

Staffan Magnusson, Peter Berggren, Björn Danielsson, Erland Svensson

# Dynamisk värdering av operatörsfunktion för framtida systemutveckling

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem

Box 1165

581 11 Linköping

FOI-R--0430--SE

December 2001

ISSN 1650-1942

**Metodrapport**

Staffan Magnusson, Peter Berggren, Björn Danielsson, Erland Svensson

# Dynamisk värdering av operatörsfunktion för framtida systemutveckling

<b>Utgivare</b> Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI Ledningssystem Box 1165 581 11 Linköping	<b>Rapportnummer, ISRN</b> FOI-R--0430--SE	<b>Klassificering</b> Metodrapport
	<b>Forskningsområde</b> 8. Människan i totalförsvaret	
	<b>Månad, år</b> December 2001	<b>Projektnummer</b> E5022
	<b>Verksamhetsgren</b> 5. Uppdragsfinansierad verksamhet	
	<b>Delområde</b> 81 MSI med fysiologi	
<b>Författare/redaktör</b> Staffan Magnusson            FOI Peter Berggren                FOI Björn Danielsson            HKV Erland Svensson              FOI	<b>Projektledare</b> Erland Svensson	
	<b>Godkänd av</b> Göran Kindström	
	<b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b> FM HKV	
	<b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b>	
<b>Rapportens titel</b> Dynamisk värdering av operatörsfunktion för framtida systemutveckling		
<b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b> <p>Syftet med den aktuella studien var att: mäta mental arbetsbelastning, situations-medvetande och prestation under ett specifikt attackuppdrag under simulerad och verklig flygning, jämföra simulerad och verklig flygning m a p begreppen, analysera sambanden mellan fysiologiska reaktioner, situationsmedvetande och upplevd mental arbetsbelastning samt utifrån sambanden mellan de tre aspekterna utveckla och pröva kausala modeller av operatörsfunktionen. Studien hade också till syfte att vidareutveckla praktiskt användbara metoder för att analysera mental arbetsbelastning och prestation under operativa förhållanden. Tio flygförare ur F17 har genomfört specifika attackuppgifter upprepat (tre gånger) under båda betingelserna. Av resultaten framgår att de olika psykofysiologiska måtten (puls, pulsvariation, ögonrörelser) visar stor samvarians och att överensstämmelsen mellan simulerad och verklig flygning är mycket stor. Det senare visar att simuleringen inducerar samma reaktioner som den verkliga situationen. Dessutom visar de psykologiska måtten (skattningar av arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation) signifikanta samband med de psykofysiologiska måtten. Detta innebär, i faktoranalytiska termer, att vi kan kombinera dynamiska psykofysiologiska mått och att dessa sedan kan kombineras med operatörsbedömningar. Förhållandet att vi kan kombinera olika typer av mått innebär att det samlade eller sammanvägda måttet har hög reliabilitet och giltighet. Sambanden mellan måtten har varit utgångspunkt för modellanalyser enligt LISREL. Av den slutliga förarfunktionsmodellen framgår att upplevd mental arbetsbelastning påverkar den psykofysiologiska reaktionen i det att pulsen ökar vid ökad mental belastning. Vidare framgår att såväl ökningarna i den upplevda som den psykofysiologiska reaktionen resulterar i en försämrad situationsuppfattning som, i sin tur, påverkar förarens prestation. Modellen stämmer väl överens med de vi tidigare utvecklat ur andra databaser. Resultaten visar att vi nu kan utnyttja metodiken praktiskt vid förband, på FLSC (Flygvapnets Luftstrids Simulerings Centrum) och i DFS (den Dynamiska FlygSimulatorn).</p>		
<b>Nyckelord</b> MSI, systemvärdering, mental arbetsbelastning, situationsmedvetande, operativ prestation		
<b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>	<b>Språk</b> Svenska	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Antal sidor:</b> 30 s.	
<b>Distribution enligt missiv</b>	<b>Pris:</b> Enligt prislista	

<b>Issuing organization</b> FOI – Swedish Defence Research Agency Command and Control Systems P.O. Box 1165 SE-581 11 Linköping	<b>Report number, ISRN</b> FOI-R--0430--SE	<b>Report type</b> Methodology report
	<b>Research area code</b> 8. Human Systems	
	<b>Month year</b> December 2001	<b>Project no.</b> E5022
	<b>Customers code</b> 5. Commissioned Research	
	<b>Sub area code</b> 81 Human Factors and Physiology	
<b>Author/s (editor/s)</b> Staffan Magnusson            FOI Peter Berggren                FOI Björn Danielsson            HQ Erland Svensson              FOI	<b>Project manager</b> Erland Svensson	
	<b>Approved by</b> Göran Kindström	
	<b>Sponsoring agency</b> Swedish Armed Forces HQ	
	<b>Scientifically and technically responsible</b>	
<b>Report title (In translation)</b> Dynamic measurement of the operator for future system development		
<b>Abstract (not more than 200 words)</b> <p>The goal of the present study was to; measure mental workload, situations awareness (SA) and performance during an air to ground mission in simulated and real flight, compare the correlation between physiological reactions, situation awareness and perceived mental workload, and, based on these correlations, develop causal models. A goal of the study was also to further study the usefulness of the measurement methods in applied and realistic setting. Ten Air Force pilots from Wing 17 flew repeated (three times real flight, three times simulated) air to ground missions. The results show that the common variance between the psycho-physiological measures (heart rate, heart rate variability, and eye movement) is high and that the correlation between simulated and real flight is very high. This shows that the simulation induces the same reactions as real flight. Furthermore, the psychological measures (subjective ratings of workload, SA, and performance) show significant correlations with the psycho-physiological measures. Thus, we can combine these dynamic measures with the subjective ratings with high reliability and validity. The correlations between the measures have provided input to LISREL modelling. The modelling shows that the mental workload perceived by the pilots affect the psycho-physiological reaction with resulting heart rate increases during high mental load. Increases in both perceived mental workload and heart rate affect the situation awareness ratings, which in turn affect the operative performance. The developed model supports earlier findings and models. The results also show the measures used are useful and applicable in applied settings such as regular Air Force exercises, training in the Air Combat Simulation Centre (FLSC) and the Dynamic Flight Simulator (DFS).</p>		
<b>Keywords</b> Human factors, system evaluation, mental workload, situation awareness, operative performance		
<b>Further bibliographic information</b>	<b>Language</b> Swedish	
<b>ISSN</b> 1650-1942	<b>Pages</b> 30 p.	
	<b>Price acc. to pricelist</b>	

<b>1. INLEDNING .....</b>	<b>5</b>
1.1 SYFTE .....	6
1.2 TEORI.....	6
1.2.1 <i>Mental arbetsbelastning</i> .....	6
1.2.2 <i>Situationsmedvetande</i> .....	8
1.3 FLYGUPPDRAGET .....	10
<b>2. METOD .....</b>	<b>10</b>
2.1 SIMULATORFLYGNING .....	10
2.2 VERKLIG FLYGNING .....	10
2.3 FÖRSÖKSDELTAGARE.....	11
2.4 MATERIEL, UTRUSTNING.....	11
2.4.1 <i>Enkäter</i> .....	11
2.4.2 <i>Skattningar</i> .....	11
2.4.3 <i>Psykofysiologiska mått</i> .....	11
2.4.4 <i>Simulatorn: SUL</i> .....	11
2.4.5 <i>Verklig flygning: JA37 Viggen</i> .....	12
2.5 PROCEDUR .....	12
2.6 DATAHANTERING.....	12
2.6.1 <i>Standardisering</i> .....	12
2.6.2 <i>Psykofysiologiska data</i> .....	12
2.6.3 <i>LISREL</i> .....	13
<b>2.7 RESULTAT.....</b>	<b>13</b>
2.7.1 PULS .....	13
2.7.2 PULSVARIABILITET .....	15
2.7.3 ÖGONRÖRELSEAKTIVITET .....	17
2.7.4 REGRESSIONSANALYS.....	19
2.7.5 SKATTNINGAR.....	20
2.7.6 LISREL .....	21
<b>3. DISKUSSION.....</b>	<b>21</b>
3.1 FORTSATT FORSKNING .....	22
<b>4. REFERENSER .....</b>	<b>23</b>
<b>BILAGA 1. MENTAL ARBETSBELASTNING (ROSCOE).....</b>	<b>26</b>
<b>BILAGA 2. SITUATIONSMEDVETANDE .....</b>	<b>27</b>
<b>BILAGA 3. PRESTATION.....</b>	<b>28</b>

# 1. Inledning

Moderna flyg- och vapensystem blir alltmer sofistikerade. Detta innebär bl a att förarna/operatörerna får alltmer information att behandla inför beslut och handling. Under svåra uppdrag och under svåra förhållanden nås och passerar idag gränserna för mänsklig informationshantering. Eftersom piloterna möter en mera komplex hot- och stridssituation idag än förr, måste deras informationsbelastning minskas och deras beslutssituation förbättras. Dessvärre ger inte dagens beslutsstöd förarna den hjälp de måste ha för att utfallet skall bli framgångsrikt. För att möjliggöra en optimal inter-aktion mellan förare och system måste beslutsstöd av olika slag utvecklas (Svensson, Angelborg-Thanderz, Sjöberg, & Olsson, 1997; Svensson, Angelborg-Thanderz, & Wilson, 1999; Svensson, 2002). Vid utveckling och utprovning av komplexa människa-maskin-system (som flyg- och vapensystem) krävs värderingsmetodik och man har sedan minst 25 år tillbaka sökt efter metoder för valid och reliabel värdering av operatörsfunktionen. I första hand har man sökt mått på operatörens prestation och mentala arbetsbelastning. Behovet kan exemplifieras av insatser inom amerikansk och engelsk flyg- och rymd-forskning (NASA-Ames Research Center och USAF research Laboratory).

Under årens lopp har även en serie svenska studier kring mental arbetsbelastning och prestation genomförts i FV (c.f., Angelborg-Thanderz, 1982, 1989, 1990; Svensson, Angelborg-Thanderz, Sjöberg, & Gillberg, 1988; Svensson Angelborg-Thanderz, Olsson & Sjöberg, 1992; Svensson, Angelborg-Thanderz, & Sjöberg, 1993; Svensson, & Angelborg-Thanderz, 1995; Svensson, Angelborg-Thanderz, & van Awermaete, 1997a; Svensson et al., 1997, 1999).

Under de senaste 15 åren har begreppet situationsmedvetande blivit aktuellt och utgör tillsammans med mental arbetsbelastning och prestation tre centrala aspekter som man bör beakta i studier av operatörsfunktionen i komplexa system (Endsley, 1995; McMillan, Bushman & Judge, 1996; Svensson, et al., 1999; Berggren, 2000b; Svensson, 2002).

