

Martin Castor, Staffan Magnusson

# Felhantering med operatörsanpassat funktionsövervakningssystem

TOTALFÖRSVARETS FORSKNING SINSTITUT

Ledningssystem  
Box 1165  
581 11 Linköping

FOI-R--0503--SE

Maj 2002

ISSN 1650-1942

**Metodrapport**

Martin Castor, Staffan Magnusson

# Felhantering med operatörsanpassat funktionsövervakningssystem

|  |   |                                       |
|--|---|---------------------------------------|
| <b>Utgivare</b><br>Totalförsvarets Forskningsinstitut - FOI<br>Avdelningen Ledningssystem<br>Institutionen Människa System Interaktion<br>Box 1165<br>581 11 Linköping   | <b>Rapportnummer, ISRN</b><br>FOI-R--0503--SE                       | <b>Klassificering</b><br>Metodrapport |
|  | <b>Forskningsområde</b><br>8. Människan i totalförsvaret            |                                       |
|  | <b>Månad, år</b><br>Maj 2002  | <b>Projektnummer</b><br>E7805         |
|  | <b>Verksamhetsgren</b><br>5. Uppdragsfinansierad verksamhet         |                                       |
|  | <b>Delområde</b><br>81 MSI med fysiologi                            |                                       |
| <b>Författare/redaktör</b><br>Martin Castor<br>Staffan Magnusson   | <b>Projektledare</b><br>Martin Castor                               |                                       |
|  | <b>Godkänd av</b><br>Erland Svensson                                |                                       |
|  | <b>Uppdragsgivare/kundbeteckning</b><br>FMV                         |                                       |
|  | <b>Tekniskt och/eller vetenskapligt ansvarig</b><br>Erland Svensson |                                       |
| <b>Rapportens titel</b><br>Felhantering med operatörsanpassat funktionsövervakningssystem  |   |                                       |
| <b>Sammanfattning (högst 200 ord)</b><br><p>I rapporten beskrivs en experimentell studie av operatörers hantering av felsituationer med stöd av två funktionsövervakningssystem, som genomförts i SAAB Avionics simulator T3Sim. De system som studerats är dagens FÖ-system i flygplan JAS 39 jämfört med ett alternativt förslag, men slutsatserna kring hur ett funktionsövervakningssystem skall förmedla varningar är generella för alla plattformar.</p> <p>Felhanteringen med hjälp av det alternativa funktionsövervakningssystemet var 20-95 % snabbare än felhanteringen med dagens system. Detta innebar i medeltal ca 20 sekunders kortare tid för felhantering, med störst effekt vid komplexa felbilder.</p> <p>I rapporten skissas också hur bl.a. funktionsövervakningssystem skulle kunna göras adaptiva gentemot både situationen och operatörers psykofysiologiska status för att ge operatörerna "smarta system" som anpassar sig efter operatörernas behov.</p> |   |                                       |
| <b>Nyckelord</b><br>MSI, funktionsövervakningssystem, adaptivitet, automation  |   |                                       |
| <b>Övriga bibliografiska uppgifter</b>   | <b>Språk</b> Svenska  |                                       |
| ISSN 1650-1942   | <b>Antal sidor:</b> 28 s.   |                                       |
| <b>Distribution enligt missiv</b>  | <b>Pris:</b> Enligt prislista                                       |                                       |

|   |  |  |
|---|--|--|
| <b>Issuing organization</b><br>FOI – Swedish Defence Research Agency<br>Division of Command and Control Systems<br>Department of Man System Interaction<br>P.O. Box 1165<br>SE-581 11 Linköping   | <b>Report number, ISRN</b><br>FOI-R--0503--SE                        | <b>Report type</b><br>Methodology report |
|   | <b>Research area code</b><br>8. Human Systems                        |  |
|   | <b>Month year</b><br>May 2002  | <b>Project no.</b><br>E7805              |
|   | <b>Customers code</b><br>5. Commissioned Research                    |  |
|   | <b>Sub area code</b><br>81 Human Factors and Physiology              |  |
| <b>Author/s (editor/s)</b><br>Martin Castor<br>Staffan Magnusson  | <b>Project manager</b><br>Martin Castor                              |  |
|   | <b>Approved by</b><br>Erland Svensson                                |  |
|   | <b>Sponsoring agency</b><br>FMV                                      |  |
|   | <b>Scientifically and technically responsible</b><br>Erland Svensson |  |
| <b>Report title (In translation)</b><br>Fault management with an operator-friendly fault identification system  |  |  |
| <b>Abstract (not more than 200 words)</b><br><p>In the report an experimental study of operators fault management with the help of two fault identification systems is described. The study was conducted in SAAB Avionics flight simulator T3Sim. The two systems studied were the current fault identification system in the JAS 3p Gripen aircraft and one alternative system. The study was conducted in an aviation setting, but the conclusions and design suggestions are valid for fault identification systems in all types of platforms.</p> <p>Fault management with help of the alternative system was 20 – 95 % faster than fault management with the current system. In average this resulted in approx. 20 seconds shorter time for fault management, with most evident effects in complex fault situations.</p> <p>In the report a future adaptive fault identification system is sketched. This system would be adaptive with regard to both the psycho-physiological status of the operator and the situation, thus giving the operators a “smart system” which adapt to their needs.</p> |  |  |
| <b>Keywords</b><br>Human factors, fault identification, adaptive interfaces, automation   |  |  |
| <b>Further bibliographic information</b>  | <b>Language</b> Swedish  |  |
| <b>ISSN</b> 1650-1942   | <b>Pages</b> 28 p.   |  |
| <b>Price acc. to pricelist</b>  |  |  |

## Innehållsförteckning

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. BAKGRUND OCH SYFTE</b> .....                    | <b>6</b>  |
| 1.1 SYFTE MED FÖRSÖKET.....                           | 7         |
| <b>2. METOD</b> .....                                 | <b>8</b>  |
| 2.1 PROCEDUR.....                                     | 8         |
| 2.2 SIMULATOR.....                                    | 8         |
| 2.3 FUNKTIONSÖVERVAKNINGSSYSTEM.....                  | 8         |
| 2.4 UPPGIFTSANALYS.....                               | 11        |
| 2.5 SCENARIO.....                                     | 12        |
| 2.6 DATAINSAMLING.....                                | 13        |
| 2.7 FÖRSÖKSPERSONER.....                              | 14        |
| 2.8 ANVÄNDA FEL.....                                  | 15        |
| <b>3. RESULTAT</b> .....                              | <b>16</b> |
| 3.1 TIDER FÖR FELHANTERING.....                       | 16        |
| 3.2 SUBJEKTIVA SKATTNINGAR.....                       | 18        |
| 3.3 PSYKOFYSIOLOGISKA DATA.....                       | 19        |
| <b>4. AUTOMATION</b> .....                            | <b>21</b> |
| <b>5. DISKUSSION</b> .....                            | <b>23</b> |
| 5.1 FORTSATT VERKSAMHET.....                          | 23        |
| <b>6. REFERENSER</b> .....                            | <b>24</b> |
| <b>APPENDIX 1. ENKÄTFRÅGOR EFTER VARJE LÖPA</b> ..... | <b>25</b> |
| <b>APPENDIX 2. RÅDATA OCH FELSITUATIONER</b> .....    | <b>29</b> |

