

Modellering av operatörs- funktionen med strukturella ekvationsmodeller

Martin Castor



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1350 anställda varav ungefär 950 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömningen av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.



FOI
Totalförsvarets forskningsinstitut
Ledningssystem
Box 1165
581 11 Linköping

Tel: 08-55 50 30 00
Fax: 013-12 49
www.foi.se

Modellering av operatörsfunktionen med strukturella ekvationsmodeller

Utgivare FOI - Totalförsvarets forskningsinstitut Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	Rapportnummer, ISRN FOI-R--1672--SE	Klassificering Metodrapport
	Forskningsområde 8. Människa och teknik	
	Månad, år Juni 2005	Projektnummer E7096
	Delområde 81 MSI med fysiologi	
	Delområde 2	
Författare/redaktör Martin Castor	Projektledare Martin Castor	
	Godkänd av Erland Svensson	
	Uppdragsgivare/kundbeteckning FM HKV	
	Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig Martin Castor	
Rapportens titel Modellering av operatörs-funktionen med strukturella ekvationsmodeller		
Sammanfattning (högst 200 ord) <p>Under 2002-2004 genomfördes en radarstudie vid FOI:s avdelning för StridsSimulering, FLSC (Flygvapnets Luftstrids Simulerings Center). Syftet med den av FMV beställda studien har varit att undersöka de operativa effekterna av ny nosradar till JAS 39 Gripen. Studien är en del i den systemutvecklingsprocess som ger FMV underlag för att driva materielanskaffningsprocessen vidare. Flygförarnas möjlighet att prestera med ett antal olika radaralternativ har därför studerats ingående. I samband med denna studie har en mängd data som belyser flygförarnas upplevelse och möjlighet att prestera med de utvärderade radaralternativen samlats in. MSI Metodutvecklingsprojektet har i samband med studien samlat in data som beskriver flygförarnas mentala arbetsbelastning, situationsmedvetande och operativa prestation.</p> <p>Möjligheten att med hjälp av strukturella ekvationsmodeller (SEM) statistiskt modellera delar av den stora mängd resultat som samlats in under studien beskrivs i rapporten för att visa på möjligheterna med denna analysmetod.</p> <p>Endast en delmängd av resultaten från studiens simuleringsveckor redovisas i rapporten. I rapporten görs inga jämförelser mellan de radaralternativ som studerats under radarstudien, för att undvika att denna metodrapport klassas som hemlig. Såväl kommersiell sekretess som försvarsmaktssekretess har påverkat utformning av rapporten. Det som presenteras är en statistisk modell som beskriver hur flera centrala aspekter av operatörsfunktionen relaterar till det operativa utfallet.</p>		
Nyckelord Strukturella ekvations modeller, LISREL, AMOS, modellering, operatör, mental arbetsbelastning, situationsmedvetande, prestationsvärdering, piloter, flygförare, FLSC		
Övriga bibliografiska uppgifter	Språk Svenska	
ISSN 1650-1942	Antal sidor: 28 s.	
Distribution enligt missiv	Pris: Enligt prislista	

Issuing organization FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	Report number, ISRN FOI-R--1672--SE	Report type Methodology report
	Programme Areas 8. Human Systems	
	Month year June 2005	Project no. E7096
	Subcategories 81 Human Factors and Physiology	
	Subcategories 2	
Author/s (editor/s) Martin Castor	Project manager Martin Castor	
	Approved by Erland Svensson	
	Sponsoring agency Swedish Armed Forces HQ	
	Scientifically and technically responsible Martin Castor	
Report title (In translation) Modeling of operators with structural equation models		
Abstract (not more than 200 words) <p>An aircraft radar study was performed at FOI:s Division for Combat Simulation, FLSC (The Swedish Airforce Combat Simulation Centre) during 2002-2004. The goal of the study was to investigate the operational aspects of a new aircraft radar system for the JAS 39 Gripen. The study was a part of the systems development process that provides technical input to the material acquisition process conducted by FMV (The Defence Materiel Administration). Thus, the ability of fighter pilots to perform with a number of different radar alternatives has been thoroughly studied. A large amount of data describing the pilots' experiences and means to perform with the different radar alternatives has been collected. The FOI project on Operator Functional State Assessment, responsible for this report, has collected data that describes the mental workload, situation awareness and operative performance of the pilots.</p> <p>The possibility to use structural equation modelling (SEM) to statistically model parts of the collected data is presented in the report in order to show the possibilities of this analysis method.</p> <p>Only parts of the results from the simulations run during the study are presented in the report. In the report no comparisons between the radar alternatives that were studied have been made, in order to keep this methodology report from being classified. Both commercial and military security concerns have affected the content presented in the report. A statistical model that describes how a number of central human factors concepts relate to the operative outcome is presented.</p>		
Keywords Structural equation modeling, LISREL, AMOS, modeling, operator, mental workload, situation awareness, performance assessment, pilots, FLSC		
Further bibliographic information	Language Swedish	
ISSN 1650-1942	Pages 28 p.	
	Price acc. to pricelist	

Innehållsförteckning

INLEDNING	5
MODELLERING	6
METOD	8
FÖRSÖKSDELTAGARE	8
BESKRIVNING AV SIMULATORN	8
VÄRDERINGSINSTRUMENT	9
PROCEDUR FÖR SIMULATORPASS OCH DATAINSAMLING	10
RESULTAT / STEG I MODELLERINGSPROCESSEN	11
MODELL KONCEPTUALISERING (MODEL CONCEPTUALIZATION)	11
KONSTRUKTION AV MÅTMODELLEN	12
KONSTRUKTION AV STRUKTURMODELLEN	12
KONSTRUKTION AV STIGDIAGRAM (PATH DIAGRAM CONSTRUCTION)	13
SPECIFICERING AV MODELLEN (MODEL SPECIFICATION)	13
MODELL IDENTIFIERING (MODEL IDENTIFICATION)	14
PARAMETER UPPSKATTNING (PARAMETER ESTIMATION)	15
UTVÄRDERING AV MODELLENS PASSFORM (ASSESSMENT OF MODEL FIT)	16
JUSTERINGAR AV MODELLEN (MODEL MODIFICATION)	16
KORSVALIDERING AV MODELLEN (MODEL CROSS VALIDATION)	17
DISKUSSION	19
SLUTSATSER VAD GÄLLER METODEN	19
SLUTSATSER VAD GÄLLER MODELLEN	20
REFERENSER	21
BILAGA 1. DATAUNDERLAG	22
BILAGA 2. SKATTNINGSFÖRMULÄR	25

1 Inledning

Förmågan att kunna beskriva en operatörs beslutsfattande, kognition och prestationsförmåga är viktig för att kunna driva en systemutvecklingsprocess som leder till system som är anpassade till operatörernas behov. Centrala koncept som fått stor uppmärksamhet är mental arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation.

Det har dock visat sig svårt att slutgiltigt definiera dessa begrepp, trots att de svarar mot de begrepp som operatörerna själva använder sig av. Omfattande ansträngningar har gjorts för att utveckla mätmetoder för att värdera dessa koncept, men eftersom dessa begrepp är komplexa och mångfacetterade är metodutvecklingen på intet sett slutförd.

När man försöker värdera något så komplext som operatörsfunktionen och dess interaktion med ett komplext tekniskt system i en dynamisk situation, i det här fallet luftstrid, måste en mängd mått användas för att fånga all den varians i beteende, upplevelser och utfall som uppvisas, inte bara under ett pass utan över ett större antal simulerade strider. Det som utspelar sig under en strid och operatörens prestationsförmåga är alltså alltför komplexa processer för att kunna beskrivas av ett enda mått. Som regel används därför ett batteri av frågor och loggningsmått.

Mängden data som alla dessa mått genererar bidrar till att analysen ofta blir omfattande och svår att överblicka. För att reducera mängden data kan olika faktoranalytiska och multivariata metoder som strukturell ekvationsmodellering (SEM) och "multi-dimensional scaling" (MDS) användas. Multivariata statistiska metoder är viktiga för att kunna beskriva de multipla inbördes samband som brukar finnas hos experimentella data från tillämpade situationer. Med hjälp av den multivariata statistiken kan vi analysera kausala relationer och den relativa effekten från olika kausala faktorer. Exempel och beskrivningar av hur multivariata statistiska metoder kan användas beskrivs t.ex. av Erland Svensson i kapitel 5 i "GARTEUR Handbook of Mental Workload Measurement" (Castor, m.fl., 2003) och i kapitel 4.5 i "Operator Functional State Assessment" (Wilson, m.fl., 2004).