Bristen på standardiserade mätmetoder försvårar korrekta jämförelser mellan olika systemlösningar (t ex olika beslutsstöd), vilket leder till ökad osäkerhet och suboptimering vid val mellan olika alternativ. Jämfört med generella omdömen ger specifika mått på prestation, mental arbetsbelastning och situationsmedvetande bättre förutsättningar för en detaljerad analys av systemegenskaper och svagheter. Måtten är också värdefulla vid analys av specifika uppdrag och vid analys av utbildnings-förlopp. Effektiv träning avspeglas inte bara i förbättrad prestation utan även i minskad mental arbetsbelastning och därmed ökad reservkapacitet (Angelborg-Thanderz, 1990).

Måtten är betydelsefulla inte bara som värderingsinstrument utan även som styrande variabler i adaptiva system. Idag är det operatören som anpassar sig till system- och uppdragskrav. För att man skall nå en optimal interaktion mellan system och operatör, och därmed en förbättrad prestation av människa-maskin-systemet, krävs att framtida system har förmåga att anpassa sig till operatörens aktuella förutsättningar. När operatörens förmåga att t ex hantera information inför beslut och handling sviktar skall systemet ge stöd och/eller ta över delar av operatörsfunktionen. I samverkan med USAF Research Laboratory (Annex 'Pilot performance and mental workload' inom MoA mellan USA och Sverige) genomför vi ett forskningsprogram kring 'adaptive aiding' (Svensson et al., 1999; Magnusson, 2002).

De mätmetoder som man internationellt arbetar med, kan indelas i åtminstone tre kategorier: subjektiv skattning, prestationsbaserade och psykofysiologiska mått. Dessa tre kategorier bygger på olika aspekter av operatörens beteende. En ytterligare grupp innefattar analytiska metoder, som bygger på bl a relationen mellan tillgänglig och erforderlig tid (Svensson, Angelborg-Thanderz, & Sjöberg, 1992). Mätmetoderna, bakomliggande teori och deras egenskaper behandlas vidare under rubriken

1.2 teori nedan.

Den aktuella studien har genomförts som en del i FOI-projektet ”Mental arbetsbelastning och prestation” (E5022). Syftet med projektet är att utveckla och operativt pröva metodik för mätning av mental arbetsbelastning, situationsmedvetande och operativ prestation, att studera relationen mellan begreppen samt att utveckla psykologiska och psykofysiologiska modeller av operatörsfunktionen. Delar av resultat från den aktuella studien har presenterats vid olika konferenser. Bland annat har den psykofysiologiska jämförelsen mellan simulerad och verklig flygning presenterats i Crieff i Skottland (EAAP, 2000) och i Warsawa, Polen (2000), Läkarsammansamlingen (2000), samt NAMA (2001). Sambanden mellan de psykofysiologiska måtten och de subjektiva skattningarna har presenterats på HFA-kontaktkonferens (2001). Dessa data publiceras även i en vetenskaplig artikel (Magnusson, 2002).

## 1.1 Syfte

Syftet med den aktuella studien är att mäta mental arbetsbelastning, situations-medvetande och prestation under ett specifikt attackuppdrag under simulerad och verklig flygning. Studien möjliggör jämförelser mellan simulerad och verklig flygning, samt analys av sambanden mellan fysiologiska reaktioner, situationsmedvetande och upplevd mental arbetsbelastning. Utifrån sambanden mellan de tre aspekterna utvecklar och prövar vi kausala modeller av operatörsfunktionen. Studien har också till syfte att vidareutveckla praktiskt användbara metoder för att analysera mental arbetsbelastning och prestation under operativa förhållanden.

Relationen mellan simulerad och verklig flygning är av central betydelse. Ju större likheter i förarens reaktionsmönster (mental arbetsbelastning, prestation) mellan den simulerade och den verkliga situationen desto större kan vi anta att överföringsfaktorn (träningseffekten) från simulerad till verklig flygning är. Angelborg-Thanderz (1990) fann att en ökning av stridseffekten (viktad relation mellan prestation och belastning) med en standardenhet i simulator gav en ökning på 0.4 standardenheter i den verkliga situationen.

Tillsammans med HKV STRA CONTR utvecklar och validerar vi en forsknings- och träningssimulator för WVR-strid (Danielsson, Svensson & Jenvald, 2002). Utrustningen möjliggör studier av bl a effekter av simulerad träning på den verkliga situationen. Systemet utgör en "snabbtestbed" för presumtiva lösningar eller idéer hos uppdragsgivaren vilka sedan kan vidareutvecklas i mera avancerade plattformar (som FLSC). Utrustningen kommer att utgöra ett viktigt hjälpmedel i arbetet kring Systemlyft JAS. Genom att utveckla modeller av operatörsfunktionen får vi ny och unik kunskap om hur föraren/operatören reagerar psykologiskt och psykofysiologiskt på uppdrags- och systemkrav. Modellerna ger oss kunskap om orsak-verkan-relationer och om olika aspekters relativa inverkan på den operativa prestationen. Kunskap av denna typ är av stor betydelse vid simulering av operatörer och vid utveckling av beslutsstöd. Med hjälp av linjär strukturanalys ad modum LISREL (Jöreskog & Sörbom, 1984, 1993) har vi i upprepade studier funnit att ökade uppdrags- och systemkrav ger en ökad mental arbetsbelastning, att en ökad mental belastning, i sin tur, ger ett försämrat situationsmedvetande som, i sin tur, resulterar i en försämrad prestation (Svensson et al., 1997, 1999). Av modellanalyserna framgår även att psykologiska och psykofysiologiska variabler samgår i en latent variabel eller faktor benämnd mental arbetsbelastning.

## 1.2 Teori

### 1.2.1 Mental arbetsbelastning

Som nämnt ovan kan mental arbetsbelastning studeras ur minst tre olika perspektiv: subjektiva skattningar, prestationsbaserade och psykofysiologiska mätmetoder.

Trots stor ansträngning har det visat sig svårt att finna en ensad definition av begreppet mental arbetsbelastning. Enligt O'Donnell och Eggemeier (1986) ”The term workload refers to that portion of the operator's limited capacity actually required to perform a particular task” (s. 42). Gopher och Donchin (1986) definierar mental arbetsbelastning som ”the difference between the capacities of the information

processing system that are required for task performance to satisfy performance expectations and the capacity available at any given time” (s. 41). Hart och Wickens (1990) definierar mental arbetsbelastning ”as the effort invested by the human operator into task performance (s. 258). Våra egna erfarenheter är att begränsningar av den mentala kapaciteten är central. Att begränsningar av den upplevda mentala kapaciteten visar sig korrelera signifikant med den psykofysiologiska reaktionen är ett belägg för detta (Svensson, 2002). En annan slutsats är att begreppet är mångfacetterat och att det därmed inte går att fånga med ett enkelt mått.

*Skattning* innebär att operatören bedömer sin mentala arbetsbelastning direkt på en specifik skala eller att han bedömer olika aspekter av begreppet. I det senare fallet sammanvägs bedömningarna (ibland med differentierad viktning av aspekterna) till ett samlat index. Mättekniken förutsätter att operatören har förmåga att skatta sin mentala arbetsbelastning eller dess manifestationer.

Jämfört med prestationsbaserade mått är skattningar speciellt känsliga för ökningarna vid lägre belastningsnivåer d v s nivåer som ligger under mental överbelastning. Det hävdas av somliga att subjektiva bedömningar har låg reliabilitet och validitet (Muckler & Seven, 1992) och att det kan vara svårt att dra korrekta slutsatser från måtten. Mentala processer är inte alltid introspektivt tillgängliga, vilket innebär att skattningar av mental arbetsbelastning kan ge underskattningar av den sanna nivån. Likaså kan retrospektiva skattningar påverkas av minnet (Gopher & Donchin, 1986; O'Donnell & Eggemeier, 1986). Studier visar också att den mentala arbetsbelastningen skattas högre då skattningen sker i nära anslutning till den maximala belastningen (Carmody, 1994).

Icke desto mindre visar sig subjektiva skattningar vara mycket användbara i olika sammanhang. Eventuella brister i reliabilitet och validitet skall inte överdrivas. Även om precisionen i en enskild skattning kan vara begränsad så kan bedömningen ändå innehålla så mycket av information att den trots allt är värdefull. Johanssen, Moray, Pew, Rasmussen, Sanders och Wickens (1977) hävdar att “despite all the well-known difficulties of the use of rating scales we feel that these must be regarded as central to any investigation. If the person feels loaded and effortful, he is loaded and effortful whatever the behavioral and performance measures may show.” Vid subjektiva skattningar av stämningslägen som aktivitets- och stressnivå framgår att reliabiliteten varierar mellan .70 och .95 (Sjöberg, Svensson & Persson, 1979). Reliabiliteten hos de psykologiska index vi utnyttjat i studier av flygförare varierar mellan .67 och .90 (Svensson et al., 1997). Reliabiliteten hos olika psykofysiologiska variabler visar sig inte vara högre än de värden som redovisats ovan. I egna studier har vi visat att det finns en signifikant relation mellan subjektiva skattningar och psykofysiologiska reaktioner. I Svensson et al. (1999) fann vi att den psykofysiologiska reaktionen i form av hjärtats slagfrekvens korrelerade .67 med förarnas skattning av deras mentala reservkapacitet. Det innebär att 45 % av variansen i puls förklaras av förarnas bedömning av deras mentala reservkapacitet. I modellanalyserna i samma studie fann vi även att det var förarnas bedömning av kapacitet som påverkade den psykofysiologiska reaktionen. Den subjektiva utsagens konsistens framgår även i Svensson et al. (1997a) och Berggren (2000b).

*Psykofysiologiska mått.* Användning av psykofysiologiska variabler förutsätter att den fysiologiska reaktionen är relaterad till förarens/operatörens sätt att psykologiskt möta uppgiftens krav. Den psykofysiologiska reaktionen kan medieras av emotionell eller psykologisk stress, en ökad psykologisk aktivering, mental beredskap och mental ansträngning (Wierville, 1979). Hjärtats slagfrekvens (puls), pulsens variation, EEG-aktivitet (’event-related potentials’), ögats blinkaktivitet, pupilldilatation och endokrin aktivering utgör exempel på psykofysiologiska tekniker (Wilson & Eggemeier, 1991; Carmody, 1994; Svensson et al., 1997a; Svensson et al., 1988).