## Förkortningar

|           |   |
|-----------|---|
| ANN       | Artificiella neurala nät                      |
| ARAK      | Attackraketer                                 |
| FFA       | Flygtekniska Försöksanstalten, nu del av FOI  |
| FLSC      | Flygvapnets Luftsstrids Simulerings Center    |
| FOSIM     | Forskningssimulatorn på det tidigare FFA      |
| FÖ-system | Funktionsövervakningssystem                   |
| LV        | Luftvärn                                      |
| MI        | Multisensor Indikator alt. Mål Indikator      |
| NÖD-SFI   | Särskild-Förar-Instruktion för nödsituationer |
| TI        | Taktisk Indikator                             |
| VAT       | Varningstablå                                 |
| VINTEC    | Visual interaction in the cockpit             |

## Figurer

|   |    |
|---|----|
| <a href="#"><u>Figur 1. Dagens varningstablå (VAT) i kabinmiljön i T3Sim.</u></a>                                       | 9  |
| <a href="#"><u>Figur 2. Alternativ varningstablå i kabinmiljön i T3Sim.</u></a>   | 10 |
| <a href="#"><u>Figur 3. Uppgiftsanalys av felhantering med dagens FÖ-system.</u></a>                                    | 11 |
| <a href="#"><u>Figur 4. Uppgiftsanalys av felhantering med det alternativa FÖ-systemet.</u></a>                         | 12 |
| <a href="#"><u>Figur 5. JAZZ utrustningen för registrering av ögonaktivitet.</u></a>                                    | 14 |
| <a href="#"><u>Figur 6. Antalet saccader med dagens resp. alternativt FÖ-system.</u></a>                                | 19 |
| <a href="#"><u>Figur 7. Ögonaktivitet under ett anfall.</u></a>   | 20 |
| <a href="#"><u>Figur 8. En schematisk bild av ett artificiellt neuralt nät kopplat till operatör och plattform.</u></a> | 22 |

## Tabeller

|  |    |
|--|----|
| <a href="#"><u>Tabell 1a-c. Skillnader i tider för felhantering.</u></a> | 16 |
| <a href="#"><u>Tabell 2a-c. Enkät svar efter löporna.</u></a>            | 18 |

# 1. Bakgrund och syfte

Verksamheten inom projektet Automation – Operatörsanpassat varningssystem som har bedrivits intermittent sedan 1998 har haft två inriktningar. Dels att studera om och hur funktionsövervakningssystem på något sätt kan automatiseras eller göras adaptivt och dels att komma med förslag på hur ett funktionsövervakningssystem på bästa sätt skall förmedla varningar och information om störningar i systemet på bästa sätt.

Den konkreta situation och det system som har studerats är felhantering med funktionsövervakningssystemet i flygplan JAS 39. Detta har gjorts på anmodan av beställaren för att få en konkret försökssituation. De slutsatser som går att dra är dock generella och tillämpbara på alla komplexa system och plattformar där systemets tillstånd skall övervakas av ett funktionsövervakningssystem. Funktionsövervakningssystemet i dagens JAS var ett system som vid projektets början lämnade mycket i övrigt att önska (Müchler, 1999) vad gäller människa-maskin gränssnittet och det var därför ett lämpligt system att använda som exempel. Systemet har nu utvecklats vidare, men det är fortfarande det studerade funktionsövervakningssystemet som sitter i delserie 1 och 2 av flygplan 39. Den bild som skissas i Müchlers rapport beskriver ett system där flygförarna ofta har svårt att förstå den totala felbilden i komplexa felsituationer och de efterlyser ett nytt ”smart system” som anpassar sig efter situationen.

Det långsiktiga arbetet med automation och adaptivitet har därför haft ”det ideala varningssystemet” som vision. Delar av de designförslag som framförs i rapporten är därför inte direkt tillämpbara i JAS 39, bland annat på grund av kostnadsskäl samt det faktum att ett adaptivt system skulle kräva avsevärt mer forskning innan lämpligheten kan bedömas.

Under 2001-2002 har ett mindre experiment genomförts i SAAB Avionics simulator T3Sim och detta försök beskrivs i rapporten. För att kunna genomföra försöket har verksamheten i projektet inneburit att simuleringsmiljön utvecklats och en försöksmetodik testats.

Varnar och varningssystem samt funktionsövervakningssystem fyller en mycket viktig funktion i de flesta plattformar. I denna rapport används begreppet varningssystem synonymt med funktionsövervakningssystem, d.v.s. system som skall informera en operatör när det uppstår interna tekniska fel på en plattform som t.ex. ett flygplan. Detta skall skiljas från varnarsystem, vars uppgift är att varna en operatör för händelser i omvärlden, t. ex. robotskottsvarnare eller markkollisionsvarnare. En varnings betydelse och konsekvenser måste dock i alla system på ett snabbt och tydligt sätt förmedlas till operatören. Försöket har genomförts i flygdomänen men de designförslag som förs fram i rapporten är generella. Ett exempel där liknande idéer kan användas kan vara funktionsövervakningssystem i andra plattformar som t.ex. en UAV eller stridsvagn 122 (d.v.s. plattformar med avancerade funktionsövervakningssystem).

## 1.1 Syfte med försöket

Det försök som genomfördes var avsett att belysa ett antal frågor.

1. Hur hanterar en flygförare en felsituation med dagens FÖ-system? I försöket samlades experimentella data på hur flygförare hanterar de uppkomna felsituationerna in. Detta ger en "baseline" på hur snabbt en förare kan hantera en felsituation och är nödvändigt för att kunna jämföra eventuella framtida förbättringsförslag gentemot dagens system.

2. Hur mycket av felhanteringen ligger i människa-maskin gränssnittet och hur mycket ligger i förarens kognitiva processer? Genom att göra jämförelser av tiden för felhantering med dagens system och ett hypotetiskt alternativt förslag, kan man få visst stöd för att uttala sig om hur mycket av felhanteringen som beror på beslutsfattandet hos operatören och hur mycket som beror av gränssnittet.

