgångspunkt från studiens resultat, och i nära samarbete med FMV och andra intressenter (i detta fall KRI LUFT och F7). För att säkerställa kontinuitet i arbetet är det en fördel om personal som blir inblandad i detta skede finns representerade redan i studien. FMV har dessutom en viktig roll som

---

<sup>68</sup> H MÅL (1997). Processen som den beskrivs i H MÅL är i första hand avpassad för egenutveckling av materiel, snarare än direktanskaffning av färdigutvecklade objekt, vilket torde bli fallet vid anskaffning av transportflygplan. I det senare fallet finns färre parametrar att variera, och risknivån är lägre. Ett visst mått av förenkling och flexibilitet kan därför tillämpas utan att beslutskvaliteten går förlorad. En ny utgåva av H MÅL är under färdigställande.

underlagslämnare i de tidiga studieskedena, eftersom studien behöver marknadsöversikt över tillgänglig materiel, samt deras tekniska prestanda och ekonomiska data.

Det är dock viktigt att principiellt skilja på studien och den renodlade materielanskaffningsprocessen, eftersom frågeställningarna är olika. Det är därför naturligt att ledartröjan för arbetet byts. I själva studien, som leds av Försvarmakten, är det viktigt att det operativa inflytandet är tungt, så att bl.a. relevanta scenarier och nyttjandepprinciper identifieras, den operativa omgivningen identifieras och andra frågor än själva materielen behandlas, t.ex. personella konsekvenser. Här undersöks om materielslaget överhuvudtaget bör anskaffas, och mycket olika alternativ kan jämföras. I materielanskaffningsprocessen, där FMV har tagit över den ledande rollen, är frågeställningen snävare, och det gäller istället att göra en bra anskaffning. Många detaljer måste då penetreras mycket djupare, t.ex. driftprofiler, livslängder och delsystem, för att säkerställa att försvaret får bästa värde för pengarna.

## 7. Rekommenderad modell – Transportflygkalkyl TPK

För denna rapportens räkning har FOI även arbetat fram ett eget förslag till beräkningsmodell – Transportflygkalkyl TPK. Modellen är konstruerad för att kunna användas i försvarsplanering, men också för att passa studiearbetet kring framtida svensk lufttransportfunktion. I TPK har vår ambition varit att dra nytta av de metodkunskaper som upparbetats under metodinventeringen och bygga en modell som är väl anpassad för behoven i studie Air mobility. Modellen som byggts är ett kalkylverktyg, som arbetar med lastklassning motsvarande den i EU-modellen, kan hantera olika scenarier som indata och kan genomföra en enklare känslighetsanalys. En mer utförlig instruktion av hur modellen används återfinns i bilaga 2.

### 7.1. Antaganden och förenklingar

Lasten i modellen indelas i fyra lastklasser med samma beteckningar som flygplanens storleksklasser i tabell 5 (general cargo, outsize minor, outsize medium och outsize major). Lastklassen är den minsta storleksklass som krävs av det flygplan som skall transportera den. All last som får plats i en C-130 tillhör således lastklassen general cargo. I modellen finns flygplan som är mindre till storlek och lastkapacitet än vad C-130 är (t.ex. C-27). Dessa anses ändå kunna transportera samma last som C-130. Detta innebär visserligen en förenkling, men vinsten med att införa fler klasser får anses tämligen liten eftersom de större och tyngre lasterna, normalt sett, är de som är svårast att transportera.

I modellen finns ett antal laster uppräknade i ett lastbibliotek och några exempel på truppenheter som skall transporteras. Vid användande av modellen bör det observeras att detta enbart är exempel tänkta för att visa hur modellen fungerar. För att få en bra beskrivning av ett scenario eller transportuppgift är det viktigt att arbeta med så pass korrekta och realistiska lastdata som möjligt. Därför bör en mer noggrann genomgång av laster och förband göras när modellen skall användas skarpt.

Förutom lastklasserna ovan kan transport av passagerare också hanteras i modellen. Passagerare räknas enbart in med den yta de tar upp i flygplanet. Detta görs för att förenkla beräkningarna. Att passagerarkapaciteten beräknas med en standardiserad ”golvyta” gör att flygplan i större klasser får en något för stor transportkapacitet vad gäller personaltransport, ca 10-15 % över deras verkliga kapacitet så som den anges i specifikationer. Felet är dock såpass litet att det inte bedöms påverka resultatet av beräkningen i någon större utsträckning.

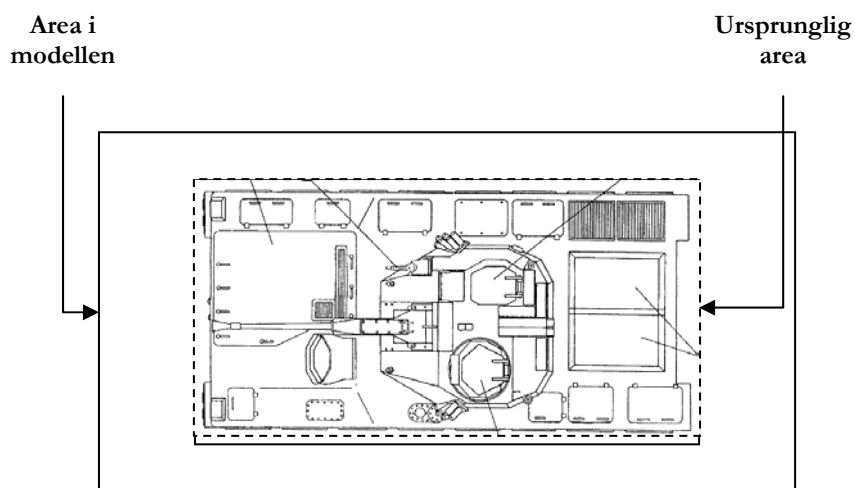
Vid tidsberäkning utgår modellen ifrån vald typflotta som basen för beräkning. Detta får konsekvenser för flygplansdata såsom hastighet och räckvidd. Modellen använder här det viktade medelvärdet av egenskaperna för samtliga flygplan som ingår i typflottan. Exempelvis kommer medelhastigheten  $\bar{v}$  hos en typflotta bestämmas enligt följande samband:

$$\bar{v} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^q v_i * n_i$$

Där  $m$  är totala antalet ingående flygplan i typflottan,  $q$  är antalet flygplantyper,  $v_i$  är det individuella flygplanets hastighet och  $n_i$  är antalet flygplan av en viss modell som ingår i typflottan. Samma slags beräkning görs för räckvidd, marktider och teknisk tillgänglighet.

För flygtransport finns ett förhållande mellan räckvidd hos flygplanet och hur mycket last som fraktas. I modellen görs förenklingen att flygplanen lastas nära maximal last, vilket antas vara 90 % av maximal last. Detta får dock konsekvenser för flygplanets räckvidd. Ett antagande görs om att lastning till 90 % av maxvikt ger en räckvidd som motsvarar 45 % av den maximala<sup>69</sup>. Om ett uppdrag planeras där transportavståndet överstiger räckvidden beräknar modellen automatiskt in tider för mellanlandningar för att fylla på bränsle.

För ett givet scenario summerar modellen all last i varje lastklass. För att få fram det antal flygrörelser som krävs för att transportera lasten, divideras sedan lasten med befintlig transportkapacitet i den lastklassen. Implicit görs här ett antagande om att alla laster är delbara. Ett konkret exempel på konsekvenser av detta antagande är att om ett stridsfordon skall lastas ombord på ett flygplan och bara ”halvt” får plats, kan den delas upp och transporteras i två bitar av två olika transportplan. Detta är en förenkling modellen gör som får till följd att lastkapacitet hos typflottan överskattas.



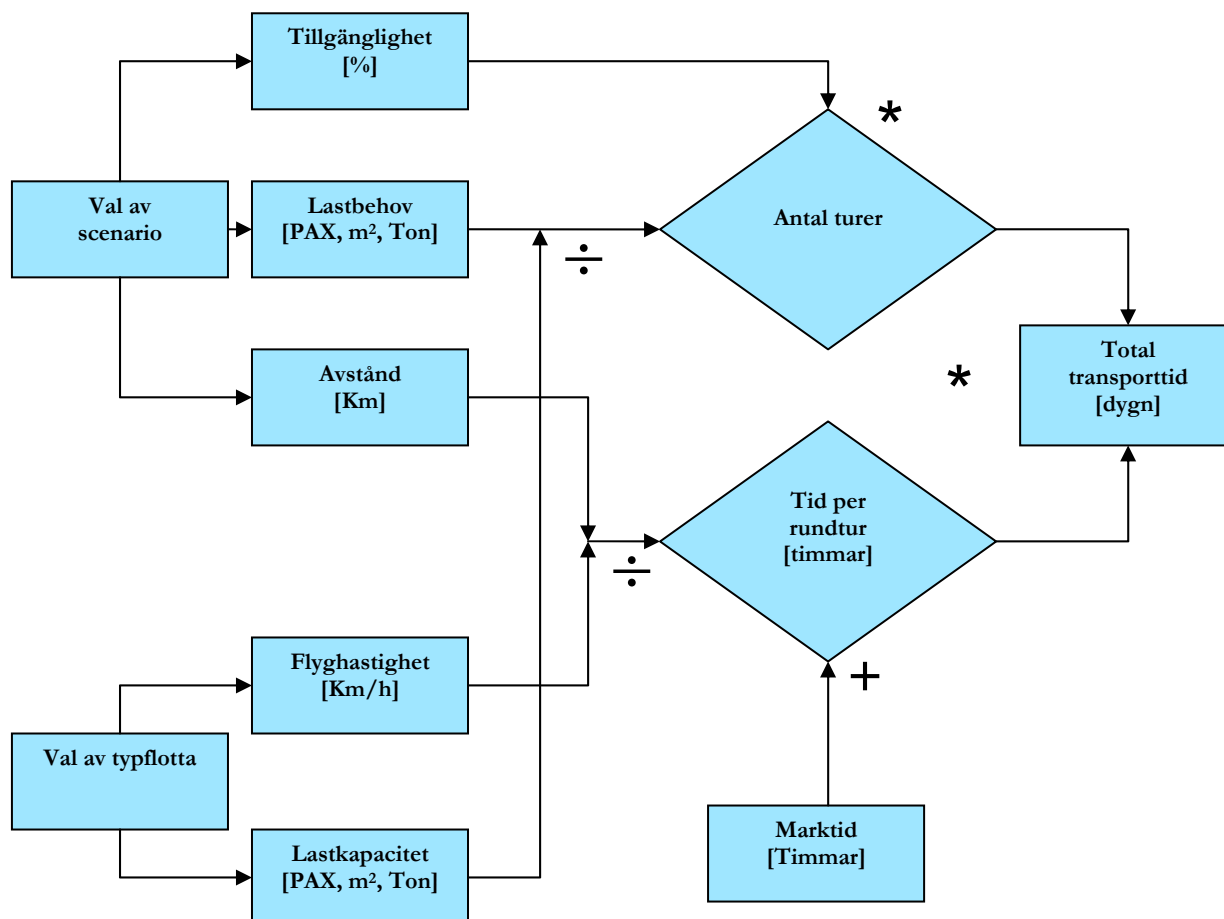
*Figur 16. Modellen kompenserar för problemet med ”delbara laster” genom att skrymmande last tar upp större yta.*

Modellen kompenserar för detta genom att laster i högre klasser (outside) tar upp mer lastutrymme än vad lastens storlek kan synas motivera. Stridsfordonet i exemplet ovan kommer genom denna kompensation att ha ett större ”fotavtryck” och ta upp större area än vad den egentligen är lång och bred. Detta visas i figuren ovan. I modellen finns standardmått för hur pass mycket större yta lasten skall ta upp. De är empiriskt anpassade för att ge rimliga värden för typiska laster och flygplan, men kan ändras av användaren om så önskas.

<sup>69</sup> Inledningsvis var avsikten att implementera en beräkning av sambandet mellan last och räckvidd, vilket dels beror på varierande bränsleåtgång och dels på att bränslemängden måste minskas vid tung last. De data som behövdes för att genomföra dessa beräkningar på ett rättvisande sätt var svårtillgängliga för vissa flygplanstyper, och därför valdes istället denna typ av ”tumregel”, med utgångspunkt från grafiska last-räckviddsdiagram.

## 7.2. Beräkning

Modellen kan användas på två sätt: antingen specificeras flygplan och laster, och då beräknar TPK den tid som åtgår för transporten. Eller så specificeras laster och tillgänglig tid, och då beräknar TPK hur många flygplan av specificerade typer som krävs. Utgångspunkten för modellen är planering utifrån ett antal givna scenarier. Modellen är tänkt att kunna utvärdera de flygtransportscenarier som tas fram i studien. Ett scenario i modellens mening innebär, en viss last som skall flyttas till en viss plats, inom en angiven tidsram. En skiss över hur modellen arbetar finns i figur 17 nedan.