Hjärtats slagfrekvens har sedan 20-talet varit den mest använda fysiologiska variabeln för monitorering av flygförare generellt och för dynamisk värdering av mental arbetsbelastning. Interaktionen mellan det sympatiska och parasympatiska nervsystemet påverkar slagfrekvensen. Båda systemen styrs från högre kortikala centra (Caldwell, Wilson, Cetincguc, Gaillard, Gundel, Lagared, Makeig, Myhre & Wright, 1994).



Många studier i såväl reell som simulerad flygmiljö visar att pulsen är ett känsligt mått på mental arbetsbelastning (Eggemeier, Biers, Wickens, Andre, Vreuls, Billman & Schueren, 1990; Wilson & Fullenkamp, 1991). I Svensson et al. (1999) framgår att test-retest reliabiliteten är .82 vilket innebär att 68% av variansen under ett jaktstridsanfall kan förklaras av variansen i det föregående. Angelborg-Thanderz (1990) använde pulsen i kombination med mått på endokrin reaktivitet (adrenalin och noradrenalin) under såväl tillämpade som simulerade förhållanden. Test-retest reliabiliteten för pulsen var .67 i denna studie. Hon fann ett signifikant samband (.81) mellan puls och adrenalinpåslag under verklig flygning. Pulsen har använts (och används) i kombination med subjektiva skattningar av flygindustrin för att mäta mental arbetsbelastning (Roscoe, 1987; Roscoe & Ellis, 1990; Roscoe, 1992).

Jämfört med subjektiv värdering av den mentala belastningen visar sig den psykofysiologiska aktiveringen ibland sämre när det gäller att differentiera mellan olika nivåer av 'task-load' (Eggemeier et al., 1990; Casali & Wierville, 1983). Likheter och skillnader mellan pulsens förändring under simulerade respektive verkliga uppdrag har framkommit i flera studier (Angelborg-Thanderz, 1990; Wilson, Purvis, Skelly, Fullenkamp och Davis, 1987; Wilson, 1991, 1993). I Angelborg-Thanderz (1990) framgår att det finns en samvariation mellan pulsen under simulerad respektive verklig flygning även om förändringarna är mindre uttalade under simulerad flygning.

Till skillnad från många andra mått på mental arbetsbelastning mäts pulsen kontinuerligt och den speglar därmed dynamiken i förändringar av belastning under ett uppdrag. I Svensson et al. (1997) fann vi att pulsen samvarierade signifikant med variationen i informationsbelastning i synnerhet för de förare som presterade bra.

Pulsen är ett mått med hög praktiskt användbarhet. Men det är också ett mått som påverkas av flera andra faktorer. Rörelser, muskelaktivitet (krystningar vid g-belastning) och andningsfrekvens kan försvåra tolkningen av pulsen som ett mått på mental arbetsbelastning under verklig flygning. Utifrån jämförelser mellan hjärtats slag-frekvens under simulerade uppdrag (1 g) och verkliga uppdrag (med varierande g-belastning) utvecklar vi därför metodik med vilken vi kan separera den fysiskt inducerade pulsökningen från den som induceras av system- och uppdragskrav.

*Ögonrörelser.* Förare av moderna flygsystem har att hantera stora mängder syntetisk information kring interna systemfunktioner, vapensystemfunktioner och den yttre stridsmiljön. Synsinnet spelar en dominerande roll och förarens förmåga att övervaka informationsytorna speglas och begränsas av hans ögonrörelser eller visuella sökbeteende. Visuellt sökbeteende och fixeringstider har visat sig relaterade till den mentala arbetsbelastningen (Harris & Christhlf, 1980; May, Kennedy, Williams, Dunlap & Brannan, 1990; Itoh, Hayashi, Tsukui, & Saito, 1990; Kennedy, Braun & Massey, 1995; Svensson et al., 1997a). I Svensson et al. (1997) framkom att fixeringstiderna 'head down' (HD) ökade och fixeringstiderna 'head up' (HU) minskade som funktion av informationsmängden på den taktiska indikatorn. Vidare framkom att frekvensen fixeringstider HD av kritisk längd (> 4 s.) korrelerade signifikant (.51) med förarnas bedömning av den mentala arbetsbelastningen.

Pulsen ger (som de flesta psykofysiologiska mått) en kontinuerlig beskrivning av dynamiken i ett skeende. Vi brukar kalla pulsen för ett genuint dynamiskt mått som inte, i någon större utsträckning, påverkar eller stör föraren/operatören. För att möjliggöra analys av sambanden mellan genuint dynamiska mått och skattningar låter vi operatören göra upprepade eller fasvisa skattningar av förloppen. Dessa serier av skattningar speglar approximativt dynamiken i skeendet och vi kallar dem kvasi-dynamiska. Det är genom denna metodik som vi (t ex i våra modellanalyser) kan kombinera förarens utsagor med hans psykofysiologiska reaktioner.

### **1.2.2 Situationsmedvetande**

Mätning av situationsmedvetande har studerats i mer än 20 år (Endsley 1987, 1988; Fracker 1989). Som begrepp har det haft genomslag i framför allt flygforskningen både militärt och civilt; inte bara när det

gäller förare och piloter utan även hur flygtrafikledning och flygstridsledning fungerar. Idag studeras situationsmedvetande också inom andra domäner: militärt stabsarbete, insatsledning, markstrid och larmtjänst.

Den mest använda definitionen av situationsmedvetande är den som Endsley (1995b) har gjort. Hon delar upp definitionen i tre nivåer:

- 1) Perception av de fysiska elementen i situationen (vem, vad, var, etc.).
- 2) Förståelse, eller tolkning, av objekt och element i situationen.
- 3) Prediktion av framtida händelser, baserad på den nuvarande situationen.

Utifrån detta resonemang om förståelse av viktiga element i situationen, och vilka händelser som kan komma att inträffa använder vi den i flygvapnet populära definitionen ”Koll på läget” i kontakten med förarna. De vet då vad det är som vi är ute efter. Det är dock av vikt att situationen där ”Koll på läget” ska mätas definieras noggrant så att forskaren förstår vad föraren svarar på när han skattar i hur stor utsträckning han har ”Koll på läget”.

Situationsmedvetande kan studeras på flera olika sätt. Endsley (1995a) föreslår en rad olika metoder som kan delas upp i nedanstående kategorier:

- Prestationsmått, globala mått, externa uppgiftsmått och inbäddade uppgifter
- Fysiologiska mått, t ex ögonrörelser
- Enkäter, eftertester och frystekniker
- Subjektiva tekniker, självskattningar eller observatörsskattningar

Situationsmedvetande ses som en viktig länk i naturalistiskt beslutsfattande (Endsley & Garland, 2000). När det gäller beslutsfattande är man också intresserad av situationsmedvetande utifrån ett träningsperspektiv. Författarna har ofta tagit ett globalt prestationsperspektiv på situationsmedvetande och visat på att det är en viktig länk mellan mental arbetsbelastning och prestation (Svensson et al., 1997, 1999, 2002). När det gäller observation av situationsmedvetande har Berggren (2000) visat att instruktörer och piloter skiljer sig åt i sin bedömning av piloternas situationsmedvetande. Med ökad mental arbetsbelastning ökade skillnaderna i skattning av piloternas situationsmedvetande mellan instruktör och pilot.

För att skatta situationsmedvetande, och även prestation, har vi tidigare använt en modifierad variant av Bedford Rating Scale (Roscoe 1987; Roscoe & Ellis, 1990) som utvecklats ur Cooper-Harper Aircraft Handling Characteristic Scale (Cooper & Harper, 1969). Den version som används i den beskrivna

studien utvecklades av FOA<sup>1</sup> för användning i VINTHEC<sup>2</sup> (1997). För mer information om skattningsskalorna, se Metod, skattningar.

### 1.3 Flyguppsdraget

Inom uppslagsanalyslitteraturen talar man om vikten av att använda sig av SME (Subject Matter Expert) för att fånga vad som är viktigt. I samband med framtagandet av det uppslag som användes i studien itererades inte bara själva uppslaget, utan även enkätfrågor för att fånga viktiga aspekter av mental arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation. Samtidigt fastställdes när förarna i studien kunde störas med frågor. Nedan följer en beskrivning av det uppslag som användes.

Uppdraget var ett attackuppslag som går ut på att flyga fram till ett objekt på marken (till exempel en bro, en byggnad eller ett fordon) och bekämpa det. I det här fallet gjordes attacken med en strategi som innebär att flygplanet flygs in mot målet på låg höjd och med hög fart (i syfte att undvika eventuella luftvärn och liknande). På ett visst avstånd från målet drar föraren spaken mot sig för att komma upp på högre höjd. På viss höjd vänder han runt flygplanet så att det pekar med nosen mot målet. Han justerar flygplanet så att vapnen har maximal träffsannolikhet, varpå han avfyrar och tar sig bort från målområdet, återigen på låg höjd och med hög fart. Denna manöver kallas ibland ”pop-up maneuver”. Manövern kräver god precision vad gäller framförandet av flygplanet. I själva avfyrningsögonblicket krävs speciellt mycket fokusering på uppgiften, eftersom vapnet är ”dumt” och går rakt fram dit flygplannosen pekar. Fördelen med att använda ett attackuppslag är att det är välstrukturerat. Alla förare gör på samma sätt vid samma ställe i uppslaget. En jaktuppslag blir aldrig likadan i samma utsträckning. Strukturen inbegriper fyra moment: anflygning, inflygning, attack och utflygning. Anflygningen innebär flygning in till målområdet, låg höjd hög fart för att undvika radar och luftvärn. Inflygning gäller den sista sträckan fram till målet, fortfarande låg höjd och hög fart. Attackmomentet syftar till att föraren tar upp planet för att kunna se målet, styr in mot målet och avfyrar sina vapen. Därefter följer utflygningen som går ut på att föraren tar sig ut ur målområdet, återigen låg höjd och hög fart för att undgå upptäckt. Förarna vid F17 är jaktförare och attackuppslaget har prioritet två. Attackuppslag är dock en del av deras ordinarie utbildning och uppslag.

## 2. Metod

Studien kan delas in i två delar. En första del som är genomförd i simulator, och en andra del genomförd under verklig flygning. Flygning skedde inte över exakta samma terrängparti. Inte heller samma vapen användes, men i övrigt var de båda delarna mycket lika. Båda delarna använder samma typ av scenario, samma taktiska uppträdande samt samma flygplanstyp. De fick likadana enkäter och samma psykofysiologiska mätutrustning användes.

### 2.1 Simulatorflygning

Åtta flygförare genomförde ett simulerat attackuppslag mot en bro i Uknadalen. Uppdraget startade från Malmen i Linköping. Förarna flög exakt samma uppslag tre gånger. Före och efter varje attack gjorde förarna subjektiva bedömningar enligt ovan (totalt tre skattningstillfällen). Deras puls och ögonrörelseaktivitet loggades, och flygningen spelades in på UTB (Utbildningsbandspelare).