3. Hur skall varningar förmedlas på bästa sätt? I det alternativa funktionsövervakningssystemet som utvecklades i SAAB Avionics simulator fanns ett par av de designförslag (t.ex. felidentifiering med röst, informativ huvudvarning, felstrukturpresentation och alternativ VAT) som föreslogs i Castor, Nilsson och Ericson (1999). Inverkan av dessa gränssnittsförändringar kunde studeras i försöket. Flygförarna kom också med värdefulla åsikter om hur de ville ha det och hur gränssnittet kunde utvecklas.

4. Hur skall man genomföra försök som studerar funktionsövervakningssystem och adaptiva system? Försöket var avsett att ligga till grund för fortsatta studier om hur experimentdesign och prestationsmått skall se ut i studier av varningssystem. I det genomförda försöket användes t.ex. responstider som mått på prestation och det är inte säkert att det är giltigt mått på systemets lämplighet. Vid ett fel i ett flygplan är en av de viktigaste aspekterna för lyckad hantering av felet att flygföraren fortsätter flyga flygplanet och inte "dyker ner" i FÖ-systemet för att förstå vad som hänt. Det är ett mycket begränsat antal fel som innebär att föraren omedelbart måste sätta sig in i felet omedelbart. Ett FÖ-system bör alltså hjälpa föraren att snabbt kunna avgöra om han omedelbart måste förstå felet eller om han kan vänta ett antal sekunder och detta har eftersträvats i det alternativa funktionsövervakningssystem som studerats i experimentet.



## 2. Metod

Följande försöksmiljö och experimentella design användes under försöket.

### 2.1 Procedur

Efter en introduktion av upplägget för dagen informerades flygföraren om att detta var ett försök där utformning av funktionsövervakningssystem skulle studeras. Försökspersonerna fick därefter flyga simulatören tills de kände sig hemma i knapphantering o.s.v. Flygförarna fick också öva sig på felhantering med dagens system och att ta fram felinformationen på TI.

Därefter flögs ett antal löpor med dagens funktionsövervakningssystem och ett antal felsituationer uppstod. Vid varje fel som uppstod fanns två tillfällen när föraren skulle rapportera till en simulerad rotekamrat. Så fort föraren visste vad det var för fel som uppstod (d.v.s. felidentifikation) rapporterade han detta. När han sedan dessutom förstått vad felet fick för konsekvenser för uppdraget så rapporterade han sitt beslut till sin rotekamrat. Vid de löpor där fler än ett fel indikerades upprepades detta varje gång huvudvarning indikerade ett nytt fel. Försöksledarna noterade tiden för förarens respons vid dessa två tillfällen. Efter varje löpa besvarade föraren en enkät med 12 frågor om den nyss flugna löpan.

När ett antal löpor flugits fick föraren en introduktion till det alternativa funktionsövervakningssystemet och träning med detta system. Han flög därefter de sista löporna med det alternativa systemet. Förfarandet för datainsamling var detsamma som för tidigare löpor.

Båda försökspersonerna fick börja med att flyga med dagens system. Detta då behovet att få data för att kunna fastställa en valid "baseline" (som utgångspunkt för jämförelser inför kommande förbättringsförslag) ansågs vara viktigare än att körningarna var balanserade m.a.p. inlärningseffekter (d.v.s. att hälften av förarna skulle ha börjat med det alternativa systemet).

### 2.2 Simulator

Den simulator som användes i försöket var SAAB Avionics simulator T3Sim. T3Sim har en JAS liknande kabin och har ett synfält på  $160^\circ * 40^\circ$ . "Head-down" instrumentering visas på en "touchscreen" vilken visas i figur 1.

Förarstationen motsvarar alltså de stationer som finns i FLSC, men flygföraren har ett större horisontellt synfält. Den simulator som användes i förförsöket var FFA:s simulator FOSIM och beskrivs närmare i Castor och Nilsson (2000).

### 2.3 Funktionsövervakningssystem

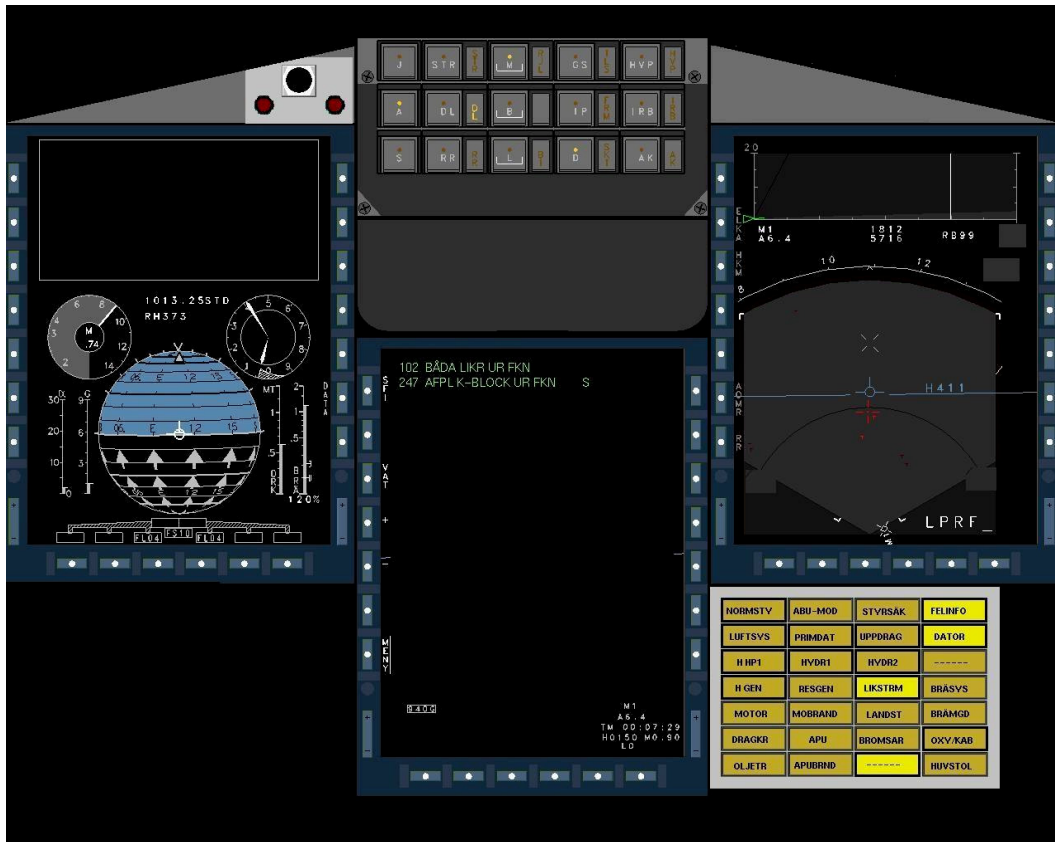
De två utformningar av funktionsövervakningssystemet som studerades var dels en replika av det funktionsövervakningssystem som idag används i flygplan JAS 39 och dels ett alternativt förslag.