Figur 17. Processchema – TPK. Uppdelningen i last- och storleksklasser framgår inte explicit av figuren, men ingår i modellen. Jämför med EU-modellen i figur 12.

I modellen finns flygdata för tio olika modeller av transportflygplan lagrade. Ambitionen har varit att täcka in ett spann av de plattformar som finns tillgängliga idag. Data som inhämtats är främst lastkapacitet, vilken typ av last som kan fraktas, räckvidd och flyghastighet (samtliga data finns presenterade i bilaga). De uppgifter som anges för varje scenario är last, tidsuppgifter (när respektive last skall anlända till operationsområdet), och avstånd till insatsområdet. Lasten anges dels med viktmått (antal ton) men också med längd bredd och höjd. Modellen använder sig av liknande lastindelning som EU-scenarierna, vilket innebär att vissa laster enbart kan medföras på större typer av flygplan. Modellen skiljer först på passagerare och last. Lasten delas sedan in i fyra olika lastklasser, general cargo, outsize minor, outsize medium och outsize upper, som tidigare beskrivits.

Beräkningsgången i modellen finns (något förenklat) återgiven i figuren ovan. Tre stycken större grupper av ingångsdata finns i modellen, ”Val av scenario”, ”Val av typflotta”, och ”Tekniska data”. Scenariovalet styr i sin tur vilka laster som skall transporteras, vilka transportavstånd det är fråga om och vilka tidsramar som finns för uppgiften. Med en typflotta menas en tänkbar framtida utformning av transportflottan, i form av vilka plattformar som ingår. Modellen kan hantera upp till tio sådana typflottor, som antingen kan bestå av en enda typ av transportflyg, eller en blandad transportflotta med flera olika plattformar. Utformningen av typflottan bestämmer i sin tur lastkapacitet och flyghastighet.

Beräkningen inleds med att modellen gör en skattning av det antal turer som krävs för att transportera all last och samtliga passagerare. Detta sker enkelt genom att, för varje lastklass, dividera ”last att transportera” med typflottans lastkapacitet i respektive klass. Modellen testar om lasten inom respektive klass är begränsad av vikt eller area, genom att först räkna ut antalet flygrörelser givet att all last är viktbegränsad, sedan beräkna antalet rörelser givet att ”golvyta” i flygplanet är den begränsande faktorn. Den faktor som mest begränsar transportkapaciteten inom klassen väljs som styrande. Matematiskt kan detta uttryckas som:

$$\text{Antal flygrörelser} = \max \left[ \frac{\text{Last}_{\text{area}}}{\text{Kapacitet}}, \frac{\text{Last}_{\text{vikt}}}{\text{Kapacitet}} \right]$$

Ur detta samband fås det antal turer som krävs för att genomföra transporten. För att komma till ett uttryck i tid, krävs nu en skattning av flyg- och marktider. Marktider för samtliga typer av flygplan finns lagrade i modellen. Dessa data kan ändras av användaren. Tiden för en rundtur beräknas som summan av flygtid, marktid och eventuell tid för mellanlandningar. Om avståndet lasten skall transporteras överskrider medelräckvidden hos typflottan, räknar modellen automatiskt in mellanlandningar för påfyllning av bränsle. När tiden per rundtur är bestämd kan den totala transporttiden beräknas som:

$$\text{Total transporttid} = \text{Antal flygrörelser} * \text{Tid per rundtur}$$

I modellen finns även möjlighet att genomföra en känslighetsanalys av resultatet. Denna räknar ut resultat givet att indata förändras från det värde som är givet i ursprungskalkylen.

### **7.3. Validering**

Validering av en modell innebär att den undersöks experimentellt eller logiskt för att undersöka om den är invändningsfri och effektiv. Används en välkänd modell eller delmodell kan man anta att denna process redan är genomförd. I fallet TPK är dock modellen byggd från grunden för en specifik uppgift. Det är därför önskvärt att genomföra någon sorts validering av den.

En enklare empirisk validering av TPK har genomförts. Syftet med denna var att jämföra modellens resultat med erfarenheter från transportflygheten vid F7 i Såtenäs. Gjorda antaganden gicks igenom och resultat av beräkningar med TPK jämfördes med data från faktiska flygningar, varefter vissa smärre revideringar genomfördes för att komma fram till den version som redovisas här.

## 8. Slutsatser

Nedan följer några slutsatser av mer generell karaktär som framkommit under arbetet med denna rapport.

Hur stor den totala kapaciteten är hos ett visst transportsystem beror på en flora av faktorer där själva plattformen är en del. RAND delar upp problemet i fyra olika faktorer som bestämmer den totala transportkapaciteten:

- De laster som skall transporteras
- De flygfält och rutter som ligger mellan start och mål för transporten
- De markresurser som finns tillgängliga för stöd till transportflyget
- De flygplan som skall utföra transporten och dess besättning

Ofta fokuseras problematiken kring valet av flygplattform. Insikten om att flygtransport består av många fler faktorer än bara själva plattformen är viktig för att få en korrekt beskrivning av problemet.

Det som är betydelsefullt vid utformning och val av modell är att den metodik som skall användas anpassas till de resultat som produceras i studien. Detta innebär i korthet att beräkningsmodellen bör kunna hantera olika scenarier som indata och ha en viss osäkerhetshantering genom någon form av känslighetsanalys.

Ett inköp av en plattform för flygtransport bör ses som en långsiktig investering. Den första C-130 Hercules som köptes för Flygvapnets räkning har varit i bruk sedan 1965. Även om detta får anses som tämligen lång livstid, visar det på att flygtransportsystem är en satsning på längre sikt. Detta får också konsekvenser för hur kapacitetsberäkningar och lastuppskattningar bör genomföras. I och med att ett framtida system kommer vara i drift under ett antal år framöver är det lämpligt att basera beräkningarna på tänkbara framtida laster, snarare än dagens befintliga förband och system. Vägledning till hur framtida förband kommer att vara uppbyggda kan exempelvis hämtas från Perspektivplaneringen (PerP). Inom ramen för denna görs detaljerade skisser av hur framtida förband kan utformas. Detta är en bra utgångspunkt för att studera vilka system eller förband som kräver flygtransport i längre tidsperspektiv.

Oavsett valet av modell är det viktigt att komplettera med någon form av skattning av osäkerhet. Eftersom de faktorer som skall tjäna som indata till modellen är dagens gissningar om vilka förhållanden som kommer att råda 10-20 år framåt i tiden är det betydelsefullt att utöka denna med ett grovt överslag av osäkerheterna. Detta kan t.ex. göras med en känslighetsanalys, där storleken på indata får variera och effekterna på resultatet sedan analyseras. Detta ger en inblick i hur kalkylen skulle komma att påverkas om förutsättningarna förändras. Känslighetsanalys bör också finnas med i ekonomiska kalkyler såsom livscykelanalyser (LCC).

Den indelning av last som används i EU-styrkans planeringsmodeller kan vara ett lämpligt verktyg att använda i svenska beräkningsmodeller. Den kan bidra till att förenkla beräkningar genom att planeringen av last kan göras på ett smidigt sätt. Att uttrycka lasten



i linjemeter kan vara att föredra framför dess vikt i ton beror på att det oftast är flygplanets volym som först fylls upp snarare än att maxvikten för transport nås. Det går visserligen att hitta ett stort antal laster som är för tunga för att transporteras med en viss typ av transportflygplan, men baserat på tidigare arbeten inom området framstår lastvolymen som en större begränsade faktor för transportkapaciteten än vikten.

En indelning av laster i lastklasser kan utgöra ett bra verktyg för att underlätta modelleringen. Den klassning som ofta används är indelning i general cargo och outsize eller wide body cargo.

Genom att kombinera resultat från flera olika beräkningsmodeller kan bättre noggrannhet i resultaten uppnås. Många av de modeller som studerats i arbetet är implementerade i kalkylprogram (Excel eller motsvarande). Detta format gör det lätt att kombinera data från flera olika modeller. Det finns modeller som är specialiserade på att lösa en del av problematiken kring Air Mobility, såsom ACE som beräknar marktider och flygplatskapacitet. Fördelen är att det område som modellerna är satta att hantera blir noggrant kartlagt, vilket också gör att beräkningsresultaten blir av högre kvalitet än om endast en heltäckande modell används. Nackdelen med att använda en sådan metod är att det uppstår merarbete genom att flera modeller och program skall användas och samköras.

Modeller som NRMO har mycket stor beräkningskraft och kan sammanhålla hundratals olika transporter och på så sätt beskriva ett mycket stort system. Det är lätt att tro att modeller av denna typ även är ett bra val för svenska förhållanden. Denna typ av modell har dock en överflödig beräkningskraft för våra nationella behov och kräver stora mängder indata. Tillräckligt goda resultat kan uppnås med enklare, och mindre svårhanterliga modeller. NRMO har en naturlig plats för optimering av större transport-system, som t.ex. operativ planering inför en insats på EU-nivå. För nationell svensk försvarsplanering är den huvudsakliga frågan som skall besvaras av en något mer av typen hur många flygplan och av vilken sort behöver vi för att lösa framtida transportuppgifter.

Sjö- och flygtransport kompletterar i hög grad varandra vid insatser. Det är sällan som all materiel kan transporteras luftledes eftersom flygkapacitet ofta är en mycket knapp resurs och en som kostar mycket pengar. Att transportera all materiel sjövägen är ofta alltför tidskrävande. I många typer av insatser är tiden också en kritisk faktor (jämför CP-scenariot för EU-styrkan) vilket innebär att det är viktigt att snarast möjligt få en styrka på plats i insatsområdet.

Detta innebär att i flertalet tänkbara insatser krävs en kombination av dessa två. Frågan är då hur stor andel av det som skall transporteras till operationsområdet kan gå sjövägen och hur stor del måste transporteras via flyg. I rapporten kring EU-styrkans transportbehov utfördes bedömningar baserade på erfarenhet av hur stor andel av total materiel som behövde gå med flyg. Rapportens slutsats var att, i normalfallet, behöver ungefär fem till tio procent av den totala mängden last fraktas via flyg. Däremot kan det i enskilda fall förekomma stora avvikelser från denna siffra. I ett av scenarierna (NEO) beräknas 100 % av all last ske med flygtransport, visserligen är styrkan som skall transporteras då mindre än i övriga scenarier men det är värt att notera att sådana fall kan förekomma.

Kapacitetsberäkningar för sjötransport skiljer sig väsentligt från flygtransportens beräkningar. För sjötransport behöver inte vikten på lasterna beaktas på samma sätt som för flyg. Snarare är lastens totala volym den faktor som begränsar kapaciteten. Tillgången på kommersiell sjötransport är också mycket större än tillgången på flygtransport, Skrymmande och tunga laster är betydligt enklare att transportera till sjöss. Nackdelen är dock de långa transporttiderna för båttrafik, vilket i sin tur påverkar hur långa förberedelsestider som krävs för en insats.