Strukturella ekvationsmodeller erbjuder en kraftfull statistisk modelleringsteknik som kan användas när man har en större mängd data som behöver sammanfattas i en mer lättöverskådlig form. Strukturella ekvationsmodeller kan då användas för att utveckla en statistisk modell av hur olika begrepp och mätvärden relaterar till varandra. Målet med denna typ av modellering är alltså att kunna beskriva och om möjligt förklara en komplex och multifaktoriell process genom att använda ett begränsat antal centrala koncept.

I strukturella ekvationsmodeller är det linjära sambandet mellan variablerna och den delade variansen grunden för analysen. Detta gör att styrkan i sambandet mellan variabler kan uttryckas i mängd förklarad varians och därför är dessa metoder mer kraftfulla än de ofta använda metoderna för att jämföra medelvärden mellan grupper, som t-test och variansanalyser m.h.a. ANOVA och MANOVA. När vanliga regressionsmetoder inte längre är tillräckliga och kan ge missvisande resultat, som det kan bli i studier där alla uppmätta variabler innehåller mätfel och målet för studien är att värdera de relationer som står för variationen i de uppmätta variablerna, är SEM ett alternativ.

När man tar fram en strukturell ekvationsmodell görs detta med hjälp av särskild programvara för analyserna. Det första analysprogrammet som utvecklades var LISREL (SSI, 2005) vilket är en akronym för Linjära Strukturella Relationer och är utvecklat av de svenska professorerna Jöreskog och Sörbom. Den första versionen av LISREL fanns tillgänglig 1969. LISREL har därefter utvecklats i flera generationer för att kunna genomföra dessa analyser av kovariansstrukturer. Hittills har LISREL varit den mest spridda programvaran för denna typ av analyser och strukturella ekvationsmodeller har därför ofta helt enkelt kallats för LISREL modeller. Med tiden har dock flera andra programpaket också utvecklats där AMOS (SPSS, 2005,) och EQS (MVSOFT, 2005) kanske är de mest kända.

2 Modellering

De koncept eller begrepp som kommer modelleras i denna rapport representerar ”teoretiska konstruktioner” som inte går att mäta direkt. Dessa ”teoretiska konstruktioner” som t.ex. mental arbetsbelastning eller situationsmedvetande måste därför beskrivas som så kallade latenta faktorer, vilket är något som vi kan bara beskriva genom att mäta ett antal manifesta variabler, d.v.s. något som vi kan mäta. De manifesta variablerna är alltså operationaliseringen av den latenta faktorn.

För att få en fullständigare och mer balanserad mätning av den latenta faktorn används som regel flera manifesta variabler för varje latent faktor. För det stora flertalet begrepp och fenomen som är av intresse inom den beteendevetenskapliga forskningen saknas det dock felfria mätverktyg, så till varje manifest variabel är också en felkälla kopplad. Eftersom vi också vet att vi inte helt felfritt kommer att ha kunnat definiera den latenta faktorn, d.v.s. det kommer finnas en viss mängd oförklarad variation, måste det därför även finnas en residual term eller felkälla kopplad till varje latent faktor.

Den huvudsakliga skillnaden från en vanlig regressionsmodell med en prediktor (en oberoende) och en kriterievariabel (en beroende) är att faktorerna är latenta och att de var och en mäts med flera manifesta variabler. Dessutom kommer det mätfel att finnas inkluderade på fler ställen.

En kovarians struktur modell av denna typ är uppbyggd av två delar eller delmodeller. Mätmodellen beskriver hur varje latent variabel är operationaliserad (mätt) av sina respektive manifesta variabler. Mätmodellen ger också information om validitet och reliabilitet hos de observerbara variablerna. Strukturmodellen beskriver relationen mellan de latenta variablerna och mängden oförklarad varians. För att göra detta tydligare kan figur 4, d.v.s. stigdiagrammet i avsnitt 4.2 användas som illustration. Pilarna mellan de avlånga ovalerna, d.v.s. mellan de latenta faktorerna, visar strukturdiagrammet medan pilarna mellan de avlånga rektanglarna och ovalerna representerar mätmodellen.

Om forskaren har tillgång till felfritt mätta s.k. objektiva variabler, som i det aktuella fallet data som går att extrahera ur simulatören (t.ex. radartäckning) så kan dessa användas som den enda manifesta variabeln som beskriver en latent faktor. Rekommendationen är dock att det ska vara minst tre manifesta variabler per latent faktor. De manifesta ska dessutom inte mäta exakt samma aspekt av den latenta faktorn.

Strukturella ekvationsmodeller ger egentligen inte modellutvecklaren något stöd för att uttala sig om kausaliteten, d.v.s. vad som orsakar vad, i strukturmodellen utan detta måste baseras på saklogiken och den teoretiska grund som modellen utvecklas ifrån.

För att illustrera vad statistisk eller konceptuell modellering kan sägas innebära så kan följande liknelse med ”modellering” av en snöflinga användas. Alla verkliga snöflingor är olika i sin exakta form, men det finns ändå mönster som tydligt identifierar det som en snöflinga och som kan hittas hos alla snöflingor, d.v.s. det går att beskriva en modell för hur en snöflinga ser ut (Se figur 1). De centrala frågorna i en modelleringsprocess är hur detaljerad modellen måste vara och hur mycket våld modellutvecklaren behöver utöva på verkligheten för att den ska passa in i modellen, samt hur mycket information som i så fall måste skäras bort för att det ska passa. Frågan är alltså hur stora skillnader mellan modellen och den verkliga världen man kan acceptera, jämför med ”fit indices” i avsnitt 4.6.



Figur 1. En snöflinga och två modeller av denna, med olika detaljeringsgrad.

Svaret på frågan om vad som är en lämplig modellkomplexitet är givet av tillämpningen för modellen. Beroende på syftet med modellen så kan modellen beskrivas med olika detaljeringsgrad, men den centrala egenskapen hos en modell är alltid att det är en förenkling av verkligheten.

Sökandet efter den ”enda och sanna” modellen innebär alltså en ”felaktig” syn på modellering. Detta då det är forskaren själv sätter ramen för vilka faktorer som ska vara med i en modell och att det ofta finns konkurrerande modeller som också i viss utsträckning stöds av data. I exemplet ovan kan t.ex. båda de två högra snöflingorna kan vara en korrekt beskrivning av hur den vänstra snöflingan egentligen ser ut. Modellen beskrivs för att göra en enklare beskrivning av det för ändamålet relevanta faktorerna och hur de hör ihop.

3 Metod

3.1 Försöksdeltagare

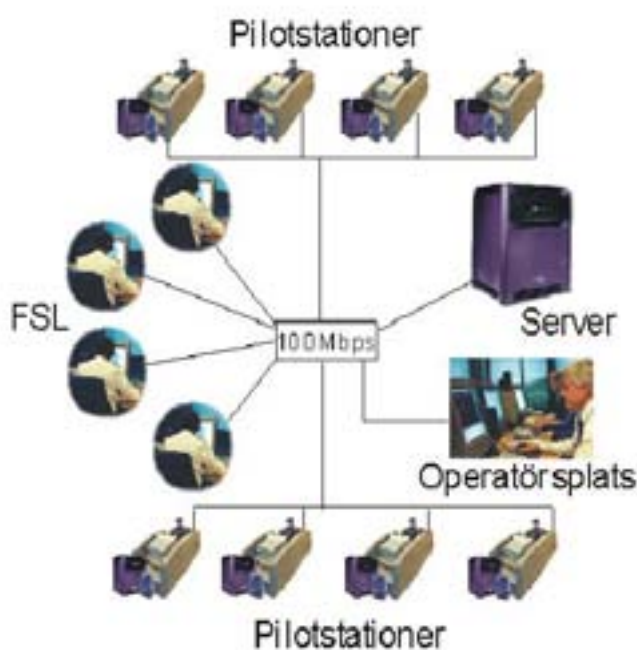
Under den aktuella veckan bemannades de simulerade flygplanen av nio stycken av flygvapnets flygförare. Flygförarnas medelålder var 31 år och deras erfarenhet uttryckt i antal flygtimmar var 600 – 2300h (medel 1340h med en standardavvikelse på 533h). Mängden flygtimmar för militära systemflygplan (37 och 39 systemen) var 370 – 1750 (medel 888h, standardavvikelse 457h).