### 2.2 Verklig flygning

Tio förare genomförde ett attackuppslag mot ett av de övningsmål som finns i Sverige. Förarna startade från F17, Ronneby, och flög exakt samma attackuppslag minst tre gånger, innan de återvände till F17.

---

<sup>1</sup> Försvarets Forskningsanstalt, numera Totalförsvarets Forskningsinstitut (FOI). <sup>2</sup> Visual Interaction In The Cockpit, ett EU-projekt för att studera ögonrörelser i cockpitmiljön. Projektet var ett treårigt samarbetsprojekt mellan FOA (Sverige), Luleå Tekniska Universitet (Sverige), SAAB-Scania AB (Sverige), NLR (Holland), BAE (UK), DERA(UK) och HA Mooij Holding (Holland).

Före uppdraget och efter landning, gjorde de bedömningar för det första anfallet. Puls och ögonrörelseaktivitet lagrades, och flygningen spelades in på UTB på samma sätt som i simulatoren.

### 2.3 Försöksdeltagare

Samtliga flygförare i studien är män och aktiva flygförare i Flygvapnet, från F17 i Kallinge. I simulatorförsöket ingick åtta jaktförare (medelålder 30,5 år) och en genomsnittlig erfarenhet av verklig flygning på 940 timmar. I simulatoren hade de en genomsnittlig tid på 110 timmar. Deras verksamma tid som förare i Flygvapnet varierade mellan 4 och 20 år.

Den verkliga flygningen inbegrep 6 jaktförare (medelålder 30 år) och en genomsnittlig erfarenhet av verklig flygning med i 940 timmar. Deras verksamma tid som förare i Flygvapnet var 4,5 år.

5 av jaktförarna deltog i båda försöken. Deras medelålder var 27,5 år och de hade i genomsnitt 550 timmars erfarenhet av verklig flygning och i genomsnitt 95 timmars erfarenhet av simulerad flygning.

### 2.4 Materiel, utrustning

Under följande rubrik beskrivs den materiel och utrustning som användes vid studien.

#### 2.4.1 Enkäter

För att beskriva förarnas bakgrundsvariabler (ålder, kön, flygtid, m.m.) användes en enkät. I övrigt fick förarna besvara en enkät före och en efter de flugit uppdraget. Dessa två enkäter gällde frågor om mental arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation, men också sinnesstämning, motivation. Dessa två enkäter (före och efter) kommer inte att behandlas i följande rapport och avhandlas därför inte mer här.

#### 2.4.2 Skattningar

Under simulatorförsöket fick förarna skatta hur de trodde att nästa uppdrag skulle gå med avseende på mental arbetsbelastning, situationsmedvetenhet och prestation. Dessa prediktioner kommer ej att analyseras i denna rapport. De fick också efter varje genomfört uppdrag skatta hur de tyckte att det gick med avseende på dessa faktorer. Dessa efterskattningar ligger till grund för den statistik som används i studien.

##### 2.4.2.1 Mental arbetsbelastning

Skattningarna gjordes på en modifierad version av Cooper-Harper skalan (Cooper & Harper, 1969) (bilaga 1). Skalan har tidigare använts i flera studier (Berggren, 2000a, 2000b; Vinthec, 1997; Svensson et al., 1999; Svensson, 2002).

##### 2.4.2.2 Situationsmedvetande

Skattningar av situationsmedvetande gjordes på en modifierad version av Bedford Rating Scale (Roscoe 1987; Roscoe & Ellis, 1990) (bilaga 2). Även den har använts i tidigare studier (Berggren, 2000a, 2000b; Vinthec, 1997; Svensson et al., 1999; Svensson, 2002).

##### 2.4.2.3 Prestation

Skattning av prestation gjordes på en modifierad version av Bedford Rating Scale (Roscoe 1987; Roscoe & Ellis, 1990) (bilaga 3). I simulatordelen gjordes, förutom den subjektiva självskattningen av prestationen också en instruktörsbedömning av förarens prestation med avseende på vapenverkan.

#### 2.4.3 Psykofysiologiska mått

De psykofysiologiska variablerna registrerades med hjälp av VITAPORT II. Vitaport är en digital registrerutrustning (Vitaport Temec Instruments BV. Gemert, Nederländerna). Utrustningen är liten (40 x 90 x 150 mm), lätt (750 gram inklusive batterier) och bärbar (Fahrenberg & Wientjes, 2000). Vid denna studie användes en konfiguration med 16 kanaler, dvs en extra kassett.

#### 2.4.4 Simulatoren: SUL

Simulatorförsöken genomfördes i F17 egen träningssimulator ("SUL 37") som är en typlik JA37 (Jaktviggen) med högupplöst omvärld. Simulatoren är stationär, det vill säga den har inget rörelsesystem igång. Själva simulatoren är uppbyggd kring en riktig JA37 cockpit som modifieras i takt med flygplanen på flottiljen. Reglage och datorer fungerar således precis som i det "verkliga" systemet. Flygningarna kan också spelas in på UTB-band, precis som under verklig flygning.

I simulatoren användes en digital videobandspelare (SONY DCR-TRV110E) för att spela in flygförarnas huvud- och ögonrörelser. Kameran monterades in i simulatoren för att inte störa och skymma sikt. Data från videobanden har studerats, men inte analyserats och kommer inte att behandlas i den här rapporten.

### 2.4.5 Verklig flygning: JA37 Viggen

Försöken som genomfördes under verklig flygning utfördes i det svenska jaktflyg-planet SAAB JA37 Viggen.

## 2.5 Procedur

Föraren kom till försöksplatsen där han informerades om försökets syfte. Därefter fick han besvara bakgrunds- och föreenkäten. Sen monterades elektroder för puls- och ögonrörelsemätning, vilket följdes av en genomgång av uppdraget. Efter det satte sig föraren i cockpiten. Efter checklistor men före första start fick föraren skatta förväntad mental arbetsbelastning, förväntat situationsmedvetande och förväntad prestation. Efter genomfört uppdrag fick föraren skatta hur han tyckte att det hade gått med avseende på samma faktorer. I simulatören fick han flyga uppdraget ytterliggare två gånger, och på samma sätt som ovan skatta sin mentala arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation. Under verklig flygning gjordes skattningarna för starten respektive efter landning (efter sista attacken). Efter att tre attackuppdrag fick han besvara efterenkäten. Slutligen togs elektroderna bort.

## 2.6 Datahantering

I efterhand noterades tiden (klockslaget) för ingåendet i de olika faserna i attack-uppdraget med hjälp av utbildningsbandspelaren UTB. Denna inspelning gjorde både för den simulerade och för den verkliga flygningen. Dessa tider kunde då kopplas till de psykofysiologiska inspelningarna.

### 2.6.1 Standardisering

För att lättare möjliggöra jämförelser mellan piloterna, standardiserades data. Denna standardisering har till syfte att ge alla piloter samma medelvärde och samma varians.

Till exempel har vissa individer högre vilopuls än andra, och vissa reagerar mer än andra. Alltså är det nödvändigt att standardisera dessa data. Följande formel har använts:

$$x_{ny} = \frac{x - \bar{x}}{s} \sigma + \mu$$

I formeln ersätts  $x$  av  $x_{ny}$ .  $\bar{x}$  är individens medelvärde respektive standardavvikelse och  $\mu$  och  $\sigma$  är gruppens (alla individers) medelvärde respektive standardavvikelse.

Även de subjektiva skattningarna har standardiserats. Vissa individer skattar högre på skalor än andra, trots att upplevelsen var likadan. Vissa individer tenderar att alltid lägga sig nära mitten av skalan, andra lägger sig mer åt extremerna. Denna skillnad försvinner i och med att data standardiseras.

Standardisering tar fram den ”sanna” korrelationen och optimerar estimaten med avseende på inom-individkorrelationer. Transformationen är i princip en vanlig Z-transformering som konverteras till ”normala värden”.

Nackdelen med denna typ av standardisering är att man eliminerar skillnader mellan individer. Man utgår från att alla egentligen reagerade likadant, tyckte lika och presterade lika bra.

I den här studien är avsikten att jämföra olika situationer genom att använda samma personer i alla situationer. Därigenom minskar betydelsen av de negativa effekterna av standardiseringen.

Samtliga data i denna rapport är standardiserade enligt formeln ovan.

### 2.6.2 Psykofysiologiska data

De psykofysiologiska data som används är puls, pulsvariation och ögonrörelse-aktivitet.

För dessa variabler har ett 30-sekunders medelvärde beräknats för varje fem sekunder, ett så kallat ”sliding window”.

#### 2.6.2.1 Puls

Pulsen beräknas utifrån tiden mellan två hjärtslag (ms) dvs mellan två R-spetsar i electrocardiogrammets QRS-komplex. Tiderna omvandlas sedan till slag per minut. För att mäta EKG placerades två elektroder på förarens bröstben. En tredje elektrod placerades mellan dessa för jord.

#### 2.6.2.2 Pulsvariation

Pulsvariation är ett ofta använt mått på mental arbetsbelastning. Pulsvariationen har beräknats enligt följande. Pulsen har analyserats i en FFT (Fast Fourier Trans-form). Därefter beräknas pulsvariationen

som arean under frekvensspektra för pulsen. I den här studien har arean mellan 0,07 och 0,14 Hz används. Andra studier har visat att denna area minskar vid ökad mental arbetsbelastning och tvärtom. Vid beräkning av pulsvariation ("Heart Rate Variability") är det av stor vikt att man hittar samtliga pulsslåg i ett EKG och att man inte 'upptäcker' pulsslåg som inte finns, till exempel beroende på brus (Berntson & Stowell, 1998). Därför har det i den aktuella studien lagts stor möda på att använda reliabla algoritmer för pulsdetektion. Troligen har samtliga pulsslåg identifierats och inget brus felaktigt identifierat som pulsslåg.

#### **2.6.2.3 Ögonrörelseaktivitet**

Ögonrörelseaktiviteten är arean under (det vill säga integralen av) en EOG-kurva (elektrookulogram). Mycket ögonrörelser leder till stora EOG-utslag. Dessa utslag summeras, och då får man ett mått på just ögonrörelseaktivitet. Måttet säger ingenting om var man tittar, eller hur länge man tittar på något speciellt. Det mäter snarare hur mycket man jobbar med musklerna som kontrollerar ögats rörelser. Blinkningar, som också syns tydligt på EOG, kommer också att ingå i aktivitetsmålet. För att mäta EOG placerades två elektroder precis ovanför respektive bredvid höger öga på piloten. Signalen plockar således lättast upp vertikala rörelser. EOG mäter muskelaktiviteten i musklerna som kontrollerar ögats rörelser, men till viss del plockar de även upp aktivitet i andra muskler i närheten, men dess påverkan är tämligen liten.