#### 2.3.1 Dagens funktionsövervakningssystem

Den replika av dagens system som användes i försöket hade en typlik huvudvarning med två blinkande lampor och ett kraftigt tutande varningsljud.

Den VAT panel som användes i försöket presenterades strax direkt under MI och satt alltså bättre till än i verkligheten. Detta ledde troligen till mindre huvudrörelser och ögonrörelser av vad som skulle vara fallet

i det verkliga flygplanet. Eftersom även den alternativa VAT skärmen satt där bör dock mätfelet för de två systemet bli de samma. ”Baseline” vad gäller ögonrörelser för felhantering kan dock alltså skilja sig från den verkliga. Den information om felen (fellista och NÖD-SFI texter) som i verkligheten finns åtkomlig på antingen TI eller MI fanns i denna replika bara åtkomligt på TI. Felinformationen var tillgänglig med hjälp av tryckningar på ramknapparna.



Figur 1. Dagens varningstablå (VAT) i kabinmiljön i T3Sim.

### 2.3.2 Alternativt funktionsövervakningssystem

Det alternativa funktionsövervakningssystem som användes grundar sig på de förslag som presenterades i Castor, Nilsson och Ericson (1999). Flera av dessa förslag återfinns också i Mùchlers (1999) utredning av vad förarna önskar sig för funktionalitet och gränssnitt på systemet. I båda rapporterna nämns ny utformning på VAT, felidentifikation med prator, en sammanställd åtgärdslista vid flera fel, tydligare presentation av felstrukturen, få ”åtgärds paket” som täcker de flesta felen, samt begränsad detaljnivå i presentation för föraren som förslag på åtgärder för att förbättra FÖ-systemet.

Då ett fel presenterades av det alternativa systemet användes en inspelad röst (prator) för att ge direkt felidentifikation. Efter ett "attention sound" gavs felidentifikation av en mansröst. På den yta där dagens VAT tidigare presenterats såg föraren istället först en sida som presenterade felidentifikation, åtgärdslista och en felstrukturlist. På skärmens högra sida presenterades en felstrukturlist vars uppgift var att förmedla en bild av den totala felstrukturen. Fyrkanter användes för att meddela att det var ett "nytt, fristående fel", d.v.s. det var inte ett (åtminstone inte enligt den simulerade fellogiken) följdfel till något tidigare indikerat fel. Trekantiga vimplar användes för att visa att felet var ett följdfel till ett annat fel. De fel som i dagens system är så kallade undertryckta fel presenterades med litet mindre siffror i en fyrkant utan färg. Färg användes för övriga fel som informationsbärare om hur allvarligt, ur flygsäkerhetssynpunkt, som felet var. Röda fel var sådana fel som innebär att föraren bör landa snarast medan blå färg användes för övriga fel. Föraren hade också tillgång till en ytterligare sida där information om vilka system som påverkades av felet och annan mer ingående tekniska information presenterades. Föraren kunde manövrera mellan de olika felen och de två skärmar som tillhörde varje fel genom att trycka på skärmen.



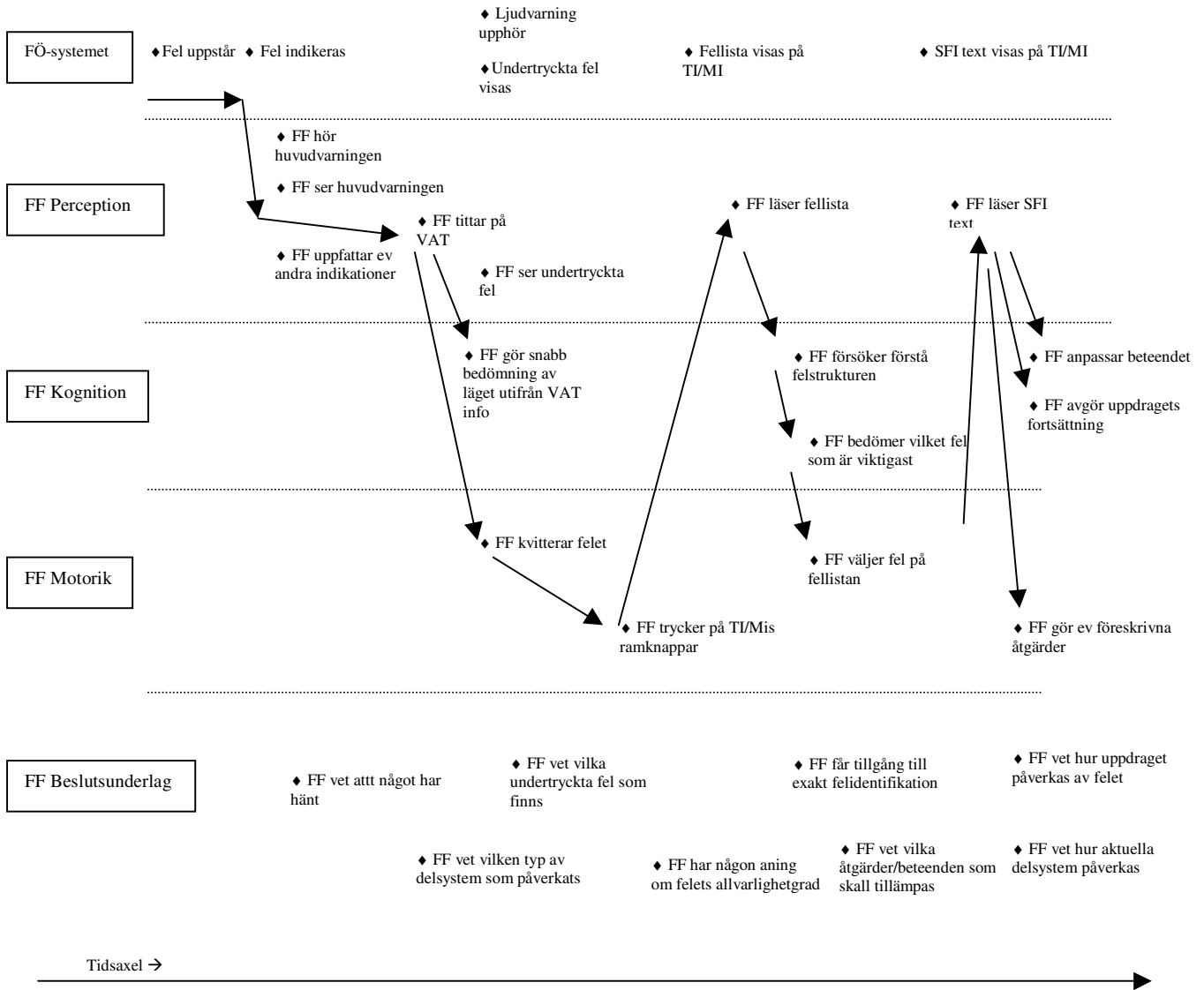
Figur 2. Alternativ varningstablå i kabinmiljön i T3Sim.