3.2 Beskrivning av simulatorm

Simulatoranläggningen i FLSC består av åtta pilotstationer där JAS 39 Gripen och andra flygplan kan simuleras. Under de i rapporten redovisade simuleringarna bestod den blå sidan av fyra JAS 39 och röd sida bestod av fyra prestandaöverlägsna flygplan. I anläggningen finns också fyra stycken stationer som bemannas av FSL (Flygstridsledare).



Figur 2. En flygförarstation i FLSC. Ytterligare stationer och övningsledningens översiktsscenario kan skymtas i bakgrunden.



Figur 3. En schematisk beskrivning av FLSC:s uppbyggnad.

3.3 Värderingsinstrument

Under radarstudien samlades en mängd olika typer av data in, med flera olika typer av värderingsinstrument. Den datamängd som ingår i de modeller som redovisas i rapporten är av två typer. Det är dels subjektiva skattningar som gjorts på FOI PPS (FOI Pilot Performance Scale) formuläret (se bilaga 2) och dels mätdata som extraherats ur simulatorns loggfiler, s.k. objektiva data.

I de två tabellerna nedan presenteras vilka latenta faktorer som värderats och vilka manifesta variabler som byggt upp respektive latent faktor.

Latent faktor	Beskrivning av den latenta faktorn	Manifesta variabler
SENSORH	Sensorhantering	1 objektiv, 4 subjektiva
INFO	Hur användbar flygförarna tyckte informationen på skärmarna var	4 subjektiva
MARB	Mental arbetsbelastning	4 subjektiva
SA	Situationsmedvetande	4 subjektiva
OFF.PREST	Offensiv prestation, d.v.s. verkan mot fienden	2 objektiva
DEF.PREST	Defensiv prestation, d.v.s. egen överlevnad och passets genomförande	1 objektiv, 1 subjektiv

Namnen på de latenta brukar behållas som förkortning för att de tydligt visa att det är en latent faktor och att man är medveten om vad det är man värderar.

Variabelnamn	Latent faktor	Frågans lydelse (sammanfattad)
RDRTÄCK	SENSORH.	Hur stor del av tiden som något fientligt flygplan befann sig inom ett givet hotavstånd samtidigt som något flygplan i det egna förbandet hade radarkontakt med denna fi.
PRESTS1	SENSORH.	Kunde utnyttja radarns potential?
PRESTS2	SENSORH.	Kunde hålla radarkontakt med mål?
PRESTS3	SENSORH.	Problem använda radarn?
SAMARB1	SENSORH.	Förbandets sensortäckning?
INFO2	INFO	Överblickbar info på MI?
INFO3	INFO	Kunde utnyttja info på MI?
INFO4	INFO	Överblickbar info på TI?
INFO5	INFO	Kunde utnyttja info på T?I
MARB1	MARB	Mentala arbetsbelastningen ett hinder?
MARB2	MARB	Hur stor var den mentala arbetsbelastningen?
MARB3BED	MARB	Mental arbetsbelastning skattat m.h.a. den modifierade Cooper-Harper skalan (Wierwille & Casali, 1983)
INFO1	MARB	Informationsbelastning?
SA1	SA	Koll på läget?
SA2	SA	Överraskad FI position?
SA3	SA	Överraskad FI beteende?
SA5	SA	Kunde förutsäga händelseutvecklingen?
HITS	OFF.PREST	Antal träffar
MSLPROC	OFF:PREST	Procent antal lyckade målsökarlånningar
ÖVERLEVNAD	DEF.PREST	Egen överlevnad
PREST1	DEF.PREST	Hur bra flygföraren lyckades med passet?
E ⁿ		Felvarians

Med hjälp av den FOI PPS enkät som användes under veckan (bilaga 2) värderas ytterligare aspekter av flygförarnas upplevelse av passet som inte används i denna modellering. Till exempel finns ett antal skattningar av samarbetet i gruppen, passens svårighetsgrad och risktagande med i skattningsformuläret. Dessa och ytterligare variabler som går att extrahera ur simulatorns loggfiler kommer att användas i kommande analyser av dessa data. De subjektiva skattningarna har gjorts på en skala från 1-7.

3.4 Procedur för simulatorpass och datainsamling

Under radarstudien genomfördes 10 simuleringsveckor där olika radaralternativ utvärderades mot varandra. Totalt flögs 308 simulerade pass där data för fyra flygförare per pass (blå sida) samlades in. Totalt 1232 skattningsformulär har alltså samlats in under studien. I denna rapport är det bara resultaten från 36 pass, d.v.s. 144 skattningsformulär som redovisas. Under den aktuella veckan jämfördes tre radaralternativ med stora skillnader vad gäller teknisk prestanda och därför har denna delmängd av data valts, även om modellerna för de tre delmängderna inte kommer redovisas p.g.a. sekretesskäl.

Det scenario som flygförarna flög i under veckans 36 pass var ett BVR-scenario (Beyond Visual Range) där både blå och röd sida bestod av fyra flygplan. För att mimimera effekten av taktikval i utfallet flögs passen i tripletter, där gruppen bibehöll samma principiella taktik i tre konsekutiva pass, ett för varje sensoralternativ.

När en flygförare bekämpats eller när passet bröts av övningsledningen fyllde de fyra flygförarna på blå sida i varsitt skattningsformulär. Ifyllningen av skattningsformulären tog 3-5 minuter. Därefter tittade samtliga flygförare (både blå och röd sida) igenom en uppspelning av passet. Därefter följde en kort planeringstid för respektive grupp, eventuellt sidbyte om tripletten avklarats och därefter flögs ett nytt pass. Varje pass tog totalt ca 30-40 minuter i anspråk.

4 Resultat / Steg i modelleringsprocessen

När man går igenom en modellutvecklingsprocess för strukturella ekvationsmodeller går man igenom följande åtta relativt distinkta, men ändå relaterade faser (Diamantopoulos & Siguaaw, 2000):

1. Modell konceptualisering (Model conceptualization)
2. Path diagram konstruktion (Path diagram construction)
3. Model specificering (Model specification)
4. Modell identifiering (Model identification)
5. Parameter uppskattning (Parameter estimation)
6. Värderings av modellens passform (Assessment of model fit)
7. Justeringar av modellen (Model modification)
8. Korsvalidering av modellen (Model cross validation)

I detta kapitel kommer modellutvecklingen gås igenom steg för steg. Den datamängd som utgör grunden i denna modelleringsprocess utgör en delmängd av den stora datamängd som samlats in under studien.

Analyserna som redovisas har genomförts både med hjälp av LISREL8.5 och m.h.a. AMOS 5.

4.1 Modell konceptualisering (Model conceptualization)

I detta inledande steg avgör modellutvecklaren vilka begrepp eller latent faktorer som är av intresse och hur de ska operationaliseras (mätas) genom manifesta variabler. Konceptualiseringen av modellen handlar alltså om att, med hjälp av teoribaserade hypoteser, ha en tydlig idé om hur de latent faktorerna relaterar till varandra och hur de relaterar till sina respektive manifesta variabler.

Det är viktigt att förstå att en framgångsrik modelleringsprocess med hjälp av strukturella ekvationsmodeller i mycket stor utsträckning grundläggs genom en ”sund konceptualiseringsfas”. Det är sällsynt att en modelleringsprocess som inte baserar sig på tidigare teori och vedertagna begrepp och väl operationaliserade mått kommer att producera någon användbar modell.

Den modellkonceptualisering som skett i den redovisade modellutvecklingen baserar sig på begrepp som värderats i flera tidigare svenska och svensk-amerikanska studier (t.ex. Svensson & Wilson, 1999; 2002; Svensson, m.fl., 1997).

De begrepp som ingår i den aktuella modellen är sensorhantering, informationens användbarhet (informationskomplexitet), mental arbetsbelastning, situationsmedvetande och operativ prestation. Prestationsbegreppet delas här upp i defensiv prestation och offensiv prestation.

Denna fas av modellutvecklingen fokuserar på den strukturella modellen och representerar det teoretiska antaganden eller ramverk som ska testas. Modellutvecklaren måste här tydligt skilja på exogena och endogena variabler i modellen. Exogena variabler är alltid oberoende variabler och kan alltså aldrig bli påverkade av någon annan variabel i modellen. Endogena variabler är sådana variabler som påverkas av någon annan variabel i modellen och alltså i någon mening kan förklaras med hjälp av en annan variabel. En endogen variabel kan dessutom vara en oberoende variabel för någon annan endogen variabel i modellen. Eftersom variationen i en modells endogena variabler sällan helt kan förklaras av de variabler som modellen påstår ska förklara dem antas en felterm eller residual också alltid påverka varje endogen variabel.