## Referenser

- AFDD 2-6 (1999): *Air Mobility Operations*, Airforce Doctrine Document 2-6, US Airforce, 25 juni 1999.
- AFDD 2-6.2 (1999): *Air Refueling*, Airforce Doctrine Document 2-6.2, US Airforce, 19 juli 1999.
- Airbus (2002): *The Pocket Guide to A400M – The Versatile Solution to Airlift Needs*, Airbus Military, AM/C 556.0153/00, april 2002. Motsvarande information finns även på webbplatsen <http://www.airbus-military.com/index.html>
- Airforce Tech (www): Webbplats <http://www.airforce-technology.com/projects/mrvt/index.html#specs>
- Airplan (www): Webbplats <http://www.air-refueling.com/>
- Annati, M. (2000): *Strategic Airlift & Sealift: a New Challenge for Europe*, Military Technology, 2000, No. 2, p. 22-31.
- AP3000 (1999): *British Air Power Doctrine, Third Edition*, AP3000, Ministry of Defence, London, 1999.
- ATP-56A (2000): *Allied Tactical Publication ATP-56(A) – Air to Air Refuelling*, NATO Military Agency for Standardization, november 2000.
- Baker, S. F., D. P. Morton, R. E. Rosenthal & L. M. Williams (2002): *Optimizing Military Airlift*, Operations Research, Vol. 50 No. 4, July-August 2002, p. 582-602.
- Edlund, P.-O. (1999): *Beslutsmodeller - redskap för ekonomisk argumentation, 4. uppl.*, Studentlitteratur, 1999
- Ekman, Olof (2002): *Commercial Air Freight in Future Multinational Operations*, FTK Utvecklingsavdelning, 2002-05-20.
- Eriksson, Tomas (2002): *Framtida markstridsutveckling – En underlagsrapport från arbete inom FoRMA/PERP år 2001*, FOI-R--0403--SE, mars 2002.
- EU (2000a): *Strategic Transport Working Group Paper: Helsinki Headline Goal Strategic Lift*, EU Defence, 2000-10-11.
- EU (2000b): *Helsinki Headline Goal: Strategic Transport Catalogue*, EU Defence, 2000-10-19. (Confidential)
- EU (2000c): *Presidency Report on the European Security and Defence Policy*, EU Document Nr 14056/3/00, 2000-12-13.
- Hoffer, S., F. Berardino, J. Smith & S. Rubin (1998): *Economic Values for Evaluation of Federal Aviation Administration Investment and Regulatory Decisions*, FAA-APO-98-8, U.S. Federal Aviation Administration, June 1998.
- FAS (www): Federation of American Scientists, Military Analysis Network, webbplats <http://www.fas.org/man/index.html>
- FMV (2001a): L. Pettersson, *Systemanalys: Lufttransportfunktion i de svenska luftstridskrafterna*, FMV Analys 05 340:39657/01, 2001-10-12.
- FMV (2001b): L. Pettersson, *Sammanfattning och rekommendationer för införande av lufttankningsfunktion i de svenska flygstridskrafterna*, FMV Analys 05 340:30961/01, 2001-08-24.
- Granholt, Niklas (1999): *Det politiska priset kan bli högt för att vi kom så sent till Kosovo*, FOA-tidningen, Nr 5 1999, s. 13-15.
- Hillier, F. S. & Lieberman, G. J. (1995): *Introduction to Operations Research, 6th Ed.*, McGraw-Hill, 1995.
- H Int tp 2000 Fu: *Handbok för Försvarsmaktens internationella transporter 2000 Förhandsutgåva*, HKV 09 834:73575, 1999-11-26, M 7753-704100.
- H MÅL (1997): *Försvarsmaktens handbok för målsättningsarbete*, HKV 1997-05-30, M 7740-724101.
- HStud del 2 (1999): *FM Studiehandbok Del 2: Genomförande av en studie (Förhandsutgåva)*, HKV Strat 21 120:, 1999-04-26.

- Jane's (1995): P. Jackson (Ed.), *All The World's Aircraft 1995-96*, Jane's Information Group, Coulsdon, 1995.
- JDW (2002): *Germany commits to 60 A400Ms*, Jane's Defence Weekly, 11 Dec, 2002.
- JDW (2003a): *UK moves to expand air transport fleet*, Jane's Defence Weekly, 5 Feb, 2003.
- JDW (2003b): *A400M partners agree new unit price*, Jane's Defence Weekly, 5 Mar, 2003.
- JDW (2003c): *Russian air force chief slams An-70*, Jane's Defence Weekly, 29 Jan, 2003.
- JP 4-01.1 (1996): *Joint Tactics, Techniques and Procedures for Airlift Support to Joint Operations*, Joint Publication 4-01.1, US Joint Chiefs of Staff, 20 juli 1996.
- Kaufman, G. (2002): *Nations Facing Similar Strategic Airlift Shortages*, Defense News, 2002, May 20-26, p. 32-34.
- Lumsden, Kent (1998): *Logistikens grunder*, Studentlitteratur, 1998.
- Lundgren, J., M. Rönnqvist & P. Värbrand (2001): *Linjär och icke-linjär optimering*, Studentlitteratur, 2001.
- Mattock, M. G., J. Schank, J. P. Stucker & J. Rothenberg (1995): *New Capabilities for Strategic Mobility Analysis Using Mathematical Programming*, RAND Report MR-296-JS, 1995.
- Military Balance (2002): *The Military Balance 2002-2003*, The International Institute for Strategic Studies/Oxford University Press, 2002.
- PerP (2001): *Årsrapport från perspektivplaneringen 2000-2001: Försvarmaktsidé och målbild – rapport 5*, HKV 23 210:62144, 2001-02-26.
- PerP (2002): *Årsrapport från perspektivplaneringen 2001-2002: Idébilder och fördjupningsområden inför Förvarsbeslut 2004 – rapport 6*, HKV 23 210:62285, 2002-02-28.
- PerP (2003): *Årsrapport från perspektivplaneringen 2002-2003: Målbildsinriktningar inför Förvarsbeslut 2004 – rapport 7*, HKV 23 210:63182, 2003-02-28.
- Rappoport, H. K., L. S. Levy, B. L. Golden & K. J. Toussaint (1992): *A Planning Heuristic for Military Aircraft*, Interfaces, Vol. 22 No. 3, May-June 1992, p. 73-87.
- Pidd, M. (1996): *Tools for Thinking – Modelling in Management Science*, Wiley, 1996.
- Schank, J., J. P. Stucker, M. G. Mattock & J. Rothenberg (1994): *New Capabilities for Strategic Mobility Analysis: Executive Summary*, RAND Report MR-294-JS, 1994.
- Schank, J., M. G. Mattock, G. C. Sumner, I. Greenberg, J. Rothenberg & J. P. Stucker (1991): *A Review of Strategic Mobility Models and Analysis*, RAND Report R-3926-JS, 1991.
- Solana, J. (2001): *European Defence: the task ahead*, European Voice, 24 October 2001. Tillgänglig via webbplatsen <http://www.europa.eu.int>
- Solanki, R. S. & F. Southworth (1991): *An Execution Algorithm for Military Airlift*, Interfaces, Vol. 21 No. 4, July-August 1991, p. 121-131.
- Stucker, J. P. & L. M. Williams (1999): *Analyzing the Effects of Airfield Resources on Airlift Capacity*, RAND Report DB-230-OSD, 1999.
- Stucker, J. P., R. Berg, A. Gerner, A. Giarla, W. L. Spencer, L. A. Arghavan & R. Gates (1998), *Understanding Airfield Capacity for Airlift Operations*, RAND Report MR-700-AF/OSD, 1998. Anmärkning: I denna rapport beskrivs den Excel-implementerade RAND-modellen ACE (Airfield Capacity Estimator), som kan laddas ner från webbplatsen <http://www.rand.org/publications/MR/MR700/ACE/>
- Taha, Hamdy A. (1997): *Operations Research - An Introduction*, 6th edition, 1997, Prentice Hall, NJ.
- Tirpak, J. A. (2001): *The Airlift Shortfall Deepens*, Airforce Magazine, US Airforce, April 2001, p. 54-58.
- TpR Allm (1996): *Transportreglemente för Försvarmakten, Allmän del*, HKV 15 200:70577, 1996-10-09, M 7753-700201.

TpR Flyg (1998): *Transportreglemente för Försvarmakten, Flygtransporter*, HKV 15 200:65879, 1998-05-06, M 7753-700231.

Transall (www): Webbplats för Transall C-160, 1.divisionen, flygtransportflottilj 61 (LTG 61), Luftwaffe. <http://www.transall.de/index1.htm>, samt <http://www.forsti.de/>

USAF Fact Sheets (www): Webbplats [http://www.af.mil/news/indexpages/fs\\_index.shtml](http://www.af.mil/news/indexpages/fs_index.shtml)

WEU (1995): *Military airlift - prospects for Europe (Report submitted on behalf of the Technological and Aerospace Committee by Mr. Alexander, Rapporteur)*, Western European Union (WEU) Assembly Document 1484, 6 november 1995.

## Förkortningar och begreppsförklaringar

Heuristik	I allmänhet: Metod att upptäcka eller bilda ny (vetenskaplig) kunskap. Används här om vissa typer av algoritmer och beslutsregler i datormodeller. Modeller som bygger på heuristiska algoritmer använder sig av ”tumregler” för att hitta en bra lösning, snarare än optimering.
LIM	Linjemeter, används som mått vid planering av transportbehov och är ett alternativ till att mäta lastens massa (exempelvis i ton). Mäter lastens totala längd, när fordon och ev. containrar ställs på rad.
Linjärprogrammering	En vanlig matematisk metod för att lösa optimeringsproblem, den enklaste typen av metoder för matematisk programmering.
Matematisk programmering	En familj av optimeringsmetoder. Kräver ett matematiskt formulerat problem, men ger å andra sidan en optimal lösning.
PAX	Passagerare
PerP	Perspektivplanering, försvarsmaktens verksamhet inom långsiktig planering, bl.a. som underlag inför försvarsbeslut.

## Begrepp och förkortningar på engelska

Begrepp som skiljer sig åt anges som (USA), (UK) eller (NATO).

AAR	Air-to-air refuelling, lufttankning (NATO, UK)
ACE	Airfield Capacity Estimator (simuleringsmodell avseende kapacitet och tidsåtgång på flygplats, framtagen av RAND)
Airlift	Flygtransport (USA)
Air mobility	“Flygstödd rörlighet”, ett begrepp som omfattar såväl flygtransport (airlift) som lufttankning (air refueling) och ledning/stöd av dessa verksamheter.
Air refueling	Lufttankning (USA)
Air transport	Flygtransport (UK)
AMC	Air Mobility Command, amerikanskt flygtransportkommando underställt USTRANSCOM
AOR	Area of Responsibility, geografiskt ansvarsområde
APOD	Aerial Point of Debarkation, urlastningspunkt (flyg)
APOE	Aerial Point of Embarkation, ilastningspunkt (flyg)
CINC	Commander-in-Chief, högste befälhavare för amerikanska styrkorna i en region av världen, eller för en funktion. Det finns fem regionala och fyra funktionella CINC (bl.a. USTRANSCOM) i den amerikanska ledningsorganisationen. Normalt en gemensam fyrstjärnig befattning.

CONUS	Continental US, kontinentala USA
Hub and spoke	Nav och ekrar, ett transportupplägg med omlastning i ett centralt nav; normalt långväga transport till navet och kortväga transport i ekrarna.
LCC	Life Cycle Cost, livscykelkostnad, används bland annat för att jämföra olika investeringsalternativ genom att uppskatta kostnader under systemets hela livslängd.
NRMO	NPS/RAND Mobility Optimiser, simuleringsmodell för ruttplanering av transportresurser som utnyttjar linjärprogrammering, framtagen av Naval Postgraduate School och RAND.
OSA	Operational Support Airlift, specialtransport av små nyckellaster och nyckelpersonal, inkl. VIP-transporter
SIOP	Single Integrated Operational Plan, den operativa planen för att genomföra ett kärnvapenanslag mot f.d. Sovjetunionen; ursprunget till att lufttankningsstyrkan anskaffades.
SPOD Theater	Sea Point of Debarkation, urlastningshamn Generellt: krigsskådeplats. Oftast avses en CINC:s geografiska ansvarsområde, typiskt en hel världsdelen eller ett världshav med randområden.
USTRANSCON	US Transportation Command, högsta kommando för all militär transportverksamhet. Dess flygkomponent är AMC.

## Bilaga 1: Data för några typer av transportflygplan

Huvuddelen av världens tunga militära flygtransportkapacitet utgörs av amerikansk tillverkade plan, främst C-5 Galaxy, C-17 Globemaster III, C-141 Starlifter och C-130 Hercules (se bild nedan, uppräknade i ordning efter fallande lastförmåga). C-130 finns också hos många europeiska länder, och C-17 finns i Storbritannien.



*Figur 18. Amerikanska strategiska transportflygplan.  
Övre raden: C-5 Galaxy och C-17 Globemaster III.  
Nedre raden: C-141 Starlifter och C-130 Hercules.*

Det finns även transportflygplan av europeisk tillverkning. Den fransk-tyska C-160 Transall är mycket lik C-130. Dess höga ålder är en av anledningarna till att A400M, som har nämnts på annan plats i rapporten, planeras för produktion. I storleksklassen närmast under C-130/C-160 finns både den spanska C-295 och den italienska C-27 (äldre versioner kallas även G222).





*Figur 19. Militära transportflygplan av europeisk tillverkning.  
Övre raden: C-160 Transall och C-295. Nedre raden: C-27.*

Av östeuropeisk produktion finns ett antal ryska och ukrainska typer av militära transportflygplan. Il-76 och An-124 är båda arv från Sovjettiden, och återfinns numera på den kommersiella transportflygmarknaden. An-70 är nyutvecklad i Ukraina, även om den verkar gå en osäker framtid till mötes när Västeuropas länder har bestämt sig för A400M. Den har varit påtänkt för rysk/ukrainsk samanskaffning, men har på senare tid blivit kritiserad av ryska flygvapnet<sup>70</sup>.