EOG mättes som AC ("Alternating Current", det vill säga växelström). Det betyder att då ögat stannar i ett visst läge, sjunker EOG-signalen tillbaka till nollnivån. Ett öga som är absolut stilla ger signalstyrka noll i ögonrörelseaktivitet.

#### **2.6.3 LISREL**

Med hjälp av linjär strukturanalys ad modum LISREL (Jöreskog & Sörbom, 1984, 1993) kan orsak-verkan modeller prövas statistiskt. Metoden, som testar giltigheten i kausala strukturmodeller, utgår från sambanden (t ex produktmomentkorrelationer) mellan de manifesta variabler som ingår i modellen. Hur väl den uppsatta modellen beskriver den population, från vilket samplet hämtats, anges med hjälp av olika anpassningsindex. Metoden representerar 'andra generationens statistik' och utgår från regressions- och faktoranalys.

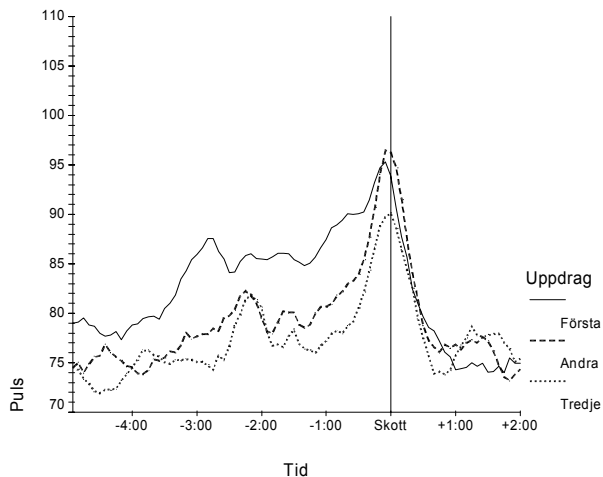
## **2.7 Resultat**

Först redovisas de psykofysiologiska data. I figurerna visas skillnader i psykofysiologisk reaktion mellan de tre upprepade attackerna ("uppdrag") och för skillnader (och likheter) mellan simulerad och verklig flygning. Därefter redovisas de subjektiva skattningarna som förarna gjorde direkt efter varje flyguppdag. Sist visas också en LISREL-modell som integrerar psykologiska och psykofysiologiska data.

Tidsaxeln går från 5 minuter före skott till två minuter efter. Skottet är det ögonblick då föraren avlossar vapnet mot målet.

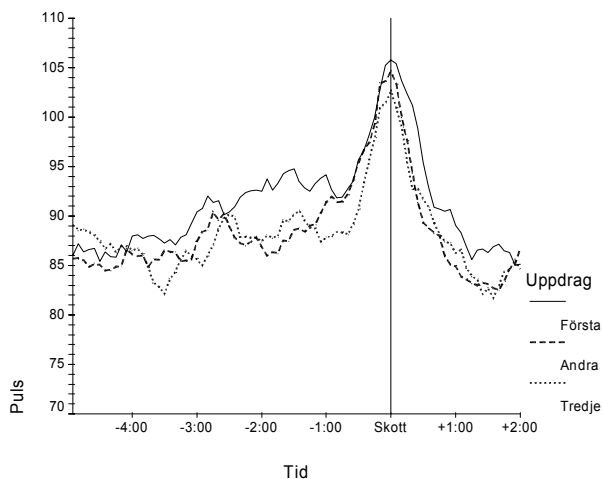
### **2.7.1 Puls**

I figur 1 nedan syns hur pulsen ökar fram till tidpunkten noll för att därefter snabbt återgå mot nivån som rådde flera minuter innan själva attacken.



**Figur 1. Pulsens förändring som funktion av tid för simulerad flygning vid tre konsekutiva tillfällen.**

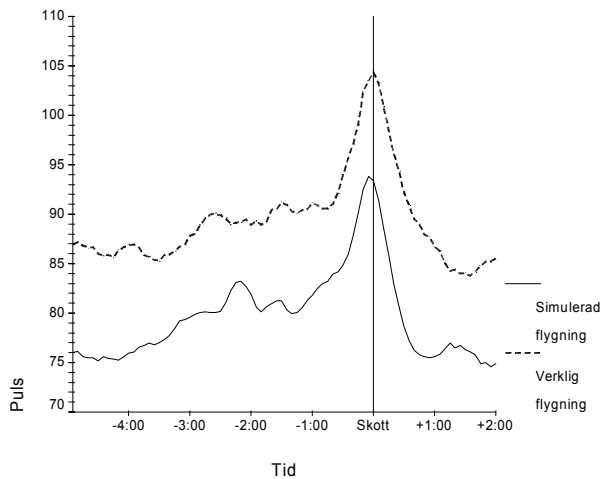
Figur 2 visar hur pulsen förändras under verklig flygning. Lägg märke till likheten mellan de tre tillfällena. Pulsen är något högre under det första uppdraget jämfört med de nästkommande.



**Figur 2. Pulsens förändring som funktion av tid för verklig flygning vid tre konsekutiva tillfällen.**

Det är en signifikant skillnad i puls vid olika tidpunkter  $F(83, 913)=13,8$ ;  $p<,001$ , vid olika uppdrag  $F(2, 22)=11,63$ ;  $p<,001$  och även en signifikant interaktion mellan tidpunkt och uppdrag  $F(166, 1826)=1,34$ ;  $p<,005$ . Detta tyder på att pulsen är olika vid de upprepade uppdragen, det vill säga pulsen är signifikant högre första gången uppdraget flögs (både i simulator och i verklig flygning) än de övriga två flygningarna.

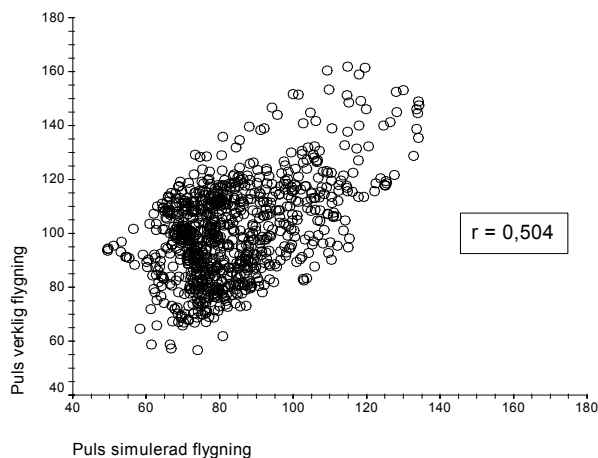
Det finns ingen signifikant interaktion med typ av flygning (simulerad eller verklig), d v s förarna reagerade på samma sätt i verkligheten som i simulatorn, se figur 3.



**Figur 3. Pulsen för simulerad och verklig flygning.**

Det finns en nivåskillnad på ungefär tio slag per minut mellan de båda kurvorna i figur 3. Pulsen är högre under verklig än under simulerad flygning. Pulsen reagerar dock på samma sätt, det vill säga kurvorna är parallella.

Figur 4 nedan visar puls under verklig flygning jämförd med puls under simulerad flygning. Varje cirkel i diagrammet visar puls vid en viss tidpunkt under flygningen. Om puls är hög vid en viss tidpunkt i simulatören framgår att den också var hög vid motsvarande tidpunkt under verklig flygning. Vid låg puls i simulatören var puls också relativt låg under verklig flygning.



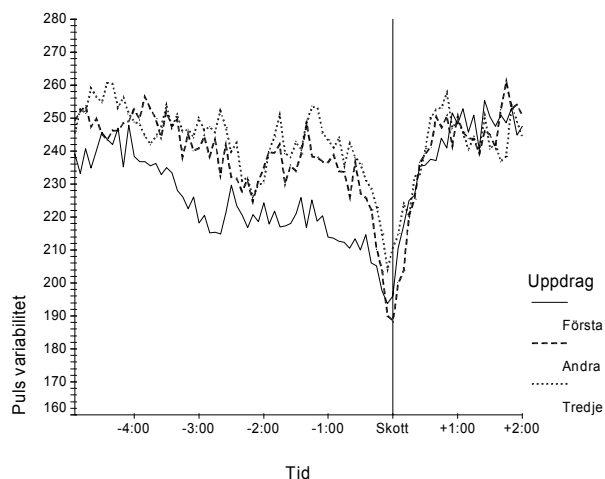
**Figur 4. Puls under verklig flygning s f a puls under simulerad flygning. Korrelationen är signifikant på 0,001-nivån.**

### 2.7.2 Pulsvariabilitet

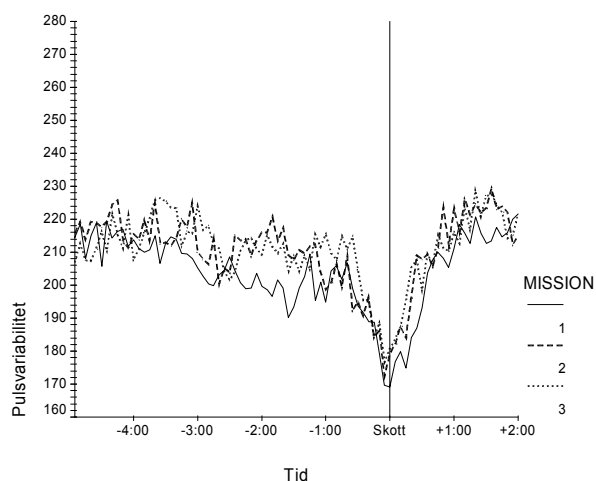
Pulsvariabiliteten sjunker vid ökad mental arbetsbelastning, både i simulatören (se figur 5 respektive figur 6 nedan). Åter kan man se att första uppdraget är mera krävande än de nästkommande, samt att det är en stor likhet mellan simulerad och verklig flygning.



Y-axeln visar mängden variabilitet, enheten är godtycklig.

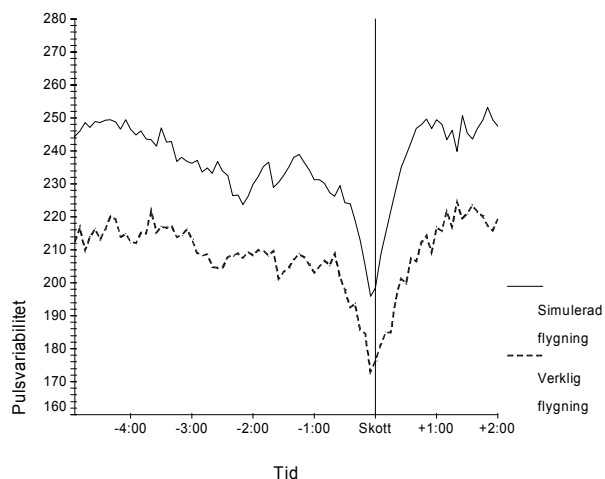


Figur 5. Pulsvariabilitet som funktion av tid för simulerad flygning vid tre konsekutiva tillfällen.