Man kan argumentera för att vissa av de föreslagna designlösningarna inte är lämpliga eftersom den grafiska funktionen också skulle falla bort om vissa fel uppstår och att dagens lampor utgör ett mer pålitligt system som fungerar även då elektronik o.s.v. inte fungerar. Man har dock redan lämnat denna driftssäkerhet i och med att de förändringar som är aktuella för delserie 3 av JAS 39 genomförs. Reservinstrument m.m. försvinner där för att ge plats för de förstörade MI och TI skärmarna. Avsikten var också att tänka vidare och generellt som t.ex. varningspresentation i stridsfordon eller en framtida UAV.

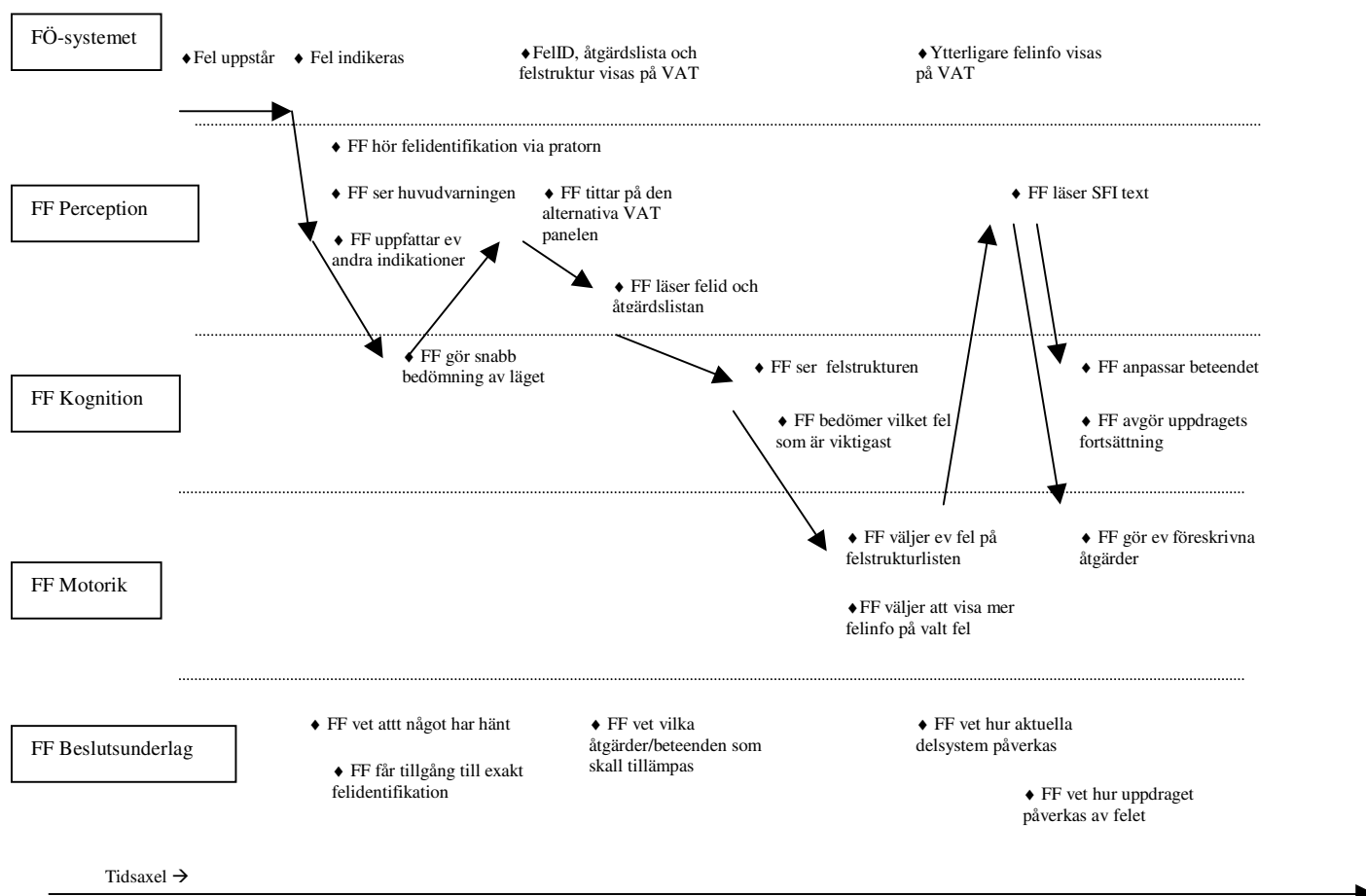
De designförslag som använts för den alternativa utformningen gör ej anspråk på att vara slutgiltiga eller optimala förslag. De kan dock redan i detta läge användas för att studera hur förarnas beteende och prestation påverkas då FÖ-systemets gränssnitt förändras.

## 2.4 Uppgiftsanalys

Här följer en uppgiftsanalys av förarens beteende vid en uppkommen felsituation. Den uppgiftsanalysmetod som bedömts lämplig är CPM-GOMS enligt John (1990). CPM-GOMS tillhör GOMS (Goals, Operator, Means, State) familjen och CPM står både för Critical Path Method eller Cognitive Perception Motor. CPM-GOMS är lämplig att använda i situationer där det förekommer parallella aktiviteter och en operatör som använder flera modaliteter skall beskrivas. Den kritiska linjen, här markerad med pilar, avgör den kortaste vägen en kedja av handlingar kan ta.



Figur 3. Uppgiftsanalys av felhantering med dagens FÖ-system.