Några av de viktigaste data för dessa flygplanstyper, som har sammanställts från olika källor<sup>71</sup> sammanfattas i tabell 8 på de följande sidorna.<sup>72</sup>

<sup>70</sup> JDW (2003c).

<sup>71</sup> Airbus (2002), FAS (www), Jane's (1995), Transall (www), USAF Fact Sheets (www).

<sup>72</sup> Dessa data är att se som ungefärliga, eftersom fullt jämförbara uppgifter för bl.a. räckvidd, hastighet och startsträcka (vilka alla beror på last) ej har fåtts fram.



Figur 20. Ryska och ukrainska strategiska transportflygplan  
Övre raden: Il-76 "Candid" och An-124 "Condor". Nedre raden: An-70.

#### Amerikanska flygplan

Flygplan	C-5	C-17	C-141B	C-130H, J, J-30
Lastkapacitet (ton)	122,5 / 131 (krig)	77,5	31,2	20,4 (E) / 19,8 (H) / 21,2 (J, J-30)
Max startvikt (ton)	348,8 / 381,0 (krig)	265,3	146,8	69,8 / 74,4 (J-30)
Lastutrymme (m) <sup>73</sup>	43,8 x 5,79 x 4,11	26,8 x 5,48 x 3,76/4,11	28,4 x 3,12 x 2,77	12,3 / 16,9 (J-30) x 3,12 x 2,74
Räckvidd (km)	9.600 (tom)	8.400 (59 tons last)	4.000	3.200 (H, 16 ton) / 4.400 (J, 17 ton) / 8.400 (H, tom)
Kan lufttankas	Nej	Ja	Ja	Nej / Option (J, J- 30)
Hastighet (km/h) <sup>74</sup>	870	805	805	590 (H) / 670 (J) / 660 (J-30)
Startsträcka (m)	3.700 (full)	915	?	Maxlast: 1.219 (H) / 1.003 (J)
Mått (m) <sup>75</sup>	75,3 x 67,9 x 19,8	53 x 51,8 x 16,8	51 x 48,5 x 11,9	29,3 / 34,7 (J-30) x 39,7 x 11,4

<sup>73</sup> Längd x bredd x höjd. Längdsiffran avser normalt golvetns längd, därutöver kan i en del fall lastrampen vara tillgänglig att lasta på. De två siffrorna för höjden i C-17 avser framför resp. bakom vingarna

<sup>74</sup> I de flesta fall maxhastighet i planflykt, men i några fall marschhastighet med maxlast.

<sup>75</sup> Längd x spännvidd x höjd vid stjärtfenan

**Västeuropeiska flygplan**

<b>Flygplan</b>	<b>A400M</b>	<b>C-160</b>	<b>C-27A</b>	<b>C-295</b>
Lastkapacitet (ton)	37 / 29,5 (taktisk)	16	9	9,7
Max startvikt (ton)	130 / 116,5 (taktisk)	49,2	28	23,2
Lastutrymme (m)	17,71 x 4,00 x 3,85	13,5 x 3,15 x 2,98	8,58 x 2,45 x 2,25	12,7 x 2,7 x 1,9
Räckvidd (km)	4.500 (30 ton) / 9.100 (tom)	1.865 (16 ton) / 5.475 (8 ton)	1.260 (maxlast) / 4.685 (tom)	1.333 (maxlast) / 5.278 (tom)
Kan lufttankas	Ja	Nej	Nej	Nej
Hastighet (km/h)	800	515	487	480
Startsträcka (m)	1.067	899 (maxlast)	686	962 (maxlast)
Mått (m)	42,2 x 42,4 x 14,7	32,4 x 40 x 11,7	22,7 x 28,7 x 10,57	24,4 x 25,8 x ?

**Östeuropeiska flygplan**

<b>Flygplan</b>	<b>An-124 [FAS]</b>	<b>An-70 [Jane's]</b>	<b>Il-76T / TD<sup>76</sup> [Jane's]</b>
Lastkapacitet (ton)	150	35	40 / 50
Max startvikt (ton)	405	130	170 / 190
Lastutrymme (m)	36,5 x 6,4 x 4,4	18,6 x 4,0 x 4,1	20 x 3,4 x 3,46
Räckvidd (km)	4.500 (maxlast) / 16.500	5.530 (30 ton)	TD: 5.000 (40 ton) / 7.300 (20 ton)
Kan lufttankas	Nej?	Nej	Nej
Hastighet (km/h)	865	800	850
Startsträcka (m)	3.000	1.720 (maxlast)	850 / 1.700
Mått (m)	69 x 73,3 x ?	40,2 x 44,1 x 16,1	46,6 x 50,5 x 14,8

*Tabell 8. Data för amerikanska, västeuropeiska och östeuropeiska flygplan*

<sup>76</sup> Il-76T och Il-76TD är civila versioner. Motsvarande militära versioner (Il-76M och Il-76MD) skiljer sig genom att ha ett litet kanontorn och motmedel.

## Bilaga 2: Att använda TPK

Version 1 av TPK är byggd i Excelmiljö, med makron skrivna i Visual Basic. Programmet kan köras på standard PC eller Macintosh. Hela modellen ryms i en arbetsbok och är inte större än att den ryms på en vanlig 3,5" diskett (ca 700K). Modellen beräknar transporttider för förband, men kan också ge besked om hur stor flygtransportflotta som krävs för att klara ett transportuppdrag inom en viss given tid. Det finns tre huvudtyper av parametrar i modellen.

- **Globala parametrar:** Dessa data finns sparade i modellen och antas vara konstanta för alla typer av transporter. Exempel på en global parameter är data för olika flygplanstyper, dessa finns redan inbyggda i modellen och antas vara konstanta för alla typer av uppdrag.
- **Lastparametrar:** I modellen finns ett lastbibliotek som består av ett antal typlaster såsom transportfordon, stridsfordon, containrar etc. Det finns möjlighet för användaren att själv sätta samman enheter och förband med olika last.
- **Scenarioparametrar:** Med ett scenario menas här ett transportuppdrag till en viss given plats, där det också är givet vilka enheter eller laster som skall förflyttas och inom vilken tid transporten skall vara genomförd.



Figur 21. Startmenyn i TPK, knapparna i bildens nedre kant används för att navigera mellan olika kalkylblad i modellen.

För att använda modellen:

1. **Öppna arbetsboken TPK.xls** (CD-ROM medföljer rapporten). Välj "Aktivera makron" i dialogrutan som öppnas. Modellen fungerar inte utan att dessa makron

aktiveras. Det första som visas är den startmeny som finns återgiven i figuren nedan. I denna finns knappar som förflyttar användaren till de olika kalkylbladen i modellen.

2. **Välj de laster som skall ingå i beräkningarna.** Här finns möjlighet att definiera upp till tio olika enheter eller förband som skall ingå i beräkningen. Observera att dessa inte behöver användas direkt, utan kan lagras i lastdata för att användas senare.
3. **Välj typflotta.** Modellen kan hantera tio olika varianter på transportflygflotta. Denna kan i sin tur bestå av upp till tio olika modeller av transportflygplan.
4. **Välj beräkningssätt.** Här finns möjlighet att genomföra två olika typer av beräkningar. För att räkna ut hur lång tid ett transportuppdrag tar, välj "tidberäkning". För att beräkna vilken flygkapacitet som krävs för att klara ett uppdrag inom utsatt tid, välj "kapacitetsberäkning".
5. **Ange scenariospecifika parametrar.**
6. **Analysera resultat och genomför känslighetsanalys.** Resultaten presenteras

Förutom denna arbetsgång finns även möjligheter att styra andra globala variabler i modellen. Från huvudmenyn finns möjligheter att både förändra den tekniska tillgängligheten hos flygplanen och styra de tider som upptas för markservice och mellanlandningar. Detta görs med val av menyn "Marktider" respektive "Tillgänglighet"<sup>77</sup>. Steg två till fem i arbetsgången ovan kommer nu att beskrivas mer i detalj.

## Lastparametrar

Från startmenyn finns en genväg till menyn last. Här finns tio stycken fält med möjlighet att lägga till nya laster eller modifiera de befintliga exempellasterna. I kalkylbladet finns också ett lastbibliotek med ett fyrtiotal olika standardlaster som kan användas för att komponera olika enheter och förband. För att hämta en last från biblioteket är det bara att använda "klippa och klistra" metoden, dvs. hitta den last som önskas, kopiera den från biblioteket (med kommandot copy) och lägga till den i lastlistan.

Ett exempel på hur detta kan gå till följer nedan. Antag att vi vill modellera transport av ett ingenjörskompani. Från ett styrkeregister har vi fått följande uppgifter på hur mycket personal, och vilken materiel som ingår i kompaniet.

Namn	Antal	Personal
Kompani	1	200
PBV 302	9	-
SEP	30	-
CV 90	4	-
Container 20 fot	50	-

Tabell 9. Exempel på last att matas in i TPK.

Både materiel och personal skall transporteras med flyg, därför skall alla styrkeelement i tabellen läggas in som lastdata i TPK. Under menyn last, väljer vi ett nytt blankt datablad.

<sup>77</sup> Det finns även möjligheter att införa data från andra modeller. Ett exempel är att marktiderna kan beräknas med ACE och sedan överförs till TPK.

I lastbiblioteket kan vi nu undersöka vilka av dessa laster som redan finns lagrade i modellen. Till vår glädje upptäcker vi att alla laster finns med måttangivelser (hela lastbiblioteket finns återgivet i bilaga 4).

Det första som bör göras är att ge transportuppdraget ett namn. Detta namn kommer att följa transportuppdraget genom modellen. Vi väljer att döpa vårt till Ingenjörskompani. Detta skrivs in i översta raden på databladet (se figur nedan) Notera att de gula fälten är de som skall fyllas i av användaren, medan de blå inte skall ändras.

Ingenjörskompani									
Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
							PAX	0	0
							General cargo	0	0
							General cargo	0	0
							Outsize minor	0	0
							General cargo	0	0
							General cargo	0	0
							General cargo	0	0
							General cargo	0	0
							General cargo	0	0
							General cargo	0	0
<b>Summa</b>	Pax	GC	Omi	Ome	Oup	<b>Total</b>			
Area (m <sup>2</sup> )	0	0	0	0	0	0			

*Figur 22. I TPK finns tio stycken lastdatablad där laster för enheter och förband kan lagras*

I lastdatabladet finns nu namnet på enheten angivet. Under denna finns tio rader tillgängliga för att skriva in vilka laster som skall transporteras. Vi börjar med att lägga in personalen, ett kompani på 200 man skall transporteras. Från biblioteket kopierar vi in data för ett kompani och i kolumnen antal skriver vi in 200. Databladet får då följande utseende.

Ingenjörskompani									
Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
Kompani	1	0	200	0,8	0,8	1	PAX	0	128,6
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
<b>Summa</b>	Pax	GC	Omi	Ome	Oup	<b>Total</b>			
Area (m <sup>2</sup> )	129	0	0	0	0	129			
vikt (ton)	-	0	0	0	0	0			

*Figur 23. Modellen delar automatiskt in lasten i lastklasser och summerar antalet ton och m<sup>2</sup> som skall transporteras.*

Modellen delar automatiskt in lasten i lastklasser. Vårt kompani har därför fått rubriken ”PAX” i kolumnen lastklass. Att vikten för lasten anges till 0 ton beror på att modellen räknar passagerare efter den golvyta de antas ta upp i flygplanet och inte efter vikt.

På samma sätt läggs nu övriga laster in i databladet. Genom att kopiera in typlaster från biblioteket och sedan ange antal kan hela kompaniet sparas i modellen. Den slutgiltiga lastlistan finns återgiven nedan. All materiel har där delas in i lastklasser.

Ingenjörskompani									
Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
Kompani	1	0	200	0,8	0,8	1	PAX	0	128,6
PBV 302	9	14	0	5,35	2,86	2,39	General cargo	126	137,7
SEP	30	13,5	0	5,9	2,7	1,9	General cargo	405	477,9
CV 90	4	26	0	6,5	3,1	2,5	Outsize minor	104	80,6
Container 20 fot	50	16	0	6,1	2,6	2,5	General cargo	800	793,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
							General cargo	0	0,0
<b>Summa</b>	Pax	GC	Omi	Ome	Oup	<b>Total</b>			
Area (m <sup>2</sup> )	129	1409	81	0	0	1618			
vikt (ton)	-	1331	104	0	0	1435			

*Figur 24. All materiel och personal som ingår i kompaniet finns nu lagrad i modellen*

Nu finns all last lagrad, indelad i lastklasser, lastens vikt och area har summerats på de nedersta raderna. Eftersom detta är ett relativt lätt kompani med få tunga fordon är den största delen av lasten klassad som "General cargo", notera dock att stridsfordonen (CV-90) inte ryms i C-130, det har också klassats som "outsize minor". Detta kommer att få konsekvenser för efterföljande beräkningar. Nästa steg i modellen är att väja de typflottor som skall transportera lasten. Tryck på knappen "Åter till huvudmeny" för att komma tillbaka till startmenyn.