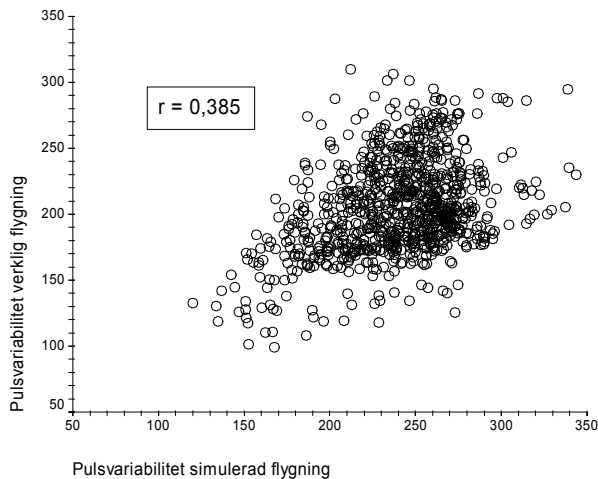


Figur 6. Pulsvariabilitet som funktion av tid för verklig flygning vid tre konsekutiva tillfällen..

Det är också här en signifikant skillnad i pulsvariation vid olika tidpunkter  $F(83, 913)=11,89$ ;  $p<,001$ , vid olika uppdrag  $F(2, 22)=11,99$ ;  $p<,001$ , samt en signifikant interaktion mellan tidpunkt och uppdrag  $F(166, 1826)=1,23$ ;  $p<,05$ . Det finns ingen signifikant interaktion med typ av flygning (simulerad eller verklig), det vill säga förarna reagerade på samma sätt i verkligheten som i simulatorm, se figur 7.



Figur 7. Pulsvariabiliteten för simulerad och verklig flygning.



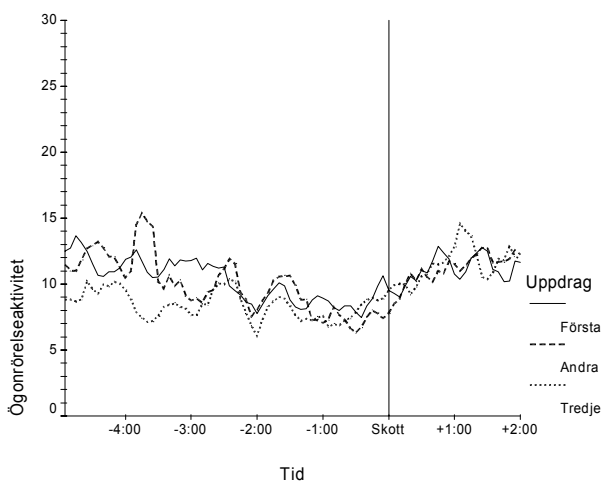
**Figur 8. Pulsvariabiliteten under verklig flygning s f a pulsen under simulerad flygning. Korrelationen är signifikant på 0,001-nivån.**

I figur 8 syns pulsvariabiliteten plottad på motsvarande sätt. Vid hög pulsvariabilitet (låg mental arbetsbelastning) under simulerad flygning, var pulsvariabiliteten antingen hög eller låg under verklig flygning. Vid låg variabilitet (hög mental arbetsbelastning) under simulerad flygning, var pulsvariabiliteten låg under verklig flygning. Om det var ”stressigt” i simulatorn var det definitivt stressigt i verkligheten också! Däremot kunde det vara stressigt i vissa faser av den verkliga flygningen utan att det var det i simulatorn.

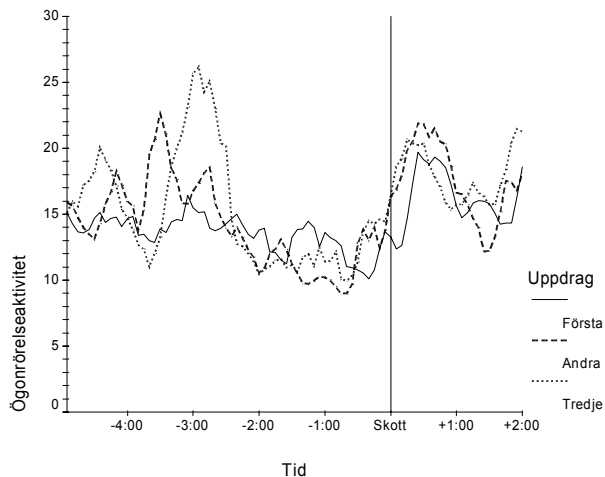
### 2.7.3 Ögonrörelseaktivitet

Ögonrörelseaktiviteten sjunker något strax innan skott, men hinner sedan öka igen något vid tiden för skottet, se figur 9 och figur 10 nedan. Speciellt tydligt är detta för den verkliga flygningen. De båda figurerna är något mindre lika, men samma tendens är dock synlig om än inte lika tydlig som i de föregående figurerna.

Y-axeln visar mängden ögonrörelse, enheten är godtycklig.

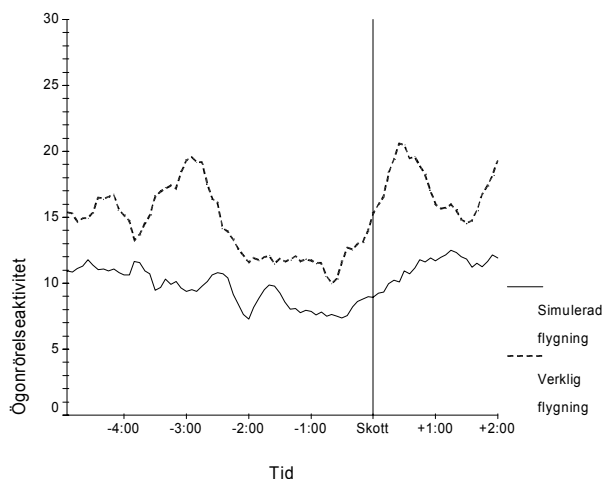


**Figur 9. Ögonrörelseaktivitet som funktion av tid för simulerad flygning vid tre konsekutiva tillfällen.**

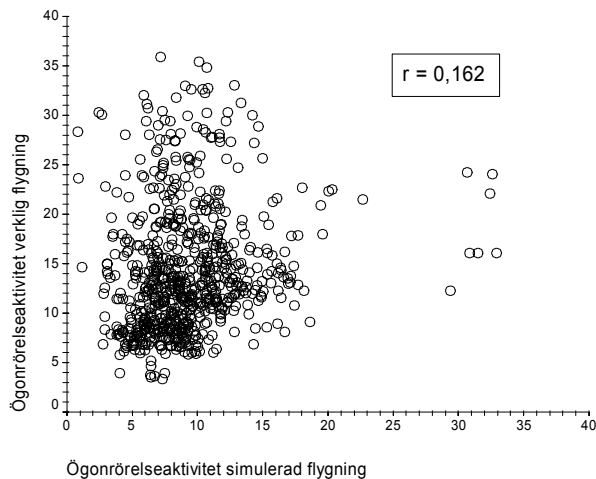


**Figur 10. Ögonrörelseaktivitet som funktion av tid för verklig flygning vid tre konsekutiva tillfällen.**

Här är det en signifikant skillnad i ögonrörelser vid olika tidpunkter  $F(83, 830)=5,31; p<,001$ , samt en interaktion mellan tidpunkt och uppdrag  $F(166, 1660)=1,38; p<,005$ . Det är även en signifikant interaktion mellan tidpunkt och typ av flygning (simulerad eller verklig)  $F(83, 830)=1,76; p<,001$ , samt en trevägsinteraktion mellan tidpunkt, typ och uppdrag  $F(166, 1660)=1,28; p<,05$ , se figur 11. Det vill säga, för (minst) något av uppdragen, vid (minst) någon tidpunkt skiljer sig ögonrörelseaktiviteten mellan simulerad och verklig flygning.



**Figur 11. Ögonrörelseenergi för simulerad och verklig flygning.**



**Figur 12. Ögonrörelseaktiviteten under verklig flygning s f a aktiviteten under simulerad flygning. Korrelationen är signifikant på 0,001-nivån.**

Ögonrörelserna har under den verkliga flygningen större variation än under simulator-flygningen. I simulatorm var ögonrörelserna mindre. Det finns dock ett visst samband, vilket också framgår av figur 12 ovan.

#### 2.7.4 Regressionsanalys

Man kan beskriva de psykofysiologiska reaktionerna som en regressionslinje. Pulsen i verklig flygning skrivs som beroende av pulsen i simulatorflygningen, g-belastningen samt vilken gång i ordningen som uppdraget flögs. Med dummyvariabler blir regressionskoefficienterna enligt tabell 1 nedan. 'Dummy'-variablerna representerar de olika uppdragen (Uppdrag2, Uppdrag3) samt de olika flygfaserna (Fas2, 3 och 4). Uppdrag1 och Fas1 är inbyggda i 'Konstanten', det vill säga Uppdrag2 belyser skillnaden mellan det första uppdraget och uppdrag nummer två. Uppdrag3 belyser skillnaden mellan det första uppdraget och uppdrag nummer tre.

**Tabell 1. Regressionskoefficienter för "Puls verklig flygning".**

	B	Std. Fel	Beta	t	Sign.
(Konstant)	61,781	3,009		20,533	0,000
Puls sim.	0,273	0,034	0,233	7,961	0,000
G-belastning	15,291	1,040	0,426	14,703	0,000
Uppdrag2	-12,243	1,130	-0,328	-10,837	0,000
Uppdrag3	-14,376	1,216	-0,385	-11,821	0,000
Fas2 (Inflygning)	2,487	1,204	0,061	2,066	0,039
Fas3 (Attack)	10,188	1,271	0,251	8,013	0,000
Fas4 (Utflygning)	6,675	1,311	0,164	5,092	0,000

Tabell 1 visar regressionskoefficienterna för en regressionsmodell där pulsen under verklig flygning förklaras med hjälp av motsvarande puls för simulerad flygning, g-belastning, samt med dummyvariablerna för uppdrag (de tre upprepade) och faser (de fyra flygfaserna). Av tabellen framgår att samtliga dessa koefficienter är signifikanta. Till exempel kan man utläsa att pulsen sjunker med 12,24 slag per minut för uppdrag nummer två jämfört med uppdrag nummer 1. I tredje fasen ("attackfasen") är pulsen i genomsnitt 10,2 slag per minut högre än för fas 1 ("anflygning"). Förklaringsgraden för regressionsmodellen är 48% ('R<sup>2</sup> adjusted'), det vill säga nästan hälften av pulsvariationen kan förklaras med variablerna i tabellen.