Under detta steg av modellutvecklingen är det centralt att säkerställa att inga viktiga faktorer som påverkar det man vill beskriva har utelämnats eller inte mäts av de mätverktyg man använder. En modell

ska givetvis vara så komplex så att alla faktorer som forskaren anser vara relevanta på något sätt ingår i modellen. Om man inte mäter kritiska variabler gör man ett s.k. specifikationsfel vilket innebär att den modell forskaren i slutändan inte föreslår ger en rättvisande bild av det man vill visa och av de variabler som ingår i modellen. Ett specifikationsfel leder också till att de värden som analysprogrammet tar fram under parameteruppskattningsfasen (4.5) kan bli för låga och det kan därigenom antyda att det inte finns samband mellan två latenta faktorer även om det gör det.

I Diamantopoulos & Siguaw (2000) anges att modeller med 5-6 latenta faktorer mätta med 3-4 manifesta variabler kan vara en lämplig övre komplexitetsnivå för strukturella ekvationsmodeller. Många av de modeller som beskrivs i litteraturen är dock mindre komplexa, ofta med 2-3 latenta faktorer. Metoden medger att man beskriver större modeller, men det blir då ofta svårt att nå den ”model fit” (se avsnitt 4.6) som man brukar rekommendera som gränsvärden för en ”acceptabel” modell. Med acceptabel menas här dock utifrån statistiken, inte användbarheten/förklaringsvärdet för modellen.

4.1.1 Konstruktion av mätmodellen

De mätverktyg som används som manifesta variabler ska helst baseras på de metodologiska erfarenheter som gjorts tidigare inom området så att beteende hos olika skattningsskalor o.s.v. är känt.

I den aktuella modellutvecklingen har faktoranalys använts för att berättiga de manifesta variabelernas koppling till respektive latent faktor, utöver de teoridrivna kopplingarna d.v.s. att frågorna som frågar om t.ex. mental arbetsbelastning kopplar till den latenta faktorn MARB. Resultaten av den faktoranalys som använts för att stärka den teoretiska motiveringen till mätmodellens utformning redovisas i Bilaga 1. Faktoranalysen visar på en relativt ren bild där de manifesta variabelerna i princip bara laddar i en latent faktor.

Även om faktoranalysen tydligt separerar mellan frågorna som handlar informationen på TI respektive MI så bildar de i denna modell en gemensam faktor. I en mer komplex modell kan de delas upp för att se hur informationshanteringen på TI resp. MI relaterar inbördes. Omvänt så laddar de manifesta variabelerna som relaterar till den operativa prestationen i en faktor, men har i modellen delats upp i en latent faktor som kallas Offensiv prestation och en som kallas Defensiv prestation.

4.1.2 Konstruktion av strukturmodellen

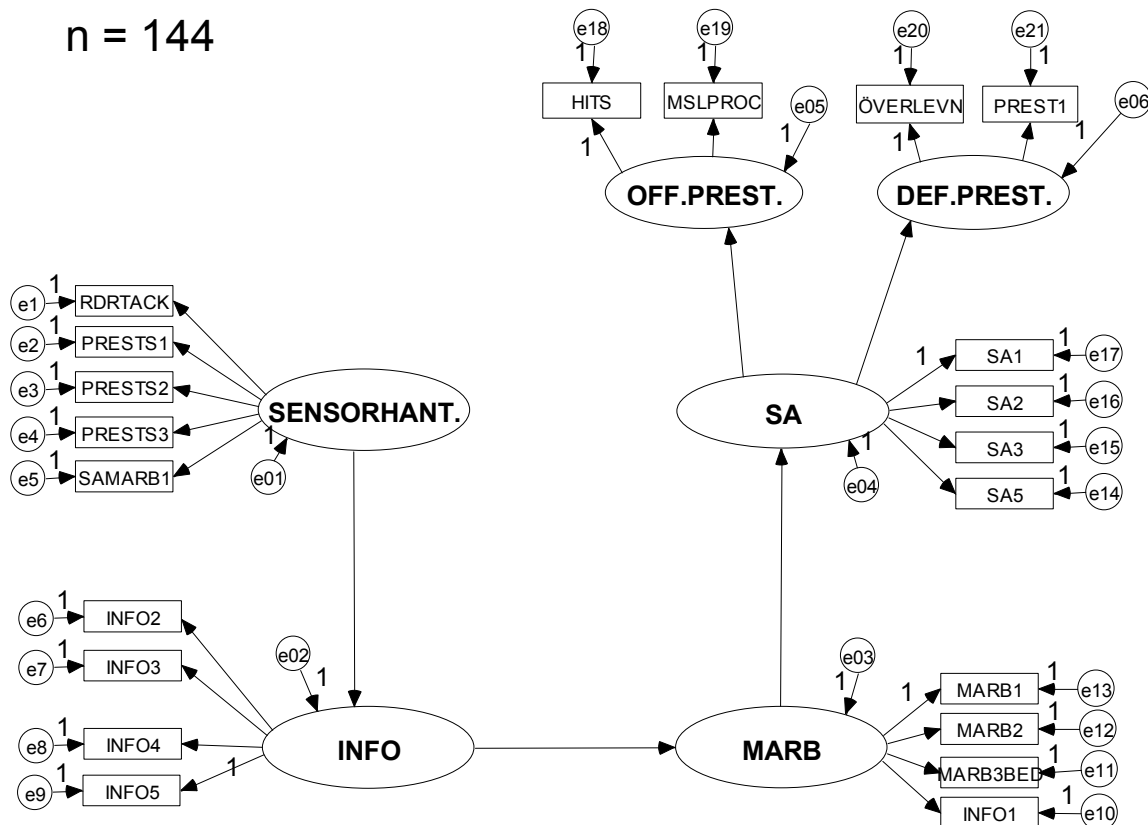
Strukturmodellen (d.v.s. hur de latenta faktorerna är ordnade i förhållande till varandra och vilka inbördes relationer som finns mellan dem) ska vara modellutvecklarens kvalificerade bedömning av hur de begrepp som är av intresse, utifrån forskningsområdets teoribildning, antas relatera till varandra.

Tidigare studier (Svensson, m.fl., 1997, Svensson & Wilson 1999; 2002; Nählinder, Berggren & Svensson, 2004) har visat följande återkommande sekvens för koncepten: uppdragets komplexitet → mental arbetsbelastning → situationsmedvetande → operativ prestation. En ökning av uppdragets komplexitet har lett till ökad mental arbetsbelastning vilket leder till minskat situationsmedvetande, vilket i sin tur leder till försämrad prestation.

4.2 Konstruktion av stigdiagram (Path diagram construction)

I detta andra steg i modelleringsprocessen kan modellutvecklaren beskriva sin modell genom att grafiskt beskriva sin modell som ett stig diagram (path diagram). Man kan avstå från detta steg, men det hjälper till att göra modellen tydligare för forskaren.

Den modell som redovisas nedan är baserad på faktoranalys av radarstudiens alla 1232 skattningsformulär.



Figur 4. Stigdiagram för strukturmodell och mätmodell under modell konceptualiseringsfasen (n=antalet försökspersoner).

4.3 Specificering av modellen (Model specification)

Det tredje steget är modell specificering vilket görs genom att för analysprogrammet specificera vilka variabler som ska vara med i modellen och hur de ska relatera till varandra.

Modellutvecklaren kan specificera modellen genom att definiera en styrfil antingen m.h.a. text eller grafik. Både LISREL (versioner 8 eller högre) samt AMOS erbjuder ett grafiskt gränssnitt där sambanden i modellen kan specificeras med riktade eller dubbelriktade pilar som t.ex. i figur 4.

I båda programpaketen finns också ett programmeringsspråk så att modellerna kan specificeras i text (SIMPLIS eller LISREL språket i LISREL 8 och AMOS Basic för AMOS 5).