Figur 4. Uppgiftsanalys av felhantering med det alternativa FÖ-systemet.

Den skillnad som avses visas med ovanstående uppgiftsanalyser är att föraren tidigare och efter färre manuella interaktioner med systemet får tillgång till felidentifikation och informationsunderlag som hjälper föraren att bedöma hur uppdraget påverkas.

## 2.5 Scenario

Det uppdrag som försökspersonerna flög var ett attackuppdrag under en internationell insats där uppgiften var att med attackraketer bekämpa en samling helikoptrar tillhörande en efterspanad terroristledare. Uppdraget innebar lågflygning med enkel brytpunktsnavigering fram till målet, därefter traditionellt arak-anfall. Aktivt luftvärn fanns i terrängen men eftersom insatsen var en precisionsinsats mot terroristledarens helikoptrar och det inte var fullt krig var deras intention osäker. Genom lågflygning kunde dock föraren undvika LV hoten. Föraren hade som uppgift att flyga i formation med en simulerad rotekamrat som flög som rote-etta.

Två olika långa scenarion användes i försöket. Först flög föraren kortare sekvenser ur slutfasen av attackuppdraget. Dessa löpor var ca 4 minuter långa. Slutligen flög föraren en längre och mer komplex löpa som tog ca 8 minuter.

## 2.6 Datainsamling

De mått som används i försöket var av både subjektiv och objektiv karaktär:

### 2.6.1 Tid för felhantering

Föraren gavs instruktionen att meddela sin rotekamrat när han upptäckt och identifierat de fel som indikerades. Tiden från det att ett fel indikerades till det att föraren meddelade att han visste vad det var för fel noterades. Detta mått var avsett att ge någon uppfattning hur snabbt en förare kan identifiera uppkomna fel med hjälp av funktionsövervakningssystemet.

Föraren hade också instruktioner att meddela sin rotekamrat när han avgjort hur felet påverkade hans förmåga att fullfölja uppdraget. Han meddelade här rotekamraten om han fortsatte uppdraget eller om han avbröt. Även denna tid noterades och var avsedd att ge en uppfattning om när föraren fått förståelse om felets konsekvenser.

Det är väl värt att notera att tiden för förståelse säkerligen är kortare än tiden innan försökspersonen rapporterar felet till omvärlden. Detta är dock den enda tid som kan mätas enkelt och även den är mycket intressant.

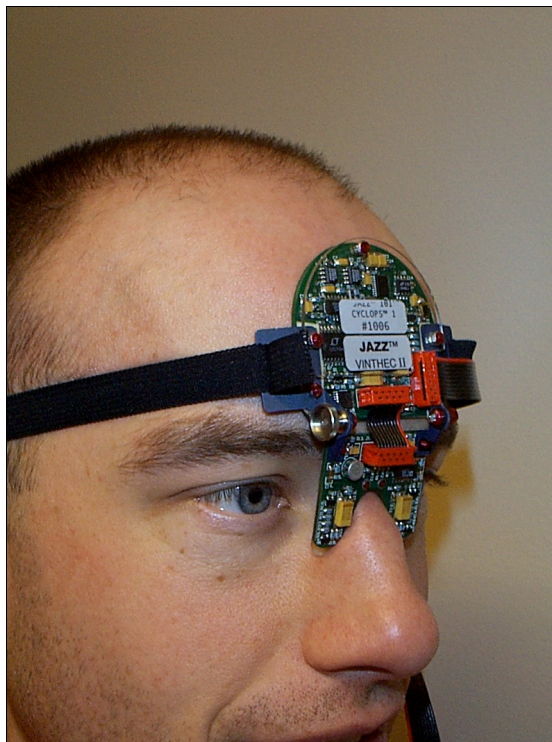
### 2.6.2 Subjektiva skattningar

Efter varje löpa fyllde flygföraren i en enkät med 12 frågor om hans egen bedömning av sin prestation, situationsmedvetande och mental arbetsbelastning vid de olika felsituationerna. Denna enkät finns i Appendix A.

Mått som användes för att jämföra de två utformningarna av funktionsövervakningssystem var alltså två tidsnoteringar (svar i sekunder) och tolv subjektiva frågor (olika typer av svar, men huvudsakligen på en 1-7 skala).

### 2.6.3 Psykofysiologiska mätningar

För att ytterligare ge stöd åt de subjektiva skattningarna, samlades också vissa psykofysiologiska mått in. En ny metod för att mäta ögonrörelser användes för den andra försökspersonen. Denna metod bygger på infraröd mätning av ögonrörelser med hög temporal upplösning. Tanken är att mentala arbetsuppgifter påverkar ögonrörelserna, framförallt utseendet och antalet saccader (själva ögonförflyttningarna). Ögonrörelserna registrerades här med JAZZ utrustning. JAZZ är ett blickregistreringsverktyg som utvecklats inom EU projektet VINTHEC II. Fördelen jämfört med annan blickregistreringsutrustning är att den är mycket lätt (30 gram) och inte kräver någon längre kalibreringsprocess. Metoden och verktyget som använts är dock nya, och resultaten bör anses vara preliminära.



*Figur 5. JAZZ utrustningen för registrering av ögonaktivitet.*

## 2.7 Försökspersoner

De två förare som var försökspersoner i försöket var en provflygare med stor erfarenhet av JAS systemet och en representant ur TU JAS. Den förare som deltog i förförsöket var inte influgen på JAS 39.

Ett större antal försökspersoner hade givetvis varit önskvärt men antalet begränsades av projektets storlek. Antalet försökspersoner gör det omöjligt att använda någon avancerad statistisk för att behandla resultaten. Enligt Nielsen (1994) är dock 3-5 försökspersoner tillräckligt för att hitta uppåt 75-80 % av alla användbarhets relaterade problem hos en prototyp/designförslag och är därför tillräcklig för en ny designiteration. Denna typ av designarbete är mycket vanligt i all systemutveckling som innebär att kvalificerade och specialiserade användare skall utvärdera systemet.

## 2.8 Använda fel

Ett antal olika fel användes. De fel som varje flygförare hanterade presenteras i Appendix 2. Felen indikerades vid olika tidpunkter under uppdraget.

De olika felsituationerna kan särskiljas på två sätt:

### **Komplexitet i felbilden**

Felsituationerna resulterade antingen i en komplex felbild (d.v.s. innehållande både fel och följdfelet samt ytterligare fristående fel) eller i en enkel felbild (d.v.s. bara ett fel utan följdfelet). Fel av olika typer användes för att se hur de två funktionsövervakningssystemen hjälpte föraren att förstå strukturen i den uppkomna felsituationen. I det alternativa funktionsövervakningssystemet fanns en felstrukturlist som var avsedd att hjälpa föraren att förstå vilka fel som var är följdfelet till vad och vilket som var det ursprungliga felet.