### 2.7.5 Skattningar

De subjektiva skattningarna korrelerar högt med varandra, se tabell 2 nedan. Dessa data kommer från de simulerade flygningarna. 'Belastn' är förarnas skattning av mental arbetsbelastning, 'SA' är skattningen av situationsmedvetandet, 'Prest.' är skattning av prestationen.

**Tabell 2. Korrelationer mellan skattningar. Samtliga korrelationer är signifikanta ( $p < 0,01$ ).**

	Belastn	SA	Prest.
Belastn	1,0000		
SA	-0,4236	1,0000	
Prest.	-0,5519	0,5168	1,0000

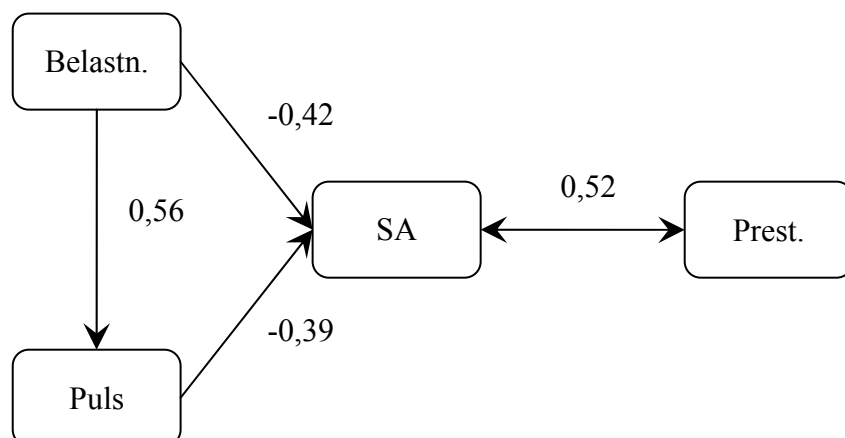
Av tabellen framgår att då den mentala arbetsbelastningen är hög, minskar situations-medvetandet och även den upplevda prestationen. Samma förhållande gäller för verklig flygning, se tabell 3. Här är sambanden något högre.

**Tabell 3. Korrelation mellan skattningarna. Samtliga korrelationer är signifikanta ( $p < 0,01$ ).**

	Belastn	SA	Prest.
Belastn	1,0000		
SA	-0,5737	1,0000	
Prest.	-0,6844	0,6610	1,0000

### 2.7.6 LISREL

Ett bra sätt att beskriva sambanden mellan variabler är att utveckla modeller ad modum LISREL. Nedan i figur 13 följer en statistiskt signifikant LISREL-modell av skattningarna och de psykofysiologiska data som redovisats ovan.



**Figur 13. LISREL-modell för sambandet mellan mental arbetsbelastning ('Belastn. '), Puls, Situationsmedvetande ('SA') och Prestation ('Prest.').**

Modellen är signifikant,  $\chi^2=0,32$ ;  $p=0,57$  (i LISREL ska p-värdet vara större än 0,05 för att modellen ska vara giltig). Modellen säger att den mentala arbetsbelastningen påverkar både pulsen (som ökar) och situationsmedvetandet (som minskar). Pulsen i sin tur påverkar SA (så att det minskar). SA påverkar prestationen positivt, det vill säga om SA ökar, så ökar också prestationen.

## 3. Diskussion

Syftet med den aktuella studien var att mäta arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation under ett specifikt attackuppdrag under både simulerad och verklig flygning.

Ur de psykofysiologiska data går det att dra ett antal viktiga slutsatser:

Förarna psykofysiologiska reaktioner förändras som funktion av de olika faserna i uppdraget (analyserat som olika "tidpunkter" i resultatdelen). Till exempel är pulsen högst under attackfasen (strax före skott). Även pulsvariabiliteten och ögonrörelserna styrs av skillnader i kraven under de olika uppdragsfaserna. De psykofysiologiska måtten förändras också som en följd av de upprepade flygningarna. Det verkar ske en anpassning (en träningseffekt). Detta gäller framför allt puls och pulsvariabilitet. Till exempel minskar pulsen med 12,2 slag per minut mellan det första och det andra uppdraget (både i simulator och i verklig flygning).

Det finns ett högt samband mellan reaktionerna under simulerad och verklig flygning. Detta samband tyder på att förarna reagerar på liknande sätt i båda situationerna och de möter uppdragskraven på samma sätt i simulatorn som i verkligheten. Resultaten ger goda förutsättningar för att överföringsfaktorn ("transfer-of-training") från simulator till verklig situation är stor.

Det finns dock en nivåskillnad mellan reaktionerna i simulatorn och verkligheten. Pulsen är högre i verklig flygning, pulsvariabiliteten är lägre och ögonrörelseaktiviteten högre. Detta kan bero på att förarna är mer "stressade" och mer alerta. Skillnaden i ögonrörelseaktiviteten kan även bero på att omvärlds-presentationen är begränsad i simulatorn och att skillnader i kontraster är mindre.

De subjektiva skattningarna korrelerar högt med varandra. Detta skulle kunna innebära att de till viss del är aspekter av samma psykologiska fenomen.

LISREL-modellen bekräftar tidigare resultat (Svensson et al., 1997, 1999; Svensson, 2002). Den visar att de subjektiva skattningarna som trots att de inbördes korrelerar högt ändå innehåller olika information som representerar olika psykologiska fenomen.

### 3.1 Fortsatt forskning

Områden som vi kommer att studera vidare är 'adaptive aiding', CGF-modellering ('Computer Generated Forces') och nya mätmetoder för att fånga operatörens fysiska och mentala status.

När det gäller adaptiva system går det att se tre huvudgrupper: (1) system som anpassar sig till, och är medvetna om sitt eget tillstånd (t ex bränslemängd, kabintryck, ammunitionsmängd), (2) system som anpassar sig till den yttre situationen (t ex yttre hot, väder, omvärld, länkad information, m m) och (3) system som anpassar sig efter operatörens mentala och fysiska status. I och med att mätmetoder och modeller av mänsklig funktion förbättrats och fortsätter förbättras ligger inte längre adaptiva system alltför långt in i framtiden. Med denna typ av data är det möjligt att ge meningsfull 'feedback' till systemet om operatörens mentala status. Systemen kan också användas för att skapa kraftfulla beslutsstöd – genom att systemet känner till operatörens status vet den också när det är tillfälle att presentera information eller intervensera i operatörens handlingar.

CGF-modellering (Computer Generated Forces), vare sig det gäller att skapa motståndare för träning eller selektion, bygger på modeller av mänskligt beteende. Dessa beteendemodeller går att anpassa efter de modeller som framkommit i denna och liknande studier. Ett nästa steg, efter att CGF-modellerna byggts, är att använda dem som motståndare för träning i t.ex. FLSC-miljön, eller i den forsknings- och träningssimulator för WVR-strid som just nu utvecklas och valideras (Danielsson et al, 2002).

I den aktuella studien har några få psykofysiologiska mått använts. I en snar framtid kommer dessa att kunna kompletteras med fler mått, för att på så sätt fördjupa förståelsen av mental arbetsbelastning, situationsmedvetande och prestation. Till exempel ligger det nära till hands att mäta EEG (electroencephalogram) under både simulerad och verklig flygning, samt förfinade metoder för att studera ögonrörelser och visuellt sökbeteende.

En annan intressant aspekt blir att göra samma mätningar med samma uppdrag som använts i denna studie för att validera DFS<sup>3</sup>. Studiet av likheter och skillnader i psykologiskt och psykofysiologiskt reaktionsmönster mellan simulerad, verklig och DFS-flygning ger oss bl a ny kunskap om överföringsfaktorn mellan de olika träningssystemen.

---

<sup>3</sup> DFS är en Dynamisk FlygSimulator som håller på att färdigställas av FMV på Malmen i Linköping. Det är en centrifug med en inbyggd simulator. Centrifugen har sex frihetsgrader och kan accelerera med upp till 6 G per sekund. Simulatoren sitter i en gondol långt ut på centrifugens arm och har en högupplöst omvärld.

## 4. Referenser

- Angelborg-Thanderz, M. 1982, *Assessing pilot performance and mental workload in training simulators*, The Royal Aeronautical Society, London.
- Angelborg-Thanderz, M. 1989, *Assessing pilot performance in training simulators. A structural analysis*, in 1989 Spring Convention - flight simulation: Assessing the benefits and economics, The Royal Aeronautical Society, London.
- Angelborg-Thanderz, M. 1990, *Military flight training at a reasonable price and risk*, Economics Research Institute, Stockholm School of Economics and FOA report C 50083 - 5.1. (report in Swedish, summary in English).
- Berggren, P. (2000a). *Performance – pre and post mission ratings*. ECCE 10, Conference proceedings.
- Berggren, P. (2000b). *Situational awareness, mental workload and pilot performance – relationships and conceptual aspects*. FOA-R—00-01-438-706—SE.
- Berntson, G. G. and Stowell, J. R. (1998), '*ECG artifacts and heart period variability: Don't miss a beat!*', *Psychophysiology*, vol. 35, pp. 127-132.
- Caldwell, J. A., Wilson, G. F., Cetinguc, M., Gallard, A. W. K., Gundel, A., Lagarde, D., Makeig, S., Myhre, G., and Wright, N. A. 1994, *Psychophysiological assessment methods*, AGARD-AR-324, Neuilly Sur Seine, France: NATO.
- Carmody, M. A. 1994, *Current issues in the measurement of military aircrew performance: A consideration of the relationship between available metrics and operational concerns*, Air Vehicle and Crew Systems Technology Department, Naval Air Warfare Center: Aircraft Division, Warminster, PA.
- Cooper, G. & Harper, R. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities*. NASA, Moffet Field, CA, Report NO. NASA TN-D-5153.
- Danielsson, B., Svensson, E., & Jenvald, J. 2002. *Pedagogical tools for Within Visual Range (WVR) fighter pilot training*. Paper to be presented at the ITEC 2002 Conference, April 9-11, Lille, France.
- Eggemeier, F. T., Biers, D. W., Wickens, C. D., Andre, A. D., Vreuls, D., Billman, E. R., and Schueren, J. 1990, *Performance assessment and workload evaluation systems: Analysis of candidate measures*, Technical Report No. HSD-TR-90-023, Brooks Air Force Base, TX: Armstrong Aerospace Medical research Laboratory.
- Endsley, M. R. 1995, Theoretical underpinnings of situational awareness: A critical review, in D. Garland, and M. R. Endsley (eds) *Experimental Analysis and Measurement of Situational Awareness* (Embry-Riddle Aeronautical University Press, Daytona Beach).
- Fahrenberg, J. and Wientjes, C. J. E. (2000), '*Recording Methods in Applied Environments*', in R. W. Backs, & W. Boucsein (Eds.), *Engineering Psychophysiology* (pp. 111-136). New Jersey: Lawrence Erlbaum Associates, Inc.
- Gopher, D. and Donchin E. 1986, Workload - an examination of the concept, in K.R. Boff, L. Kaufman and J.P. Thomas (eds) *Handbook of perception and human performance*. Vol. II. (John Wiley & Sons, New York),41-1-41-49.
- Harris, R.L., Sr., and Christhlf, D. M. 1980, *What do pilots see in displays?*, in Proceedings of the Human Factors Society meeting, Santa Monica, CA: Human Factors Society.