Ett exempel från LISREL är SIMPLIS styrfilen nedan som ger upphov till samma slutliga modell som den som presenteras under 4.7, dvs figur 6.

```
Raw Data from file 'C:\databas_veckaX.psf'  
Sample Size = 144  
Latent Variables sensorh info marb sa offprest defprest  
Relationships  
RDRTACK = sensorh  
PRESTS1 = sensorh  
PRESTS2 = sensorh  
PRESTS3 = sensorh  
SAMARB1 = sensorh  
INF02 = info  
INF03 = info  
INF04 = info  
INF05 = info  
SA1 = sa  
SA2 = sa  
SA3 = sa  
SA5 = sa  
MARB1 = marb  
MARB2 = marb  
MARB3BED = marb  
INF01 = marb  
MSLPROC = offprest  
HITS = offprest  
PREST1 = defprest  
OVERLEVN = defprest  
Set the Error Covariance of INF03 and INF02 Free  
Set the Error Covariance of INF05 and INF04 Free  
Path Diagram  
Iterations = 250  
Method of Estimation: Maximum Likelihood  
End of Problem
```

När modellen är specificerad i text eller m.h.a. det grafiska gränssnittet kan själva räknandet sätta igång.

4.4 Modell identifiering (Model identification)

Det fjärde steget i processen är modell identifiering, vilket görs av det analysprogram, t.ex. AMOS eller LISREL, som man använder. I detta steg undersöks den empiriska databasen för att se om det finns tillräckligt med information i datamängden för att genomföra den parameteruppskattning som sker i nästa steg, d.v.s. att ett unikt värde kan identifieras för varje parameter i modellen. Om det saknas information blir modellen ”unidentified” och analysen måste avbrytas. Om detta sker måste modellen formuleras om på något sätt, antingen genom att ta bort eller lägga till någon koppling eller låsa något värde.

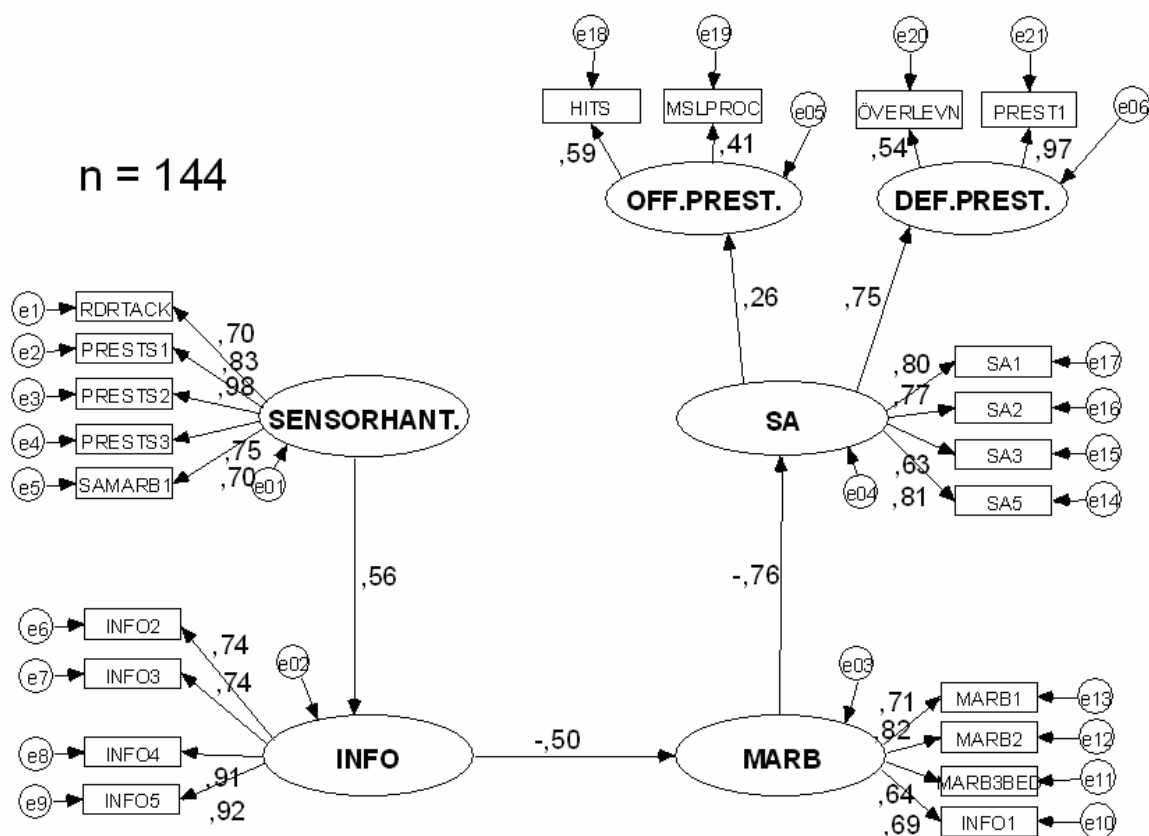
För att göra en liknelse som förklarar vad som sker under modell identifieringen kan följande exempel användas: Finns det tillräckligt med information för att unikt identifiera värdena på A och B i ekvationen $A*B=100$? Svaret är: Nej, det finns flera olika parameteruppsättningar som kan lösa ekvationen. Det går alltså inte att hitta unika värden på variablerna vilket motsvarar att en modell skulle bli ”unidentified”. Om man däremot låser A till 10, så vet man att B bara kan vara 10 och detta motsvarar att modellen kan identifieras.

4.5 Parameter uppskattning (Parameter estimation)

Om modellen kan identifieras så kan parameteruppskattningen ta vid. Under parameteruppskattningen skapar analysprogrammet en kovariansmatris som baserar sig på den specificerade modellen. Om det inte finns någon koppling mellan två faktorer specificerat i modellen sätts alltså kovariansen till noll.

Avsaknad av en pil i modellen nedan innebär alltså ett relativt starkt teoretiskt påstående, som t.ex. att sensorhanteringen inte har någon direkt påverkan på situationsmedvetande utan att detta medieras genom mental arbetsbelastning och hur användbar förarna tycker informationen på TI och MI är.

Den kovariansmatris som modellen föreslår jämförs sedan med en kovariansmatris som baseras på den insamlade datamängden.



Figur 5. Modell med parameterestimater. Modellen ovan är ritad m.h.a. AMOS, p.g.a. bättre grafikhantering i AMOS, men "fit"-värdena nedan kommer från LISREL.

Degrees of Freedom = 215

Minimum Fit Function Chi-Square = 658.41

Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.12

P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.00

Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.90

Goodness of Fit Index (GFI) = 0.71

I figur 5 redovisas en standardiserad lösning d.v.s. det är korrelationer som visas i stället för kovarianser eftersom de manifesta variablerna mätts med olika skalor.

De estimat av faktorinterkorrelationerna (d.v.s. värdena på pilarna) som presenteras i figur 5 är baserat på 144 skattningsformulär, d.v.s. de 36 körningar som flögs under en av radarstudiens vecka.

4.6 Utvärdering av modellens passform (Assessment of model fit)

Nästa steg är utvärdering av modellens passform, ”model fit”, d.v.s. i vilken utsträckning den modell forskaren föreslagit överensstämmer med den empiriska datamängden (jämför med snöflinge-exemplet). En modell har bra passform när den kovarians matris modellen stipulerar liknar den kovariansmatris som den insamlade datan genererar. För att kunna göra bedömning hur lika de två kovariansmatriserna är har det utvecklats en mängd mått av passformen, s.k. ”fit indices”, som på olika sätt beskriver hur väl de två matriserna passar varandra. Med hjälp av dessa ”fit indices” kan modellutvecklaren skaffa sig en uppfattning om hur bra den föreslagna modellen är och hur väl man har lyckats med operationalisering av modellens latent faktorer. Exempel på några av de mest använda måtten är RMSEA, GFI och χ^2 (chi square).