## Val av typflotta

Knappen "Typflottor" används för att komma till nästa steg i beräkningen. Här utformas olika exempel på framtida transportflygflotta. Eftersom tanken med modellen är att kunna pröva olika kombinationer av plattformar kan upp till tio olika typflottor väljas. Som ett exempel finns redan tio olika typflottor sparade i modellen.

I den första raden finns dagens svenska transportflyg, tre stycken C-130 E och fem stycken C-130 H. För att lägga till eller dra ifrån en typ av flygplan ändras siffran i kolumnen under flygplanens namn. Siffran 0 indikerar att flygplantypen ej ingår i typflottan, 1 indikerar ett flygplan o.s.v. Kalkylbladets utseende finns återgivet i figuren nedan.



Val av typflotta	C-27A	C-295	C-160	C-130 E	C-130 H	C-130J	C-130 J-30
Nuvarande	0	0	0	3	5	0	0
4 An-70	0	0	0	0	0	0	0
4 A400M	0	0	0	0	0	0	0
4 C-130 J	0	0	0	0	0	4	0
4 C-130 J 30	0	0	0	0	0	0	4
4 C-130 H + 1 C-17	0	0	0	0	4	0	0
4 C130 H + 1 An 70	0	0	0	0	4	0	0
2 C-130 H + 2 C-17	0	0	0	0	2	0	0
2 C-130 H + 1 C-5	0	0	0	0	2	0	0
2 C-130 H + 1 An 124	0	0	0	0	2	0	0

Figur 25. Tio stycken olika typflottor kan definieras i modellen. Antalet flygplan av varje typ anges med en siffra i motsvarande kolumn.

När typflottorna definierats är det så dags att genomföra själva beräkningen. Återvänd till huvudmeny för att där välja beräkningssätt.

## Val av beräkningssätt

Modellen kan genomföra två olika typer av beräkningar. De data för flygflottor och laster som hittills lagts in i modellen finns lagrade som ingångsdata till bägge beräkningarna. De två olika räknetsätten returnerar också olika resultat. Med kapacitetsberäkning menas här en metod för att räkna ut hur många transportflygplan krävs för att kunna transportera personal och materiel inom utsatt tid. Väljs denna beräkning, arbetar modellen inte med de tidigare definierade typflottorna utan resultatet blir istället i form av hur många flygplan i vare lastklass som behövs för att kunna genomföra transporten (mer om detta i senare avsnitt).

Med tidsberäkning menas här en metod som räknar ut hur många dygn det tar att transportera en given last. I denna används de tidigare definierade transportflottorna. Välj beräkningssätt genom att klicka på respektive knapp på i huvudmenyn.

## Ange scenariospecifika parametrar

All indata som rör ett specifikt scenarion läggs in i beräkningsbladet. Dessa skiljer sig inte nämnvärt mellan de två olika beräkningssätten. Här nedan definieras de indata som skall anges i de olika beräkningarna. I figuren nedan visas alla de indata som behöver anges för att kunna genomföra beräkningen. De fält som skall fyllas i av användaren är markerade med gult. Data från modellen är markerade med blått, och beräkningsresultat visas med turkos färg.

- **Namnge Scenario:** Ge scenariot ett passande namn. Påverkar ej beräkningen.
- **Marschfart (i % av maxhastighet):** Den hastighet som flygplanen färdas med anges som en schablon för alla typer av flygplan. Vi har valt att ange marschhastighet i procent av maximal hastighet. Ange här alltså en procentsiffra som skattar hur snabbt flygplanet kan färdas över en längre tid.
- **Operationsområde:** Vilket är insatsområdet, eller vart skall all materiel transporteras. Detta värde påverkar inte modellen, utan finns enbart som stöd för minnet.

- **Avstånd (km):** Ange här det avstånd som materielen skall transporteras. Observera att det är avståndet enkel väg och inte tur-retur som skall anges. Skall t.ex. en transport till Balkan genomföras anges här flygavståndet enkel väg i kilometer.
- **Operationstimmar per dygn:** Anger det totala antalet timmar per dygn som flyg- och markoperationer kan genomföras. Anges här t.ex. siffran åtta innebär detta att flygning och markservice endast utförs åtta timmar per dygn.
- **Tillgänglighet:** Anger om tillgänglighetsanalysen skall var påslagen eller avslagen. Tillgängligheten minskar transportkapaciteten med en procentsiffra angiven i tillgänglighetsbladet i modellen.
- **Antal:** Siffran anger det antal av lasten som skall transporteras. All laster som lagrats i modellen presenteras i listan "Lastdata". I kolumnen "Antal" anges hur många av varje typ av last som skall transporteras. Siffran 0 anger att lasten inte är med i beräkningen.
- **Tillgänglig transporttid (dygn):** Denna anges enbart i kapacitetsberäkningen. Siffran anger hur många dygn transporten maximalt får ta, d.v.s. inom hur många dygn måste styrkan vara på plats i insatsområdet. Resultaten presenteras i samma kalkylblad som scenariodata. Alla resultat kan avläsas direkt. I modellen finns även möjlighet att genomföra en enkel känslighetsanalys. För att komma till denna måste man dock först återgå till huvudmenyn och sedan välja "Uppdatera Känslighetsanalys"

Tillgänglighet <input checked="" type="checkbox"/>	Lastdata	Antal	Typflotta	Total transporttid (dygn)
Test	Mekaniserad Bataljon	0		
Marschfart (i % av maxhast.)	Strv-kompani 122	0	Nuvarande	Går ej
75%	Ingenjörskompani	1	4 An-70	32
Operationsområde	MP-kompani	0	4 A400M	32
-	Last5	0	4 C-130 J	Går ej
Avstånd ()	Last6	0	4 C-130 J 30	Går ej
4000	Last7	0	4 C-130 H + 1 C-17	39
Operationstimmar per dygn	Last8	0	4 C130 H + 1 An 70	69
12	Last9	0	2 C-130 H + 2 C-17	26
Tillgänglighet	Last10	0	2 C-130 H + 1 C-5	35
På			2 C-130 H + 1 An 124	39

Figur 26. Här beräknas transporttiden för ett Ingenjörskompaniet i exemplet ovan. Resultaten visas till höger i bilden.

## Analys av resultat

I figuren ovan visas transporttider för ingenjörskompaniet i vårt exempel. Tiden visas i antal dygn fördelat på alla de typflottor som har lagts in i modellen. Notera att i vissa resultatrader dyker texten "Går ej" upp där det normalt skulle angetts ett antal dygn. När denna text visas betyder det att just den typflottan inte har kapacitet att transportera den last som angivits. I vårt fall beror detta på att i lasten finns ett antal stridsfordon av typen CV-90. Dessa kan inte transporteras med flygplan av Herculesstorlek.

## Bilaga 3: Exempel på resultat från körningar

### Scenario 1 – Mekaniserad Bataljon (4000 km)

Namnge Scenario	Lastdata	Antal	Typflotta	Total transporttid (dygn)	Kapacitet hos typflotta				
					PAX	General cargo	Outsize minor	Outsize medium	Outsize Upper
Mekaniserad Bataljon	Mekaniserad Bataljon	1							
<b>Marschfart (i % av maxhast.)</b>	Last2	0	Nuvarande	133	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
75%	Last3	0	4 An-70	73	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
<b>Operationsområde</b>	Last4	0	4 A400M	70	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
-	Last5	0	4 C-130 J	176	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
<b>Avstånd (km)</b>	Last6	0	4 C-130 J 30	173	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
4000	Last7	0	4 C-130 H + 1 C-17	80	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Operationstimmar per dygn</b>	Last8	0	4 C130 H + 1 An 70	137	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
12	Last9	0	2 C-130 H + 2 C-17	57	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Tillgänglighet</b>	Last10	0	2 C-130 H +1 C-5	69	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>På</b>			2 C-130 H + 1 An 124	83	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

## Scenario 2 – Strv-kompani 122 (2500 km)

Namnge Scenario	Lastdata	Antal	Typflotta	Total transporttid (dygn)	Kapacitet hos typflotta				
					PAX	General cargo	Outsize minor	Outsize medium	Outsize Upper
Mekaniserad Bataljon	Mekaniserad Bataljon	0							
<b>Marschfart (i % av maxhast.)</b>	Strv-kompani 122	1	Nuvarande	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
75%	Ingenjörskompani	0	4 An-70	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
<b>Operationsområde</b>	MP-kompani	0	4 A400M	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
-	Last5	0	4 C-130 J	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
<b>Avstånd (km)</b>	Last6	0	4 C-130 J 30	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
2500	Last7	0	4 C-130 H + 1 C-17	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Operationstimmar per dygn</b>	Last8	0	4 C130 H + 1 An 70	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
12	Last9	0	2 C-130 H + 2 C-17	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Tillgänglighet</b>	Last10	0	2 C-130 H +1 C-5	<b>38</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>På</b>			2 C-130 H + 1 An 124	<b>34</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

### Scenario 3 – Ing kompani (2500 km)

Namnge Scenario	Lastdata	Antal	Typflotta	Total transporttid (dygn)	Kapacitet hos typflotta				
					PAX	General cargo	Outsize minor	Outsize medium	Outsize Upper
Mekaniserad Bataljon	Mekaniserad Bataljon	0							
<b>Marschfart (i % av maxhast.)</b>	Strv-kompani 122	0	Nuvarande	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
75%	Ingenjörskompani	1	4 An-70	<b>26</b>	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
<b>Operationsområde</b>	MP-kompani	0	4 A400M	<b>26</b>	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
-	Last5	0	4 C-130 J	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
<b>Avstånd (km)</b>	Last6	0	4 C-130 J 30	<b>Går ej</b>	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
2500	Last7	0	4 C-130 H + 1 C-17	<b>27</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Operationstimmar per dygn</b>	Last8	0	4 C130 H + 1 An 70	<b>38</b>	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
12	Last9	0	2 C-130 H + 2 C-17	<b>14</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Tillgänglighet</b>	Last10	0	2 C-130 H +1 C-5	<b>28</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>På</b>			2 C-130 H + 1 An 124	<b>22</b>	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

## Scenario 4 – MP kompani (4000 km)

Namnge Scenario	Lastdata	Antal	Typflotta	Total transporttid (dygn)	Kapacitet hos typflotta				
					PAX	General cargo	Outsize minor	Outsize medium	Outsize Upper
Mekaniserad Bataljon	Mekaniserad Bataljon	0							
<b>Marschfart (i % av maxhast.)</b>	Strv-kompani 122	0	Nuvarande	53	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
75%	Ingenjörskompani	0	4 An-70	30	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
<b>Operationsområde</b>	MP-kompani	1	4 A400M	30	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
-	Last5	0	4 C-130 J	70	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
<b>Avstånd (km)</b>	Last6	0	4 C-130 J 30	70	Ja	Ja	Nej	Nej	Nej
4000	Last7	0	4 C-130 H + 1 C-17	34	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Operationstimmar per dygn</b>	Last8	0	4 C130 H + 1 An 70	55	Ja	Ja	Ja	Nej	Nej
12	Last9	0	2 C-130 H + 2 C-17	24	Ja	Ja	Ja	Ja	Nej
<b>Tillgänglighet</b>	Last10	0	2 C-130 H +1 C-5	30	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja
<b>På</b>			2 C-130 H + 1 An 124	35	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja

## Bilaga 4: Data för laster, scenarier

Här presenteras de laster som ingår i scenarier lagrade i modellen. Observera att dessa enbart är framtagna som exempel på transportuppdrag och inte skall ses som styrande scenarier.