### **Allvarlighetsgrad**

Felen som uppstod i felsituationen hade antingen allvarliga flygsäkerhetsmässiga konsekvenser (d.v.s. åtgärden Landa snarast finns med bland SFI instruktionerna) eller så var konsekvenserna sådana att föraren antingen kunde fullfölja uppdraget eller skulle avbryta uppdraget men inte behövde landa snarast.

För varje löpa som försökspersonerna flög med dagens funktionsövervakningssystem fanns en löpa med det alternativa förslaget vars felbild var jämförbar. Detta innebar att det inte var samma fel som återkom men konsekvenserna och felbilden var jämförbara så att responstiderna kunde jämföras mellan de två systemen. Vilka löpor som var jämförbara för respektive förare framgår i avsnitt 3.1.



### 3. Resultat

#### 3.1 Tider för felhantering

På grund av de deltagande flygförarnas tidsmässiga möjlighet att delta i försöket hann förarna flyga olika många löpor. Föraren som flög i förförsöket hann flyga 10 löpor medan de andra två hann 6 resp. 13 löpor. Eftersom antalet försökspersoner var så begränsat anges här skillnaderna i tid för felidentifikation och tid för felförståelse för varje försöksperson. Här kommer även resultaten från förförsöket att redovisas eftersom försöksupplägget och felen var de samma och ”det enda” som skilde var simulatorm samt att ingen psykofysiologisk registrering gjordes under förförsöket.

Rådata och beskrivning av de fel som varje försöksperson hanterade finns i appendix 2.

Tabellerna 1a-c skall läsas enligt följande. För varje förare fanns det en löpa med dagens system vars felbild var jämförbar med en löpa han flög med det alternativa förslaget. Numren på dessa löpor anges i de första två kolumnerna. Sedan anges hur många sekunder snabbare föraren kunde identifiera felet med det alternativa systemet och hur många sekunder snabbare han förstod felet konsekvenser för uppdraget. Tiden i dessa två kolumner är alltså inte kumulativ. I den sista kolumnen anges skillnaden i den totala tiden för felhantering när ett fel uppstått och procentuellt hur mycket fortare föraren förstår felsituationen.

| Löpa med alt. system | Löpa med dagens system | Sekunder bättre för felidentifikation | Sekunder bättre för förståelse | Total tid för felhantering (alt. jfr dagens)                             |
|----------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| 10                   | 1                      | 0 s                                   | 13 s                           | 12 s jfr med 25 s<br>52 % snabbare                                       |
| 9                    | 2                      | --<br>5 s                             | 8 s<br>3 s                     | 20 s jfr med 31 s<br>35 % snabbare                                       |
| 7                    | 3                      | 5 s<br>5 s                            | 7 s<br>5 s                     | 27 s jfr med 40 s<br>33 % snabbare<br>20 s jfr med 25 s<br>20 % snabbare |
| 6                    | 4                      | 7 s                                   | 10 s                           | 15 s jfr med 25 s<br>40 % snabbare                                       |
| 8                    | 5                      | 10 s                                  | 5 s                            | 20 s jfr med 25 s<br>20% snabbare  |
| Sammanställning      |                        |                                       | 3 – 13 s<br>Medel ca 10 sek    | 20 – 52 % snabbare   |

Tabell 1a. Skillnader i tider för felhantering för flygföraren i förförsöket.

| Löpa med alt. system | Löpa med dagens system | Sekunder bättre för felidentifikation | Sekunder bättre för förståelse | Total tid för felhantering (alt. jfr dagens)                 |
|----------------------|------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| 4                    | 1                      | 0                                     | 35                             | 15 s istf 50 s<br>70 % snabbare                              |
| 5                    | 3                      | 0<br>2                                | 17 s<br>58 s                   | 19 istf 36<br>47 % snabbare<br>12 s istf 70<br>82 % snabbare |
| Sammanställning      |                        |                                       | 17-58 sek<br>medel 36 s        | 47% - 82 % snabbare  |

Tabell 1b. Skillnader i tider för felhantering för första försökspersonen hos SAAB Avionics.

| Löpa nr med alt. system | Löpa nr med dagens system | Sekunder bättre för felidentifikation | Sekunder bättre för förståelse | Total tid för felhantering (alt. jfr dagens)                       |
|-------------------------|---------------------------|---------------------------------------|--------------------------------|--|
| 8                       | 2                         | 7 s<br>14 s                           | 15 s<br>30 s                   | 10 s istf 25 s<br>60 % snabbare<br>1 s istf 31 s<br>97 % snabbare  |
| 10                      | 3                         | Inga fel                              |                                |  |
| 12                      | 6                         | 9 s<br>8 s                            | 9 s<br>25 s                    | 5 s istf 14 s<br>64 % snabbare<br>5 s istf 30 s<br>83 % snabbare   |
| 9                       | 4                         | 22s<br>4 s                            | 21 s<br>26 s                   | 9 s istf 32 s<br>72 % snabbare<br>46 s istf 72 s<br>36 % snabbare  |
| 7                       | 5                         | 6 s                                   | 6 s                            | 6 s istf 12 s<br>50 % snabbare                                     |
| 11                      | 1                         | 3 s                                   | - 8                            | 28 s istf 20 s<br>40 % långsammare                                 |
| Sammanställning         |                           |                                       | -8 – 30 sek<br>Medel 16 sek    | 97 % snabbare till<br>36 % snabbare<br>i ett fall 40 % långsammare |

Tabell 1c. Skillnader i tider för felhantering för andra försökspersonen hos SAAB Avionics.

Ingen jämförelse mellan alla tre förarna i de löpor som var jämförbara har gjorts eftersom antalet försökspersoner var för litet. De löpor som är fullt jämförbara mellan alla tre individerna är de där felsituationerna 067 med dagens system, 141+102 med dagens och 344 med det alternativa uppstår.

### 3.2 Subjektiva skattningar

Efter varje avslutad löpa fyllde föraren i ett formulär med 12 frågor som relaterade till hans prestation och mentala arbetsbelastning. Formuläret finns med i appendix 1.