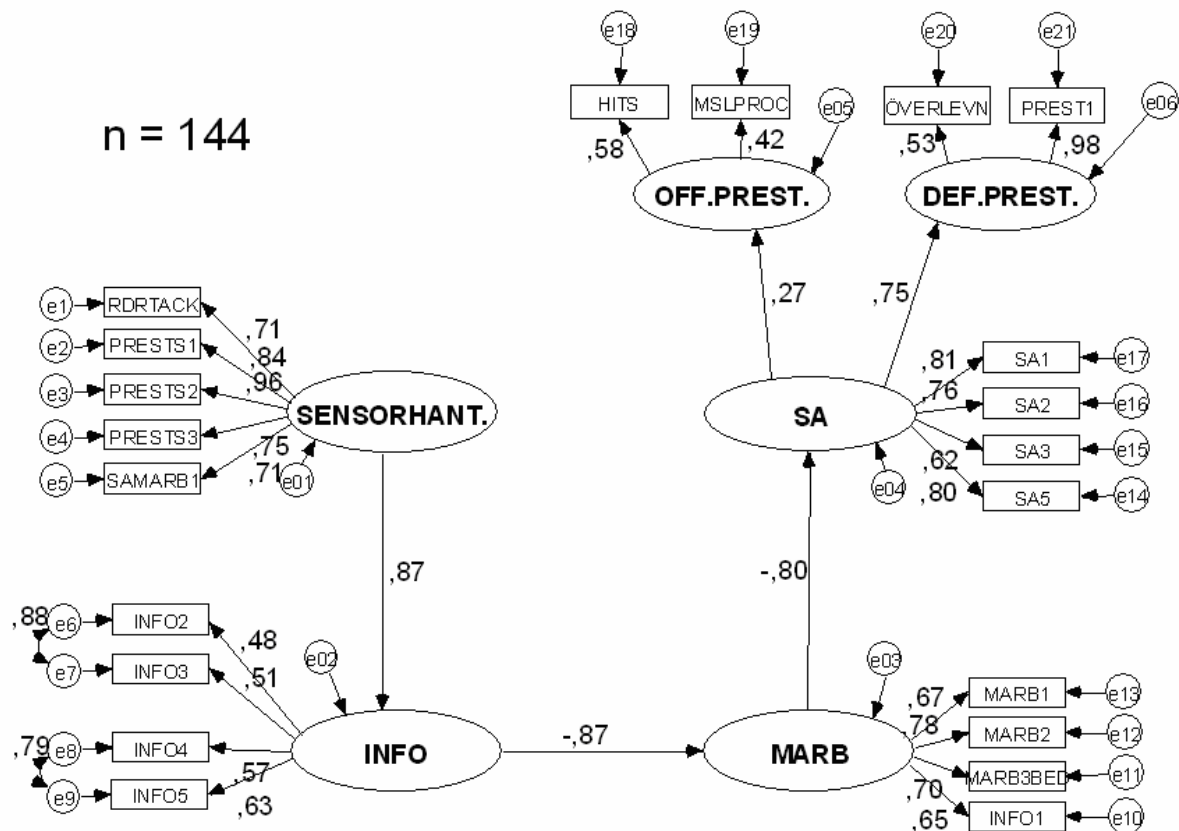
4.7 Justeringar av modellen (Model modification)

När modellen har utvärderats med avseende på dess passform kan modellutvecklaren avgöra om modellen kan och ska modifieras för att stämma bättre överens med den insamlade datamängden.

Eventuella förändringar kommer att påverka modellens ”fit” och både AMOS och LISREL kan ge förslag på hur modellen kan anpassas, s.k. ”modification indices”. Alla förändringar som görs måste dock ha ett starkt teoretiskt berättigande och forskaren måste undvika lockelsen att modifiera modellen bara för att få bättre passform.

I den analys som redovisas här förslogs en koppling mellan felvariansen för de två frågor som där föraren skattar hur användbar informationen på MI var. Detta innebär att en kovarians mellan felvariansen för INFO2 och INFO3 lagts till. Detsamma gäller för INFO4 och INFO5, d.v.s. frågorna som handlar om TI. Denna samvarians kan vara godtagbar eftersom dessa frågor frågar om nästan samma sak (se bilaga 2, frågorna 12-15).

När denna modellförändring gjorts förbättras modellens anpassning avsevärt, se figur 6.



Figur 6. Modifierad modell. Modellen ovan är ritad m.h.a AMOS, pga bättre grafikhantering i AMOS, men "fit" - värdena nedan kommer från LISREL.

Degrees of Freedom = 172
 Minimum Fit Function Chi-Square = 367.62
 Root Mean Square Error of Approximation (RMSEA) = 0.088
 P-Value for Test of Close Fit (RMSEA < 0.05) = 0.00
 Non-Normed Fit Index (NNFI) = 0.94
 Goodness of Fit Index (GFI) = 0.80

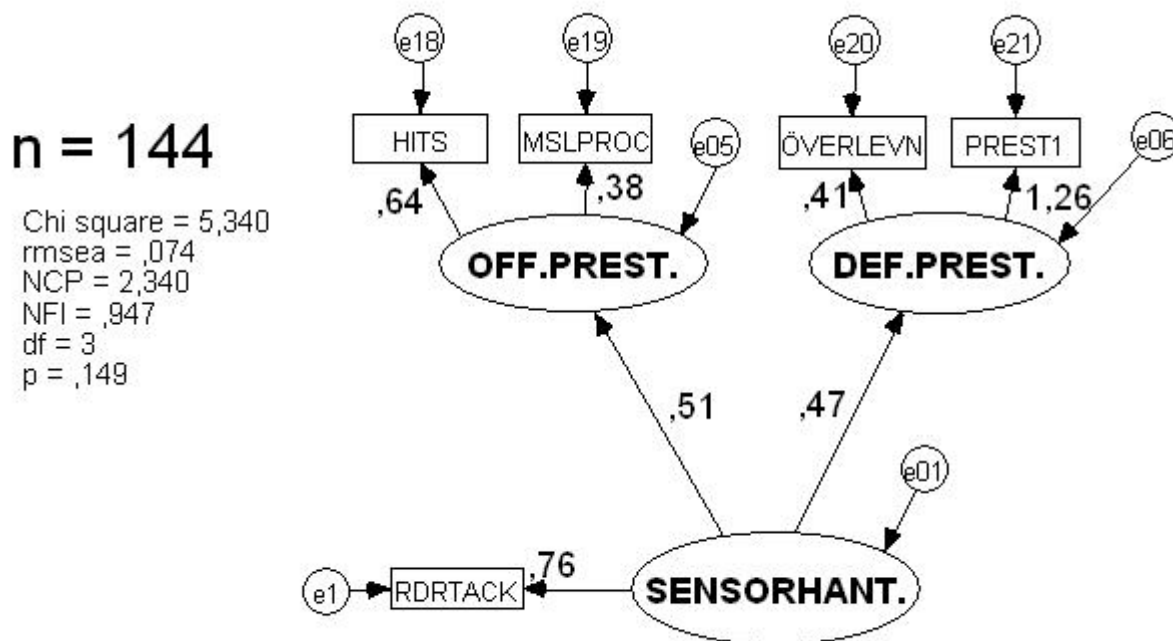
Som framgår här så steg GFI till 0.80 och RMSEA sjönk till 0.088. Gränsvärden för vad som kan anses vara en tillräckligt bra passform börjar närma sig. I Bollen (1989) anges ett värde på 0,08 på RMSEA som godtagbar "fit" och ett värde på 0,05 som bra "fit". GFI ska helst ligga över 0.9 på GFI och χ^2 ska inte bli signifikant.

4.8 Korsvalidering av modellen (Model cross validation)

Det sista steget i modelleringsprocessen är att genomföra korsvalidering av den förslagna modellen genom att pröva den mot en annan datamängd (eller en delmängd av den insamlade datamängden som man sparar för denna validering och som alltså inte varit med tidigare i modelleringsprocessen). Korsvalidering är extra viktigt om när man gjort omfattande modifieringar av modellen under modelljusteringsfasen. Någon korsvalidering kommer inte redovisas i denna rapport men mätmodellen är baserad på flera faktoranalyser genomförda på data från varje enskild vecka. Strukturmodellen visar sig också hålla när modellen prövas på andra delmängder av data, även om faktorinterkorrelationerna blir annorlunda.

En fråga man också måste hantera när man beskriver modeller av denna typ är att det nästan alltid finns alternativa modeller som också kan beskriva den empiriska datamängden, jämför återigen med snöflinge-exemplet. Det kan också finnas s.k. ”nested models” som finns inuti den modell man beskriver. Den modellmodellutvecklaren i slutändan väljer att presentera är den modell som har bäst ”fit indices” och som visar de samband som man vill visa. Den modell som presenteras i avsnitt 4.7 är ”den bästa” som går att hitta, d.v.s. som den empiriska datamängden stöder och som visar starkast kovarianser mellan de latent faktorerna.

Till exempel går det också att presentera följande alternativa och betydligt enklare modell som direkt visar sambanden mellan procent radartäckning, d.v.s. en helt objektiv variabel, och de två latent faktorerna som relaterar till prestation ser ut på följande sätt.



Figur 7. En alternativ modell.