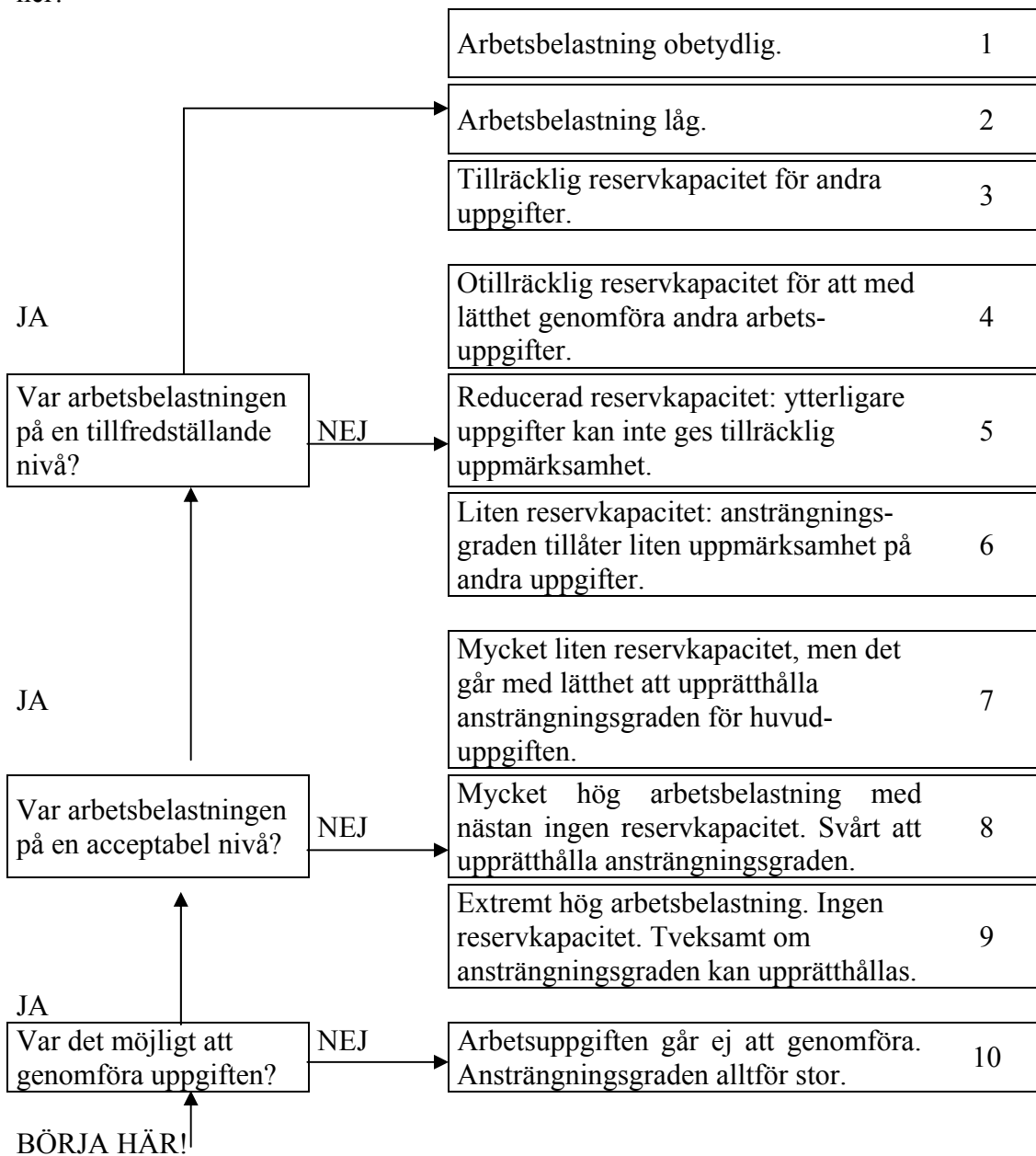


- Hart, S.G. and Wickens, C.D. 1990, Workload assessment and prediction, in H.R. Booher (ed) MANPRINT. *An approach to systems integration* (van Nostrand Reinhold, New York), 257-296.
- Itoh, Y., Hayashi, Y., Tsukui, I., and Saito, S. 1990, The ergonomic evaluation of eye movements and mental workload in aircraft pilots, *Ergonomics*, 33, 719-733.
- Johannsen, G., Moray, N., Pew, R., Rasmussen, J., Sanders, A., and Wickens, C. 1977, Final report of experimental psychology group, in N. Moray (ed) *Mental workload: Its theory and measurement* (Plenum press, New York).
- Jöreskog K.G., & Sörbom, D. 1984, *LISREL VI. Analysis of linear structural relationships by maximum likelihood, instrumental variables, and least squares methods*, Department of Statistics, University of Uppsala, Sweden.
- Jöreskog, K.G., & Sörbom, D. 1993. LISREL 8: *Structural Equation Modelling with the SIMPLIS Command Language*, Lawrence Erlbaum associates, Inc. Broadway.
- Kennedy, R. S., Braun, C. C., and Massey, C. J. 1995, *Performance, workload, and eye movement activity*, Report No. SAE Paper 951570, SAE, 25th International Conference on Environmental Systems, San Diego, CA.
- Magnusson, S. 2002. On the Similarities and Differences in Psychophysiological Reactions Between Simulated and Real Air-To-Ground Missions. *International Journal of Aviation Psychology* (in press).
- May, J. G., Kennedy, R. S., Williams, M. C., Dunlap, W. P., and Brannan, J. R. 1990, Eye movements indices of mental workload, *Acta Psychologica*, 75, 75-89.
- McMillan, G. R., Bushman, J. and C. L. A. Judge. 1996, *Keynote Adress: - Evaluating Pilot Situational Awareness in an Operational Environment*, in AGARD Conference Proceedings 575, Situational Awareness: Limitations and Enhancement in the Aviation Environment, Brussels.
- O'Donnell, R.D. and Eggemeier, F.T. 1986, Workload assessment methodology, in K.R. Boff, L. Kaufman and J.P. Thomas (eds) *Handbook of perception and human performance*. Vol. II (John Wiley & Sons, New York), 42-1 - 42-49.
- Roscoe, A. H. 1987, In-flight assessment of workload using pilot ratings and heart rate, in A.H. Roscoe (ed) *The practical assessment of pilot workload*, AGARDograph No, 282.
- Roscoe, A. H. 1992, Assessing pilot workload. Why measure heart rate, HRV and respiration?, *Biological Psychology*, 34, 259-287.
- Roscoe, A. H., and Ellis, G. A. 1990, *A subjective rating scale for assessing pilot workload in flight: A decade of practical use*, Royal Aerospace Establishment, Technical Report 90019.
- Sjöberg, L., Svensson, E., & Persson, L-O. 1979. The measurement of mood. *Scandinavian Journal of Psychology*, 20, 1-18.
- Svensson, E. 2002. Models of pilot performance for systems and mission evaluation - psychological and psycho-physiological aspect. *International Journal of Aviation Psychology* (in press)
- Svensson, E., and Angelborg-Thanderz, M. 1995, Mental workload and performance in combat aircraft: systems evaluation, In Fuller, R., Johnston, N., and McDonald, N. (Eds), *Human Factors in Aviation Operations* (Aldershot, Hants, England: Avebury aviation).

- Svensson, E., Angelborg-Thanderz M., Sjöberg, L., and Gillberg, M. 1988, Military flight experience and sympatho-adrenal activity, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 59, 411-416.
- Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., and Sjöberg, L. 1993, Mission challenge, mental workload and performance in military aviation, *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 64, 985-991.
- Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., and van Awermaete, J. 1997a, *Dynamic measures of pilot mental workload, pilot performance, and situational awareness*. Technical Report: VINTHEC-WP3-TR01. NLR, Amsterdam.
- Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., Sjöberg, L., 1992, *Mental arbetsbelastning – mätning under militär flygning*. FOA HPTK rapport C 50092-8.3.
- Svensson, E., Angelborg-Thanderz, M., Sjöberg, L., and Olsson, S. 1997, Information complexity - mental workload and performance in combat aircraft, *Ergonomics*, 40, 362-380.
- Wilson, G. F. 1991, *Progress in the psychophysiological assessment of workload*, Technical Report No. AL-TR-1992-0007, Wright-Patterson Air Force Base, OH: Armstrong Laboratory.
- Wilson, G. F., 1992, (ed), Cardiorespiratory measures and their role in studies of performance; Special Issue, *Biological Psychology*, 34, 91-290.
- Wilson, G. F., 1993, Air-to ground training missions: a psychophysiological workload analysis, *Ergonomics*, 36: 1071-1087.
- Wilson, G. F., O'Donnel, R. D., and Wilson, L., 1983, *Neurophysiological measures of A-10 workload during simulated low altitude missions*, AFAMLR Technical Report No. 83-0003. Wright-Patterson AFB: Air Force Aerospace Medical Research Laboratory.
- Wilson, G. F., Purvis, B., Skelly, J., Fullenkamp, P., and Davis, I. 1987, *Physiological data used to measure pilot workload an actual flight and simulator conditions*, in Proceedings of the Human Factors Society - 31st Annual Meeting.

# Bilaga 1. Mental arbetsbelastning (ROSCOE)

Nedan presenteras en metod för att skatta den mentala arbetsbelastningen. Den har formen av ett beslutsträd och är en variant av Cooper-Harper (Aircraft Handling Characteristic Scale). Du börjar längst ner!





## Bilaga 3. Prestation

Bedömning av prestationen enligt en modifierad Cooper-Harper skala. Du börjar längst ner.