### Scenario 1 – Mekaniserad bataljon

Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
Bataljon	1	0	800	0,8	0,8	0	PAX	0	512,6
PBV 302	45	14	0	5,35	2,86	2,39	General cargo	630	688,5
SISU	20	16	0	7,35	2,9	2,5	General cargo	320	426,3
Container 20 fot	150	16	0	6,1	2,6	2,5	General cargo	2400	2379,0
<b>Summa</b>	<b>Pax</b>	<b>GC</b>	<b>Omi</b>	<b>Ome</b>	<b>Oup</b>	<b>Total</b>			
<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>513</b>	<b>3494</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>4006</b>			
<b>vikt (ton)</b>	<b>-</b>	<b>3350</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>3350</b>			

### Scenario 2 – Stridsvagnskompani 122

Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
Stridsvagn 122	14	62,5	0	8,6	3,8	3	Outsize upper	875	457,5
Bgbv	1		0	7,23	3,25	2,63	Outsize medium	0	23,5
SEP	1	13,5	0	5,9	2,7	1,9	General cargo	13,5	15,9
CV 90	5	26	0	6,5	3,1	2,5	Outsize minor	130	100,8
Container 20 fot	50	16	0	6,1	2,6	2,5	General cargo	800	793,0
Kompani	1	0	200	0,8	0,8	1	PAX	0	128,6
<b>Summa</b>	<b>Pax</b>	<b>GC</b>	<b>Omi</b>	<b>Ome</b>	<b>Oup</b>	<b>Total</b>			
<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>129</b>	<b>809</b>	<b>101</b>	<b>23</b>	<b>458</b>	<b>1519</b>			
<b>vikt (ton)</b>	<b>-</b>	<b>814</b>	<b>130</b>	<b>0</b>	<b>875</b>	<b>1819</b>			

### Scenario 3 – Ingenjörkompani

Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
Kompani	1	0	200	0,8	0,8	1	PAX	0	128,6
PBV 302	9	14	0	5,35	2,86	2,39	General cargo	126	137,7
SEP	30	13,5	0	5,9	2,7	1,9	General cargo	405	477,9
CV 90	4	26	0	6,5	3,1	2,5	Outsize minor	104	80,6
Container 20 fot	50	16	0	6,1	2,6	2,5	General cargo	800	793,0
<b>Summa</b>	<b>Pax</b>	<b>GC</b>	<b>Omi</b>	<b>Ome</b>	<b>Oup</b>	<b>Total</b>			
<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>129</b>	<b>1409</b>	<b>81</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1618</b>			
<b>vikt (ton)</b>	<b>-</b>	<b>1331</b>	<b>104</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1435</b>			

### Scenario 4 – MP-kompani

Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Totalvikt	Area (m <sup>2</sup> )
Kompani	1	0	200	0,8	0,8	1	PAX	0	128,6
PBV 302	9	14	0	5,35	2,86	2,39	General cargo	126	137,7
SEP	30	13,5	0	5,9	2,7	1,9	General cargo	405	477,9
Container 20 fot	50	16	0	6,1	2,6	2,5	General cargo	800	793,0
<b>Summa</b>	<b>Pax</b>	<b>GC</b>	<b>Omi</b>	<b>Ome</b>	<b>Oup</b>	<b>Total</b>			
<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>129</b>	<b>1409</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1537</b>			
<b>vikt (ton)</b>	<b>-</b>	<b>1331</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>1331</b>			



## Lastbibliotek

Namn	Antal	vikt (ton)	Antal PAX	längd (m)	bredd (m)	höjd (m)	Lastklass	Area (m <sup>2</sup> )	Volym (m <sup>3</sup> )
Soldat		0	1	0,8	0,8	1	PAX	1	1
Pluton		0	50	0,8	0,8	1	PAX	32	32
Kompani		0	200	0,8	0,8	1	PAX	128	128
Bataljon		0	800	0,8	0,8	1	PAX	512	512
PBV 302		14	0	5,35	2,86	2,39	General cargo	15	37
SEP		13,5	0	5,9	2,7	1,9	General cargo	16	30
CV 90		26	0	6,5	3,1	2,5	Outsize minor	20	50
Helikopter 10		6	0	15,49	3,4	3,4	Outsize medium	53	179
Stridsvagn 122		62,5	0	8,6	3,8	3	Outsize upper	33	98
Container 20 fot		16	0	6,1	2,6	2,5	General cargo	16	40
SISU		16	0	7,35	2,9	2,5	General cargo	21	53
SISU Sjt		16	0	7,35	2,9	2,5	General cargo	21	53
Patgb 203 A		22,5	0	7,68	2,95	2,5	Outsize minor	23	57
PBV TP		15	0	5,35	2,86	2,5	General cargo	15	38
PBV Stri		15	0	5,35	2,86	2,5	General cargo	15	38
PBV E alt R1		15	0	5,35	2,86	2,5	General cargo	15	38
BV 308 Tp		7	0	6,77	2	1,82	General cargo	14	25
BV 308 sjtp		7	0	6,77	2	1,82	General cargo	14	25
BV 308 Ledb		7	0	6,77	2	1,82	General cargo	14	25
Geländevagen		2,9	0	4,4	1,8	2,5	General cargo	8	20
Unimog		8,5	0	6,2	2,5	3,3	Outsize medium	16	51
Hjlast 4 ton		4,1	0	5,5	1,8	2,45	General cargo	10	24
Bgbv			0	7,23	3,25	2,63	Outsize medium	23	62
Bgtbg			0	9,2	2,5	4,4	Outsize upper	23	101
Rftgb		33,5	0	9,05	2,48	3,4	Outsize medium	22	76
Conttgb Lirka		29	0	10,5	2,5	4,1	Outsize upper	26	108
Conttruk		24,68	0	5,64	2,5	3,1	Outsize medium	14	44
Mamba Ledn		7	0	5,2	2,55	2,76	Outsize minor	13	37
Mamba Tp		7	0	5,2	2,55	2,76	Outsize minor	13	37
Åkerman 330 B		23,9	0	9,9	3,2	3,25	Outsize medium	32	103
BM E1 70 C		11	0	8,1	2,35	3,08	Outsize medium	19	59
BM L 120		18,75	0	8,2	2,68	3,4	Outsize medium	22	75
Bandschakt		18	0	5,5	2,5	3,2	Outsize medium	14	44
Stridsftpvagn 25 t		36	0	14,1	2,6	2,85	Outsize medium	37	104

Sidlastare			0	11,5	2,5	3,9	Outsize upper	29	112
Tankbil		26	0	12	2,6	3,6	Outsize upper	31	112
Motviktruck		4	0	4	1,4	3,2	Outsize medium	6	18
H-Lyfttruck		1,5	0	3,5	1,4	3	Outsize medium	5	15
Buss		12	0	12	2,6	4,1	Outsize upper	31	128

## Bilaga 5: Lufttankning

Lufttankning är, som nämnts tidigare i rapporten, ett bristområde i EU på samma sätt som strategisk flygtransport. Analysen av lufttankning som stöd till air mobility-studien har inte drivits lika djupt som analysen av transportdelen, men torde ändå kunna utgöra en grund för fortsatt arbete. I denna bilaga redovisas därför en kunskapsinventering kring lufttankning, och rekommendationer om vilket tillvägagångssätt som bör utnyttjas för kapacitetsberäkning av lufttankning, inklusive relevanta effektmått. Till skillnad mot strategisk flygtransport presenteras däremot ingen färdig modell för att genomföra dessa beräkningar.

Däremot presenteras i bilaga 6 en översiktlig jämförelse av kostnadseffektivitet mellan ett militärt transportflygplan och ett modifierat civilt passagerarflygplan utnyttjade för lufttankning. Här presenteras både preliminära resultat i sak, och ges exempel på hur beräkningarna kan genomföras.

Tidigare i rapporten, i kapitlet om begreppet air mobility återfinns en inledande diskussion om lufttankningens olika delområden som de definieras av USA, och hur de olika tillvägagångssätten ser ut inom NATO.

### Allmänt om lufttankningsresurser

Lufttankningsflygplan skiljer sig åt både med avseende på typ av plattform och typ av lufttankningssystem.

Det finns två principiellt olika typer av flygande plattformar som används som lufttankningsflygplan, de som är baserade på stora civila trafikflygplan respektive de som är baserade på militära transportflygplan<sup>78</sup>. Lufttankningsflygplan med detta som huvuduppgift brukar vara baserade på stora civila trafikflygplan då dessa plattformar har stor lastkapacitet och är ekonomiskt fördelaktiga i både inköp och drift. De huvudsakliga konverterade flygplanstyperna är<sup>79</sup>:

- Boeing 707, som är grunden för det vanligaste amerikanska lufttankningsflygplanet KC-135 Stratotanker (ca 500 stycken finns i drift!), som nu börjar bli till åren kommen och relativt snart behöver ersättas, troligtvis av ett flygplan baserat på Boeing 767.
- McDonnell Douglas DC-10, som i amerikansk lufttankningsversion heter KC-10A Extender. Två stycken DC-10 i lufttankningsversion finns även i Nederländerna.
- Lockheed L-1011 Tristar, ett flygplan mycket likt DC-10, som används som lufttankningsflygplan i brittiska RAF.

---

<sup>78</sup> Därutöver kan enstaka stridsflygplan och spaningsflygplan användas för lufttankning via en balkplacerad kapsel med bränsletank och tankningsutrustning, s.k. *buddy store*. Den begränsade lastkapaciteten och höga driftskostnaden för stridsflygplan gör att detta är en lösning som endast i undantagsfall har något berättigande. Ett exempel på ett sådant fall är för hangarfartygsbaserade flygplan, eftersom övriga lufttankningsflygplan är för stora för att basera på hangarfartyg. För svensk del torde denna form av lösning över huvud taget inte vara intressant, och därför behandlas den inte vidare i texten.

<sup>79</sup> Annati (2000), Military Balance (2002), FAS (www), USAF Fact Sheets (www)

- Vickers VC-10, ett brittiskt flygplan tillverkat i en liten serie (54 stycken), som sedan länge har tagits ur tjänst som civilt flygplan. Det finns idag endast i RAF, där det precis som Tristar inom kort avses ersättas.
- Airbus 310, som utgör grunden för Luftwaffes MRTT (Multi-Role Tanker Transport).

Nyare typer av trafikflygplan som övervägs för konvertering till lufttankningsflygplan är Boeing 767 (USA och Storbritannien) och Airbus 330 (Storbritannien)<sup>80</sup>.

Ett utmärkande drag för dessa flygplan är dock behovet av att operera från stora flygbaser av "civil typ". De kan också merutnyttjas för passagerar- och lasttransport, i vissa fall det enda och i andra fall bådadera. Värt att notera är dock att de precis som andra civila flygplan saknar lastramp och att lastutrymmet är av begränsad höjd. Även om den totala lastkapaciteten mätt i ton kan vara ganska stor, kan de därför ej medföra fordon eller andra skrymmande laster, utan är begränsade till lastpaletter och liknande.

Lufttankningsplan baserade på militära transportflygplan med turbopropdrift, främst C-130 Hercules eller C-160 Transall, har normalt lufttankning som en sekundär roll. De har flera begränsningar jämfört med de större jetdrivna civilflygplanen, såsom lastkapacitet, driftskostnader och en maxhastighet som är relativt låg i jämförelse med marschfarten hos de stridsflygplan som skall tankas. Tankning kan behöva ske på relativt låg höjd, för att undvika att hamna nära stridsflygplanens stallhastighet, och där är flygplanen mer sårbara och har sämre bränsleekonomi. Fördelar finns dock också, främst förmågan att basera framskjutet på flygbaser med kortare bana och möjligheten att lufttanka helikoptrar, eftersom propellerdriften gör det möjligt att flyga så långsamt som krävs. Hastigheten är då dock bara något över stallhastigheten, så det är en krävande manöver.

A400M avses också kunna utnyttjas för lufttankning<sup>81</sup>. Resonemangen om C-130 och C-160 ovan är i huvudsak tillämpliga även för detta flygplan med undantaget att lastkapaciteten blir större och maxhastigheten något högre.

I forna Sovjetunionen har även militära transportflygplan med jetdrift utnyttjats som bas för lufttankningsflygplan. Il-78 är en lufttankningsversion av Il-76 "Candid"<sup>82</sup>. Det bör dock noteras att Il-76 även fanns i en civil version. Därutöver innebar det planekonomiska systemet, i kombination med krav på Aeroflot att kunna utnyttjas militärt, en annan syn på uppdelningen civilt-militärt än i västvärldens mer marknadsekonomiskt orienterade länder.

Det finns två huvudtyper av lufttankningssystem, bom (*flyable boom*) och slang (*hose and drogue, probe and drogue*)<sup>83</sup>. Bommen är ett rörsystem som från lufttankningsflygplanet manövreras ner i ett "tanklock" på ryggen av det mottagande flygplanet. Slangsystemet bygger på att det mottagande flygplanet själv dockar med lufttankningsflygplanets

---

<sup>80</sup> JDW (2003a)

<sup>81</sup> Airbus (2002), s. 13.