Den mängd varians som radartäckning kan förklara hos den offensiva prestationen är 26%. Radartäckning och Defensiv prestation har 23% gemensam varians. Modellens fit värde är bättre, eftersom det är en enklare modell med färre frihetsgrader.

5 Diskussion

5.1 Slutsatser vad gäller metoden

Metoden är användbar

Strukturella ekvationsmodeller kan som visats användas för att sammanfatta en stor mängd data, i detta fall har data från 21 olika mått, både subjektiva skattningar och objektiva loggningar, sammanfattats i 6 latent faktorer och 5 kopplingar mellan dem i strukturmodellen. En avsevärd datareduktion har alltså gjorts och rådata från en mängd skattningar och loggningar har sammanfattats i en modell som kan presenteras grafiskt. Tillsammans med en första explorativ faktoranalys är metoden alltså lämplig för att sammanfatta större mängder data och för att beskriva hur olika begrepp och variabler relaterar till varandra.

Hur kan man jämföra olika modeller för att jämföra t.ex. designalternativ

Syftet med radarstudien där data samlats in var att jämföra ett antal radaralternativ m.a.p. flygförarnas möjlighet att prestera med de olika radarsystemen. I rapporten har ingen jämförelse av de olika alternativen gjorts av sekretesskäl, men en forskningsfråga som kvarstår är hur man ska använda strukturella ekvationsmodeller för att jämföra t.ex. tre olika designalternativ för en display eller tre radaralternativ. Ska man utveckla en modell som passar alla tre alternativ och sedan utvärdera vikten på laddningarna mellan de latent faktorerna (d.v.s. faktorinterkorrelationen), eller ska man utveckla tre olika modeller och utvärdera skillnader och likheter mellan dem.

Generellt sett kan man säga att det inte är för denna typ av jämförelser som metoden använts tidigare. Modellerna har använts för att på bästa sätt beskriva en datamängd, oftast med den enklast tänkbara modellen (som samtidigt har bra "fit"). Då syftet är att jämföra t.ex. tre designalternativ är det dock inte självklart att man ska beskriva den enklaste modellen, eftersom det kan vara så att man behåller mer diagnosticitet om man beskriver en mer komplex modell. Diagnosticitet är en mycket viktig egenskap hos analysmetoder och med begreppet avses måttets förmåga att visa var en skillnad uppstått, inte bara att det finns en skillnad. I Lysaught, m.fl., (1989) beskrivs essensen i begreppet diagnosticitet som att måttet t.ex. ska kunna identifiera om det är ett sensoriskt, perceptuellt, kognitivt eller motoriskt problem som uppstått hos operatören eller förmågan att kunna säga vilken del av ett gränssnitt som en operatör har problem med.

Många olika modeller kan beskrivas

Vilket förhoppningsvis framgått av rapporten kan oftast flera olika modeller tas fram som beskriver samma datamängd. Det är därför viktigt att beskriva en modell som har starkt teoretiskt stöd och där saklogiken håller (t.ex. som att vissa saker händer före andra och att det som händer först påverkar det som händer efteråt och inte tvärtom).

Att beskriva en datamängd och utveckla en modell m.h.a. strukturella ekvationsmodeller är alltså framför allt användbart som en konfirmativ metod, även om metoden kan användas i explorativa syften. Metoden försöker konfirmera forskarens hypotesdrivna antaganden om hur faktorerna relaterar till varandra genom att jämföra forskarens modell med de empiriska data som finns tillgängliga. I explorativa situationer med många variabler och svag eller icke-existerande teori är det därför inte troligt att SEM är den lämpligaste analysmetoden.

Eftersom alternativa modeller ofta kan beskrivas är det också viktigt att läsarna av ett material får tillgång till rådata eller åtminstone en kovarians eller korrelationsmatris (vilket görs i bilaga 1) så att de själva kan formulera alternativa modeller.

Empiriskt grundade modeller och teorier

Genom att använda sig av metoden kan forskare utveckla modeller som är empiriskt validerade. Det är alltså inte rent teoretiska modeller, utan den teoretiska modell forskaren utgår från testas för att se hur väl den håller mot den empiriska datamängden. En statistisk modell kan avslöja hur de latent variablerna påverkar varandra och hur starka effekterna är, d.v.s. hur mycket av variation i en faktor som kan förklaras av en annan och hur bra forskarens mått förklarar variationen i de latent variablerna. Metoden tillåter alltså kvantifiering av styrkan i sambanden mellan de latent faktorerna. Teorin som modellerna ger upphov till kan därigenom utvärderas och eventuellt förkastas i ljuset av empiriska observationer.

En annan mycket viktig fördel med metoden är att den medger att modellutvecklaren kan dra experimentella slutsatser från icke-experimentella situationer där ingen oberoende variabel manipuleras (d.v.s. som i ett klassiskt experiment), vilket ofta är verkligheten när man mäter i en operativ situation (t.ex. datainsamling samtidigt som en flygflottilj genomför sina vanliga träningspass).

5.2 Slutsatser vad gäller modellen

Avsikten med rapporten är att på ett steg för steg sätt visa hur modellering med strukturella ekvationsmodeller går till och vilka överväganden modellutvecklaren måste göra. Ingen omfattande beskrivning av vad modellerna innebär kommer därför att göras. Kortfattat kan dock sägas att faktorinterkorrelationerna är höga i nästan alla kopplingar i den större modellen. Intressant är dock att ingen av de variabler som mättes i studien predicerar den offensiva prestationen, d.v.s. antal träffar och antal lyckade målsökarlåsningar, medan det finns dock starka kopplingar hela vägen från sensorhantering till defensiv prestation. Modellen kan därför användas för att förklara förhållandevis stora delar av den gemensamma variansen i alla de mått som ligger bakom den, borträknat den offensiva prestationen.

En spekulering är att det är mycket av variansen i den offensiva prestationen som beror på hur de två lagens taktikval inför varje pass relaterar till varandra. Om båda lagen till exempel väljer en offensiv taktik blir stridsintensiteten högre och antalet nedskjutningar ökar och detta är inte något som mäts med de mått som användes i studien. I den mindre modellen är faktorinterkorrelationen mellan radartäckning och den offensiva prestationen dock starkare. Det förefaller alltså vara så att faktorer som situationsmedvetande och arbetsbelastning påverkar den egna överlevnaden och förmåga att göra korrekta undanmanövrar medan det är den mer tekniska variabeln radartäckningen som bäst förklarar om robotarna faktiskt träffar.

Referenser

Bollen, K. (1989). Structural equations with latent variables. Wiley: New York.

Castor, M., Hanson, E., Svensson, E., Nählinder, S., LeBlaye, P., MacLeod, I., Wright, N., Alfredson, J., Ågren, L., Berggren, P., Juppet, V., & Ohlsson, K. (2003). GARTEUR Handbook of Mental Workload Measurement. Group of Aeronautical Research and Technology in Europe Technical Paper 145.

Diamantopoulos, A. & Siguaw, J. (2000). Introducing LISREL. Sage Publications: London.

Lysaght R., Hill S., Dick A., Plamondon B., Linton P., Wierwille W., Zaklad A., Bittner Jr A. & Wherry R. (1989). Operator workload: comprehensive review and evaluation of operator workload methodologies. ARL Technical Report No. 851 MDA 903-86-C-0384. U.S. Army Research Institute: Fort Bliss, TX.

MVSOFT (2005). EQS hemsida. <http://www.mvsoft.com>. Besökt 2005-05-10.

SPSS (2005). AMOS hemsida. <http://www.spss.com/amos>. Besökt 2005-05-10.

SSI (2005). LISREL hemsida. <http://www.ssicentral.com/lisrel/index.html>. Besökt 2005-05-10.

Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., Sjöberg, L., & Olsson, S. (1997). Information complexity - mental workload and performance in combat aircraft. *Ergonomics*, 40 (3), p. 362-380.

Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., & Wilson, G. (1999). Models of pilot performance for systems and mission evaluation - psychological and psychophysiological aspects. AFRL-HE-WP-TR-1999-0215. US Airforce Research Labs: Dayton.

Svenson, E. & Wilsson, G. (2002). Psychological and psychophysiological models of pilot performance for systems development and mission evaluation. *International Journal of Aviation Psychology*. Vol 12 (1). p. 95-110.

Wierwille, W., & Casali, J. (1983). Validated rating scale for global mental workload measurement applications. Proceedings of the Human Factors Society 27th Annual Meeting. Human Factors Society: Norfolk.

Wilson, G., m.fl. (2004). Operator Functional State Assessment. NATO-RTO-TR-HFM-104. NATO Research and Technology Organization: Paris.

Berggren, P., Nählinder, S., & Svensson, E. (2004). Reoccurring LISREL patterns describing mental workload, situation awareness, and performance. Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society 48th Annual Meeting. HFES: New Orleans, LA.

Bilaga 1. Dataunderlag

Den oblika faktoranalys som ligger till grund för steg 1 i modelleringsprocessen ser ut på följande sätt. Faktoranalysen är gjord på alla 1232 skattningsformulär från radarstudien.

Pattern Matrix^a

	Factor					
	1	2	3	4	5	6
RDRTACK					,235	
PRESTS1					,664	
PRESTS2					,812	
PRESTS3					,635	
SAMARB1					,364	
INFO2	,814					
INFO3	,947					
INFO4		,944				
INFO5		,863				
MARB1				,768		
MARB2				,897		
MARB3BED				,605		
INFO1				,563		
SA1						,360
SA2						,901
SA3						,725
SA5						,445
MSLPROC			,194			
HITS			,277			
PREST1			,917			
ÖVERLEVN			,560			

Extraction Method: Maximum Likelihood.

Rotation Method: Oblimin with Kaiser Normalization.

a. Rotation converged in 10 iterations.

Korrelationsmatris

Korrelationsmatrisen för de subjektiva frågorna som samlats in under studien. De objektiva variabler som ingår i modellen redovisas inte p.g.a. sekretessskäl.

Correlations

	PREST1	PREST2	PREST3	SAMARB1	INF02	INF03	INF04	INF05	MARB1	MARB2	MARB3	INF01	SAI	S42	S43	S44	S45	S46	S46D7ST
PREST1	1	.807**	.828**	.578**	.370**	.371**	.460**	.486**	-.390**	-.434**	-.506**	-.383**	.590**	.449**	.400**	.400**	.507**	.469**	.000
PREST2		1	.734**	.683**	.348**	.341**	.482**	.513**	-.448**	-.536**	-.530**	-.376**	.618**	.486**	.424**	.427**	.527**	.519**	.000
PREST3			1	.489**	.317**	.305**	.318**	.329**	-.453**	-.467**	-.543**	-.346**	.412**	.489**	.415**	.368**	.446**	.000	.000
SAMARB1				1	.319**	.364**	.365**	.383**	-.318**	-.487**	-.614**	-.300**	.492**	.463**	.382**	.392**	.666**	.000	.000
INF02					1	.905**	.836**	.622**	.001	-.317**	-.468**	-.126	.196**	.066	.060	.106	.266**	.000	.000
INF03						1	.819**	.621**	-.089	-.386**	-.478**	-.208**	.202**	.163	.080	.130	.322**	.000	.000
INF04							1	.883**	-.103	-.322**	-.342**	-.236**	.311**	.306**	.168**	.308**	.236**	.000	.000
INF05								1	.863**	-.440**	-.483**	-.283**	.369**	.311**	.143	.312**	.280**	.000	.000
MARB1									1	.056	.000	.001	.000	.000	.092	.000	.000	.000	.000
MARB2										1	.642**	.630**	.552**	.397**	-.438**	-.388**	-.383**	-.411**	.000
MARB3											1	.547**	.469**	-.408**	-.311**	-.413**	-.694**	.000	.000
INF01												1	.347**	.347**	.480**	.480**	.450**	.460**	.000
SAI													1	.589**	.464**	.644**	.700**	.000	.000
S42														1	.628**	.603**	.603**	.587**	.000
S43															1	.492**	.492**	.492**	.000
S46																1	.462**	.462**	.585**
S46D7ST																	1	.606**	.606**

** . Correlation is significant at the 0.01 level (2-tailed).

* . Correlation is significant at the 0.05 level (2-tailed).

Bilaga 2. Skattningsformulär

FRÅGOR EFTER PASSET, FLYGFÖRARE

'PASSNR'..... DATUM..... KL.....

SIGNATUR

FLSC STATION NR.....

PLATS I FÖRB..... (1 = GRUPP-CHEF)

Frågorna nedan täcker olika aspekter av betydelse för bedömning av arbetsbelastning, operativ prestation, systemfunktion och samverkan. Utifrån dina svar kan vi analysera såväl uppdrags- och systemkrav som förarens möjligheter att möta kraven. Svårighetsgrad och arbetsbelastning varierar givetvis under passet så besvara därför frågorna utifrån den **högsta arbetsbelastningen** du upplevde under passet. Ringa in det alternativ (dvs en siffra) som passar bäst!

1. Hur bra lyckades du med passet?

Inte alls bra 1 2 3 4 5 6 7 Mycket bra

2. I vilken utsträckning kunde du följa gruppens ursprungliga plan (utifrån den ordergivning som gavs vid briefingen)?

Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Hela tiden

3. Hur lång tid tog det för förbandet (inkl FSL) att ”reda upp” situationer där något blivit fel/förvirrat?

Alldeles för länge 1 2 3 4 5 6 7 Mycket kort tid

4. Upplevde du att det gick att utnyttja flygplansradarns fulla kapacitet?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Till fullo
5. I vilken utsträckning gick det att hålla tillräcklig radarkontakt med ”dina” mål?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Till fullo
6. Upplevde du några svårigheter med att använda flygplansradarn?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Stora
7. Var det svårt att hinna med alla åtgärder?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Mycket svårt
8. Upplever du att du hade tillräckligt med tid för att analysera den taktiska situationen?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Definitivt
9. Kunde du ha mental framförhållning till vad du skulle göra?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Definitivt
10. Hur upplevde du informationsbelastningen?
Mycket liten 1 2 3 4 5 6 7 Mycket stor
11. Till vilken grad gick det att överblicka informationen på MI?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Till fullo
12. Till vilken grad gick det att utnyttja informationen på MI effektivt?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Till fullo
13. I vilken utsträckning upplever du att informationen på MI påverkade dina beslut?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Mycket stor påverkan
14. Till vilken grad gick det att överblicka informationen på TI?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Till fullo

15. Till vilken grad gick det att utnyttja informationen på TI effektivt?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Till fullo
16. I hur stor utsträckning hade du koll på läget, med avseende på hela situationen?
Mycket liten 1 2 3 4 5 6 7 Mycket stor
17. Blev du överraskad av de fientliga flygplanens position?
Aldrig 1 2 3 4 5 6 7 Ofta
18. Blev du överraskad av de fientliga flygplanens agerande?
Aldrig 1 2 3 4 5 6 7 Ofta
19. I vilken utsträckning upplevde du att du kunde förutsäga händelseutvecklingen?
Mycket sällan 1 2 3 4 5 6 7 Hela tiden
20. I vilken utsträckning lyckades du hushålla med flygplanets lägesenergi och rörelseenergi?
Inte alls bra 1 2 3 4 5 6 7 Mycket bra
21. I vilken utsträckning lyckades du hålla dig på optimala flyghöjder och genomföra optimala manövrar?
Inte alls bra 1 2 3 4 5 6 7 Mycket bra
22. Hur svårt tycker du att passet var?
Mycket lätt 1 2 3 4 5 6 7 Mycket svårt
23. Hur utmanande var passet?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Mycket
24. Hur farligt upplevde du att hotet var (m.a.p. den totala hotbilden)?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Mycket

25. I vilken utsträckning var din mentala arbetsbelastning ett hinder för dig att prestera optimalt?
Mycket litet 1 2 3 4 5 6 7 Mycket stor
26. Hur stor var den mentala arbetsbelastningen under passet?
Mycket liten 1 2 3 4 5 6 7 Mycket stor
27. I vilken utsträckning var förbandets totala sensortäckning tillräcklig för att möjliggöra ett säkert/effektivt uppträdande?
Inte alls tillräcklig 1 2 3 4 5 6 7 Fullt tillräcklig
28. Hur fungerade samarbetet i förbandet?
Inte alls bra 1 2 3 4 5 6 7 Bästa möjliga
29. I vilken utsträckning upplevde du att du kunde förutse agerandet hos de andra förarna i förbandet?
Inte alls 1 2 3 4 5 6 7 Bästa möjliga
30. Hur stora risker tog du under passet?
Små 1 2 3 4 5 6 7 Stora
31. Hur offensiv var du under passet?
Defensiv 1 2 3 4 5 6 7 Offensiv

Hur stor var din mentala arbetsbelastning?