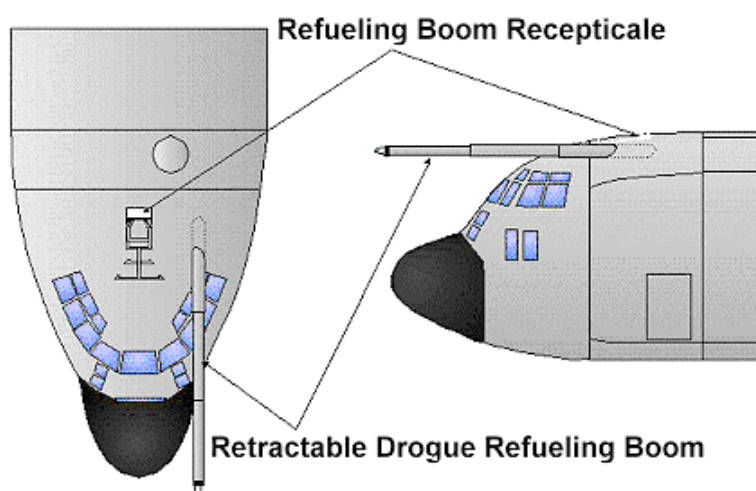
<sup>82</sup> Jane's (1995)

<sup>83</sup> ATP-56A (2000), kap. 3.

utrullade slang, med sitt ”tankningsrör”, vilket vanligen återfinns i flygplanets nos eller framför/ovanför förarplatsen. I figurerna nedan syns exempel på användning av båda typerna av system.



Figur 24. Olika lufttankningsflygplan och lufttankningssystem. I övre raden den tyska Multi-role Tanker Transport (MRTT), baserad på Airbus A310, och det amerikanska flygvapnets KC-135, baserad på Boeing 707. I nedre raden den amerikanska marinkårens KC-130, en lufttankningsversion av Hercules (kan även lufttanka helikoptrar). Notera de olika lufttankningssystemen: KC-130 och A310 har slangsystem för att tanka F-18 resp. Tornado, medan KC-135 använder bom för att tanka F-16.



Figur 25. Hur de två olika lufttankningssystemen ser ut hos det **mottagande** flygplanet syns tydligt i denna bild. Det utstickande tankröret är kompatibelt med slangsystem på tankflygplanet, och luckan på flygplanets rygg är kompatibelt med bomsystem på tankflygplanet. Från <http://www.snowaviation.com/difr.htm>

Det mottagande flygplanet måste vara olika utrustat för att kunna användas ihop med bom respektive slang, och därför kan alla typer av flygplan inte tankas av alla tankflygplan. Vissa bomförsedda tankflygplan, men inte alla, kan lufttanka flygplan avpassade för att tankas med slang, om de **på marken** förses med en s.k. *boom drogue adapter* (BDA) inför ett visst lufttankningsuppdrag. Principiellt har vi därför nedanstående bild:

	Tankflygplanet har bom	Tankflygplanet har slang
Mottagarplanet anpassat för bom	OK	Går ej
Mottagarplanet anpassat för slang	Går i vissa fall med adapter	OK

*Tabell 10. Möjliga kombinationer av lufttankningssystem på tankflygplan och mottagarplan.*

Eftersom det även finns andra faktorer att ta hänsyn till, är de reella kombinationerna färre än i tabellen ovan. De flygplankombinationer som är godkända finns listade i en NATO-publikation<sup>84</sup>.

Bomsystemet finns endast på de större lufttankningsflygplanen, och även då finns endast en bom per flygplan, eftersom den byggs in i flygkroppens bakdel. Slangsystemet är mindre och kan byggas in i en kapsel (*pod*), även om det också förekommer i fasta installationer i flygkroppens mitt (*centreline*). Därför kan slangsystemet användas även i mindre flygplan (t.ex. Hercules), och varje flygplan kan förses med flera tankpunkter. Vissa större tankflygplan har både bom och slang.

Bomsystemet är alltså mindre flexibelt, men dess fördel är att det medger en högre tankhastighet, och passar därför för stora flygplan. Som grundregel gäller därför att bomb- och transportflygplan är anpassade för att tankas med bom och att stridsflygplan och helikoptrar är anpassade för att tankas med slang. Undantagen till denna regel utgörs av flygplan framtagna för US Airforce, t.ex. F-16, vilka alla är anpassade för att tankas med bom. Flygplanen i US Navy, t.ex. F-18, är å andra sidan anpassade för slangsystemet, vilket torde vara den institutionella förklaringen till varför det finns två olika system<sup>85</sup>. De flesta lufttankningsflygplan inom EU har enbart slangsystem. Undantagen är de nederländska KDC-10<sup>86</sup>, som enbart har bom och idag inte heller någon BDA, och de franska C-135FR som har både bom (med BDA) och slang.

De JAS 39 som kan lufttankas har anpassats till slangsystemet, så ett renodlat bomsystem är knappast aktuellt för svensk del, utan alternativen är rimligtvis ett renodlat slangsystem eller ett kombinerat bom/slang-system med BDA. Den högre kostnaden för det senare får vägas mot möjligheten att kunna lufttanka vissa andra länders flygplan inom ramen för

<sup>84</sup> ATP-56A (2000), Annex 10S.

<sup>85</sup> Det system som har använts på f.d. sovjetiska Il-78 är också av slangtyp.

<sup>86</sup> Nederländerna har som bekant det amerikanska F-16, som kan lufttankas med bomsystemet.

multinationella operationer, bl.a. de F-16 som finns i Norge, Danmark, Nederländerna och Belgien.

Några jämförande data mellan tre existerande lufttankningsflygplan visar skillnaden mellan de två huvudtyperna av flygplanplattformar i nedanstående tabell<sup>87</sup>.

<b>Flygplan</b>	<b>KC-10A Extender</b>	<b>MRTT</b>	<b>KC-130R Hercules</b>
Grundflygplan	DC-10	A310-300	C-130H
Ytterligare roller	Last	Last, passagerare <sup>88</sup>	Last, passagerare
Bränslelast (ton)	160,2	77,5	39,2 med extratank
Lastkapacitet (ton/paletter)	76,6 / 27	37 / 12 (kombiversion)	19,8
Passagerare	-	279 (pax-version), 57 (kombiversion)	92
Max startvikt (ton)	265,5	164	79,5
Räckvidd (km)	7.100 (med last), 18.500 (tom)	1.850 radie (57,5 ton bränslelev), 7.400 (279 pax)	1.850 radie (20,4 ton bränslelev)
Tanksystem/antal tankpunkter	1 bom + 2 slangar	2 slangar (bom kan installeras)	2 slangar
Tankhastighet per tankpunkt (l/min)	4.180 (bom), 1.786 (slang)	3.040	1.135
Kan lufttanka hkp	Nej	Nej	Ja
Hastighet (km/h)	996	950	583 normalt, 460 vid tankning
Startsträcka (m)	?	5.000 (164 ton), 2.500 (150 ton)	1.200 (maxlast)
Mått (m)	54,4 x 50 x 17,4	46,7 x 43,9 x 15,8	51 x 48,5 x 11,9

*Tabell 11. Några data för tre olika lufttankningsflygplan.*

Hur dessa tre flygplanstyper ser ut när de tankar stridsflygplan framgår av figur 24.

Skillnaden enbart mellan flygplanens lufttankningskapacitet visas av nedanstående tabell, som också visar att flygplanbeståndet i olika NATO-länder är olika utrustade<sup>89</sup>:

<sup>87</sup> Airforce Tech (www), FAS (www), USAF Fact Sheets (www)

<sup>88</sup> A310-300 i den tyska MRTT-versionen har tre konfigurationer: en kombiversion där lastutrymme och passagerare kombineras, en ren passagerarversion samt en skadetransportversion med intensivvårds- och bårplatser. Konversion från kombiversionen till någon av de andra tar c:a fem dagar med ett tvåskiftsystem.

<sup>89</sup> ATP-56A (2000), Annex 10R.

Land/flygplantyp	Typisk tankkapacitet	Tankhastighet per tankpunkt
Frankrike C-135FR	58.000 kg	2.725 kg/min med bom eller BDA 1.275 kg/min med slang (2 kapslar)
Frankrike C-160	14.000 kg	960 kg/min med slang (1 mittplacerad)
Italien B-707 TT	25.000 kg	1.200-1.300 kg/min med slang (1 mittplacerad, 2 kapslar)
Nederländerna KDC-10	71.810 kg	2.270 kg/min (bom)
Spanien KC-130H	18.180 kg med extra tank, 13.410 kg utan	880 kg/min med slang, med extra tank, 420 kg/min utan (2 kapslar)
Spanien B-707 TT	25.000 kg	1.500 kg/min med slang (2 kapslar)
Storbritannien Tristar	86.320 kg	2.200 kg/min med slang (2 mittplacerade)
Storbritannien VC-10	45.400 kg	2.280 kg/min med slang (mittplacerad, finns endast på VC-10K) 1.360 kg/min med slang (2 kapslar, finns på både VC-10K och VC-10C1K)
USA KC-135	57.650 kg	2.720 kg/min med bom, 1.270 kg/min vid användning av BDA
USA KC-10	113.330 kg	3.630 kg/min med bom 1.820 kg/min med slang (1 mittplacerad) 1.110 kg/min med slang (2 kapslar)
USA KC-130	18.140 kg	1.850 kg/min med slang om extratank och dubbel pump används, 925 kg/min med enkel pump, 460 kg/min utan extratank (2 kapslar)

Tabell 12. Data för tankkapacitet och tankhastighet för lufttankningsflygplan i NATO-länder.

## Analys av lufttankning

Hur analys av lufttankning skall genomföras beror i hög grad på vilka uppgifter man avser att genomföra med lufttankningsresurserna. Den möjliga spännvidden ges av de sex uppgifter som diskuteras i den amerikanska doktrinen<sup>90</sup>, som noterats tidigare i rapporten. Sett till aktuella typsituationer inom ramen för perspektivplaneringen<sup>91</sup> och fokuseringen på krishanteringsinsatser torde göra att olika former av ”stöd till taktiska flygstridskrafter i ett operationsområde”, d.v.s. lufttankning av stridsflygplan, som är mest aktuellt<sup>92</sup>.

<sup>90</sup> AFDD 2-6.2 (1999)

<sup>91</sup> PerP (2001), PerP (2003).

<sup>92</sup> I en tidigare studie har FMV antagit andra uppgifter för eventuella svenska lufttankningsflygplan. I fallet internationella uppgifter antas tre scenarier: PFF-övning i Östersjöområdet och två varianter på stöd till ombasering, dels till Nordafrika (som en del av en EU-styrka) och dels till Nordamerika för deltagande i en övning. Därutöver utnyttjas två scenarier med nationella uppgifter: territoriell integritet respektive försvar mot väpnat angrepp. Se FMV (2001b). När det gäller nyttjandeprofilen för lufttankningsplanen påminner det sistnämnda scenariot troligen mest om det som vi bedömer vara det mest angelägna

Fortsätter på nästa sida ►



Huvudsakligen torde stöd till en multinationell flygstyrka relativt långt från svenskt territorium vara aktuellt. Användning i närområdet, för att bättra på uthålligheten för luftförsvaret, kan dock ingalunda uteslutas.

Som nämndes ovan finns två huvudsakliga flygplanskategorier representerade som lufttankningsflygplan. Detta medger att tre huvudsakliga alternativ definieras, efter kombination av plattformstyp och användningsprofil:

- 1) Merutnyttjande av militära transportflygplan för lufttankningsuppgifter, utan att antalet påverkas av denna uppgift. (Antalet flygplan av typen styrs av transportbehovet, som således kommer i första hand.)
- 2) Militära transportflygplan som lufttankningsflygplan, där ytterligare flygplan köps med anledning av lufttankningsuppgiften<sup>93</sup>. (Transportbehovet är inte ensamt dimensionerande.)
- 3) Civila trafikflygplan som lufttankningsflygplan, eventuellt med kapacitet för passagerartransport och last i form av smärre kollin. Lufttankningsuppgiften styr antalet flygplan, och är således dimensionerande.

Dessa olika alternativ innebär att följande kostnadsposter måste beaktas i de tre alternativen:

Alt	Investering	Drift
1	Endast tankningsutrustning + ev. modifiering av flygplan	Drift av tankningsutrustning + kostnad för tillkommande flygtid
2	Flygplan samt tankningsutrustning	Samtliga driftskostnader
3	Flygplan samt tankningsutrustning	Samtliga driftskostnader

*Tabell 13. Kostnadsposter som måste beaktas i de tre alternativen.*

I både alternativ 2 och 3 beaktas också att de kan utnyttjas till andra transportuppgifter, vilket eventuellt kan spara andra kostnader, t.ex. för vissa köpta transporttjänster. (I övrigt behöver samma aspekter som för transportflyg beaktas – personalbehov, teknisk tillgänglighet, motmedel o.s.v.!)

Notera att alternativen skiljer sig åt avseende möjlig nyttjandeprofil. I alternativ 1 anses flygplanen endast finnas tillgängliga för lufttankning om de för stunden inte behövs för transportuppgifter. I alternativ 2 och alternativ 3 däremot förutsätts lufttankning vara en huvuduppgift, och flygplanen finns alltid tillgängliga för lufttankning som huvuduppgift

---

användningsområdet i internationella insatser. Vår bedömning är att lufttankning som stöd till ombasering troligtvis inte behövs inom EU-operationer med den idag uttalande ambitionsnivån (Europas närområden), eftersom tillgången på flygplatser i Europa är god och de övriga europeiska länderna förutsätts vara positivt inställda till operationen, och t.o.m. delta. Detta innebär därför att situationen för oss är annorlunda än för USA, som omges av två oceaner, och som fäster större vikt av att kunna operera även vid ett besvärligt basläge.

<sup>93</sup> För att förenkla senare resonemang kring olika kostnadsslag, förutsätts samtliga flygplan under punkt 2 köpas enbart för lufttankning. Om endast några flygplan öronmärks för detta behov rör det sig om en kombination av punkt 1 och 2.

(såna som då teknisk och personell tillgänglighet begränsar). Jämförelsen mellan alternativen blir alltså i hög grad scenarieroende i detta avseende, särskilt mellan alternativ 1 och de övriga två. Notera också att möjligheten att utnyttja flygplanen i alternativ 1 dessutom kommer att variera över tiden (beroende på fas i operationen) inom ett givet scenario.

När olika alternativ för lufttankning skall jämföras torde det relevanta kapacitetsmättet, beroende på scenario, vara endera av:

- Levererad bränslemängd på visst avstånd från basen (eller viss plats)
- Levererad bränslemängd på visst avstånd från basen (eller viss plats) under en viss tid

Lufttankningsplanen förbrukar bränsle för att hålla sig själva i luften, både för att förflytta sig och för att ligga i vänteläge, och därför blir den levererade bränslemängden mindre på långa avstånd och vid långa väntetider. Hur mycket mindre beror i stor utsträckning på vilken flygplanstyp som används.

Tidsaspekten kommer in på flera sätt: överföringshastigheten för bränsle är olika mellan olika lufttankningsplan och -system, de kan ha olika antal tankpunkter, och olika tankflygplan förbrukar olika mycket bränsle när de ligger i vänteläge.

Distinktionen mellan *visst avstånd från basen* och *viss plats* kan bli relevant när lufttankningsflygplan med olika baseringsmöjligheter jämförs. Exempelvis så kan en A400M (alternativ 1 eller 2) operera från enklare, och därmed fler, baser än en B767 (alternativ 3), eftersom den har en väsentligt kortare startsträcka. I vissa scenarier kan det därför tänkas att B767 och liknande flygplan får en väsentligt längre anflygningssträcka p.g.a. bastillgång. I det sammanhanget får man dock inte glömma bort att beakta möjligheterna att försörja eventuella framskjutna baser med adekvata mängder flygbränsle – basering av lufttankningsflygplan kräver tillgång till betydligt större bränslemängder än vad som krävs för att kunna landa transportflygplan. Om inte ett befintligt civilt distributionssystem kan utnyttjas, kräver dessa bränslemängder rimligtvis sjötransport eller omfattande järnvägs- eller landsvägstransport, vilket kan göra att en del baser ändå inte kommer i fråga.

Den levererade bränslemängden beror också på vilka flygplan som skall tankas. Inte minst förekomsten av två olika tankningssystem måste beaktas i en multinationell miljö. Normalt är det endast dedicerade lufttankningsflygplan baserade på civila flygplan (alternativ 3) som kan ha bomsystemet, så för vissa flygplanskombinationer blir den levererade bränslemängden helt enkelt noll. Olika lufttankningsflygplan har också olika flygenvelopp, d.v.s. kombinationer av höjder och farter där de kan användas. T.ex. innebär detta att endast lufttankningsflygplan med propellerdrift (bl.a. C-130) kan lufttanka helikoptrar. Å andra sidan måste typiska stridflygplan gå ner till lägre höjd och betydligt lägre fart (där de har en sämre bränsleekonomi och riskerar att vara mer utsatta för markbaserat luftvärn) om de skall tankas av ett propellerplan jämfört med ett jetplan.

Sammantaget pekar detta på att en mer fullständig analys av alternativen kräver att spel, eller möjligtvis någon enklare form av scenarioanalys, genomförs för att utvärdera följande faktorer i respektive scenario, innan själva kapacitetsberäkningen kan genomföras:

- Utnyttjandet av flygplan för andra uppgifter än lufttankning – prioritet och utnyttjande över tiden måste klargöras
- Uppgiften för den svenska lufttankningsflottan måste klargöras, inte minst avseende vilka flygplan som skall tankas:
  - Vilket lufttankningssystem har de flygplan som skall tankas. Kan t.ex. en avgränsning till tankning enbart av flygplan med slangsystem göras?
  - Skall även helikoptrar lufttankas?
  - Finns andra begränsningar/krav avseende flyghöjd eller fart, t.ex. beroende på lv-hot från marken?
- Baseringsmöjligheter för olika flygplanstyper.

En tidigare lufttankningsstudie har genomförts av FMV<sup>94</sup>. Den använda räknegången är att utifrån antal stridsflygplan i ett givet scenario räkna fram den totala mängden bränsle som behöver överföras, och utifrån detta specificera hur många tankflygplan som åtgår för respektive scenario.

Det kan också noteras att det finns kommersiell programvara för planering av lufttankningsoperationer<sup>95</sup>. Eftersom denna är avsedd för stöd till pågående operationer och ej för försvarsplanering och studier har den inte granskats närmare.

## Preliminära slutsatser

Trots de komplicerande faktorer som anges ovan är det faktiskt möjligt att göra en jämförelse av kostnadseffektivitet mellan alternativ 2 och 3, även utan detaljerade kunskaper om scenario o.s.v. Slutsatsen av denna är: **militära transportflygplan är betydligt dyrare än civila trafikflygplan för en given lufttankningsuppgift** uttryckt som levererad bränslemängd på ett visst avstånd, det effektmått som rekommenderas. (Beräkningen redovisas i bilaga 6.) Kort sagt, om lufttankning är huvuduppgiften, skall alternativ 3 föredras, och dedicerade lufttankningsflygplan baserade på civila trafikflygplan väljas för uppgiften.

Notera att denna jämförelse mellan alternativ 2 och 3 dock inte säger något om alternativ 1. Eftersom det kan röra sig om betydligt mindre kostnader för att modifiera flygplan man ändå har, kan detta vara klart relevant även om alternativ 2 framstår som ointressant.

---

<sup>94</sup> FMV (2001b)

<sup>95</sup> Airplan (www)

## Bilaga 6: Ansats till kostnadsjämförelse mellan olika typer av lufttankningsflygplan

Här redovisas en ansats till jämförelse av kostnadseffektivitet mellan två väsentligt olika alternativ avseende lufttankningsflygplan, som har diskuterats i bilaga 5:

- Militära transportflygplan utnyttjade som lufttankningsflygplan. Ej enbart merutnyttjande, utan ytterligare flygplan köps med anledning av lufttankningsuppgiften. (Betecknat alternativ 2 i tabell 13 och bilaga 5)
- Civila trafikflygplan som lufttankningsflygplan. (Betecknat alternativ 3 i tabell 13 och bilaga 5)

Jämförelsen görs under följande antaganden:

- Det relevanta effektmåttet är ”levererad bränslemängd på visst avstånd från basen”.
- Som avstånd väljs 1.850 km (1.000 mi) radie från basen, då detta är ett vanligt tabellvärde. Ingen väntetid i luften antas.
- Flygplanen antas genomföra lika många uppdrag per dag.
- Endast anskaffnings- och driftskostnader för flygplanen beaktas, ej skillnader i kostnader för personal, baser och liknande.
- Baseringsmöjligheterna skiljer inte mellan de två alternativen i detta fall.
- Båda flygplanalternativen är möjliga att utnyttja i aktuellt fall; ingetdera alternativ är omöjligt p.g.a. tankningssystem, förmåga att överleva i hotmiljön eller liknande.

Kostnadsjämförelsen görs mellan en DC-10 (KC-10A) och C-130 i lufttankningsversioner, då det finns bra data för dessa befintliga flygplanstyper. Jämförelsen genomförs som en kostnadsjämförelse vid given effekt. Kostnadsuppgifter för befintliga flygplan har hämtats från amerikanska FAA-data som avser kostnadsläget 1998<sup>96</sup>. Dessa kostnader räknas upp med ca 10 % för att vara relevanta 2003.

Flygplan	Nypris eller värde	Driftskostnader
KC-10A, befintlig i USAF	87,3 MUSD (1998)	2.094 USD/h (1998)
KC-10A, nymodifierad	Ca 100 MUSD? (2003)	
KC-130, befintlig i USAF	42,3 MUSD (1998)	1.477 USD/h (1998)
C-130J, nytillverkad med lufttankningsutrustning	Ca 90 MUSD (2003)	

Tabell 14. Ekonomiska data för KC-10A och C-130.

Levererad bränslemängd per flygplan är ungefär som följer:

- KC-10A: 110 ton (beräknat<sup>97</sup>)

<sup>96</sup> Hoffer et al. (1998).

<sup>97</sup> Beräkningsgång: bränsleåtgången för 1.850 km med full bränslelast resp. minimal bränslelast beräknas. Summan av dessa dras sedan från maximal bränslelast, och denna bränslemängd (minus en mängd som reserv) förutsätts kunna levereras. Räckvidden för KC-10A med 76,6 ton last är 7.040 km.

Bränslemängden borde då vara 83,6 ton. Åtgången för 1.850 km med full last borde därför uppskattas

Fortsätter på nästa sida ►

- KC-130: 20 ton (tabellvärde)

Således behövs 5,5 KC-130 för att utföra samma jobb som en KC-10A. Kostnadsjämförelsen mellan dessa två faller då ut som följer:

- 1 KC-10A: 100 MUSD i inköp, 2.300 USD/h i drift
- 5,5 KC-130: 495 MUSD i inköp, 8.800 USD/h i drift (avser 5,5 flygplan som flygs 1 h vardera)

Även utan att anta en driftsprofil (antal timmar per år) eller beakta eventuella skillnader i avskrivningstid (livslängd) mellan nyinköpta C-130J och bättre begagnade DC-10, kan man tydligt se att C-130 under dessa förutsättningar är betydligt dyrare för samma lufttankningsuppgift jämfört med DC-10.

Anledningen till att resultatet blir så tydligt är ett antal tekniska och ekonomiska faktorer som skiljer kommersiella passagerarflygplan och militära transportflygplan åt:

- Militära transportflygplan har i flera avseenden en annan konstruktion som fördyrar såväl inköp som drift: högvingad profil, inget mittdäck, kraftiga landningsställ, andra motorer. Detta är för att kunna ta ombord skrymmande laster (fordon) och kunna operera från korta och dåliga flygfält.
- Stora civila passagerarflygplan är å andra sidan optimerade för att flyga långa sträckor mellan bra flygplatser. De har en mycket god bränsleekonomi och drifekonomi mätt med mått som tonkilometer. Flygprofilen för lufttankning påminner betydligt mer om detta, än om den profil som de militära transportflygplanen utformats för.
- Den civila flygplansmarknaden karaktäriseras av en mycket större konkurrens än den strikt militära marknaden, och därför får köparen även av denna anledning ”mer flygplan för pengarna”.
- För lufttankningsuppgiften behöver flygplanen ej heller vara helt nya, utan bättre begagnade exemplar (kanske 10-15 år gamla) kan vara helt tillfyllest. Om ett flygplan som har tillverkats i en lång serie väljs, säkerställer den stora andrahandsmarknaden tillgång på reservdelar och underhållstjänster under lång tid.

Att jämföra två flygplan av så olika storlek som KC-10A och KC-130 kan i sig påverka utfallet. Det är därför i och för sig möjligt att en jämförelse mellan t.ex. A400M och B767 inte skulle falla ut lika extremt som den här jämförelsen, men eftersom offentliga kostnadsdata för A400M är mer osäkra har denna jämförelse inte gjorts.

---

$83,6 * 1.850 / 7.040 \text{ ton} = 22,0 \text{ ton}$ . Räckvidden för en tom KC-10A är 18.500 km. Bränslemängden är då 160,2 ton. Åtgången för 1.850 km uppskattas till  $160,2 * 1.850 / 18.500 \text{ ton} = 16,0 \text{ ton}$ .  $160,2 - (22,0 + 16,0) = 122,2 \text{ ton}$ . Om 10 % av detta förutsätts utgöra en reserv, kan c:a 110 ton levereras till stridsflygplan.