Antalet försökspersoner var alltför lågt för att någon statistisk analys skall kunna göras, men felsituationerna visar sig ge utslag i förarnas bedömning av sin prestation hos försökspersonerna. De två förare som flög i SAAB Avionics simulator gav också ett bättre medelbetyg för det alternativa förslaget. I diskussionen efteråt tyckte alla dock alla de tre förarna att det alternativa systemet på ett bättre sätt förmedlade information om felen.

| Löpa | 1  | 2 A       | 2 B       | 3 A | 3 B | 4 A | 4 B | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|----|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|
| 1    | Ja | 7         | 1         | 7   | 1   | 7   | 1   | 1 | 1 | 7 | * | 6 |
| 2    | Ja | 6         | 2         | 6   | 2   | 7   | 1   | 2 | 2 | 7 | * | 5 |
| 3    | Ja | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 6 | * | 4 |
| 4    | Ja | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 1 | 7 | * | 5 |
| 5    | Ja | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 6 | * | 5 |
| 6    | Ja | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 6 | * | 5 |
| 7    | Ja | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 6 | * | 5 |
| 8    | Ja | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 3 | 5 | * | 4 |
| 9    | Ja | 7         | 1         | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 3 | 6 | * | 4 |
| 10   | Ja | 6         | 2         | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 6 | * | 4 |

\* denna fråga användes inte under förförsöket

Tabell 2a. Enkät svar från föraren i förförsöket.

| Löpa | 1         | 2 A       | 2 B       | 3 A | 3 B | 4 A | 4 B | 5  | 6  | 7 | 8  | 9 |
|------|-----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|----|----|---|----|---|
| 1    | Ja, sent  | Anföll ej | Anföll ej | 2   | 6   | 5   | 4   | 5  | 6  | 3 | 5  | 4 |
| 2    | --        | 6         | --        | 6   | --  | 6   | --  | -- | -- | 6 | -- |   |
| 3    | Ja, sent  | Anföll ej | Anföll ej | 3   | 6   | 5   | 3   | 5  | 5  | 3 | 6  | 4 |
| 4    | Ja        | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2  | 2  | 6 | 2  | 6 |
| 5    | Ja        | Anföll ej | Anföll ej | 5   | 5   | 5   | 4   | 3  | 5  | 5 | 4  | 6 |
| 6    | Inga svar |           |           |     |     |     |     |    |    |   |    |   |

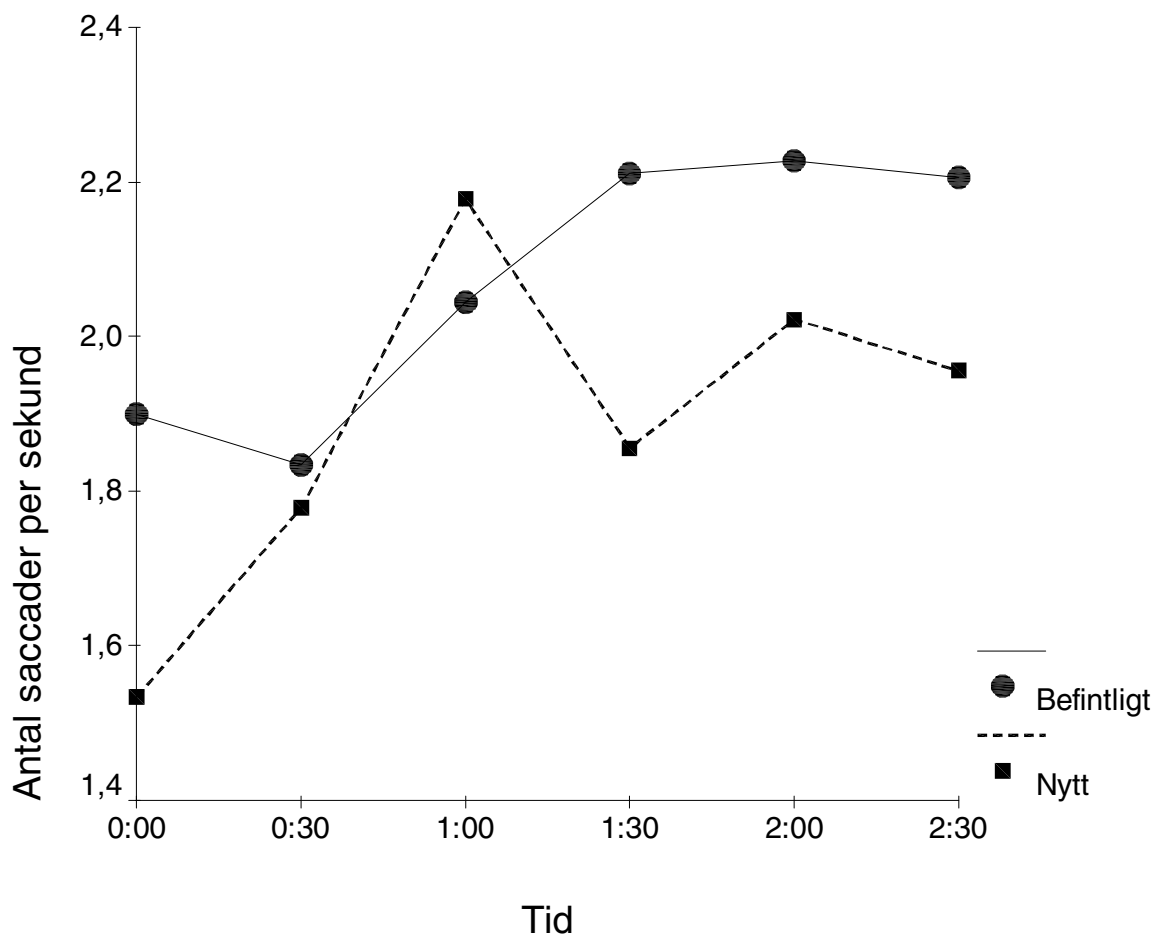
Tabell 2b. Enkät svar från första försökspersonen hos SAAB Avionics.

| Löpa | 1        | 2 A       | 2 B       | 3 A | 3 B | 4 A | 4 B | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|------|----------|-----------|-----------|-----|-----|-----|-----|---|---|---|---|---|
| 1    | Ja       | 6         | 1         | 6   | 2   | 7   | 1   | 1 | 2 | 5 | 3 | 5 |
| 2    | Nej      | 5         | 3         | 4   | 4   | 5   | 4   | 3 | 3 | 2 | 5 | 2 |
| 3    | Ja       | 6         | 1         | 7   | 1   | 7   | 1   | 1 | 1 | 7 | 1 | 5 |
| 4    | Ja, sent | 5         | 3         | 3   | 6   | 3   | 6   | 4 | 6 | 2 | 7 | 3 |
| 5    | Ja       | 6         | 3         | 6   | 1   | 7   | 1   | 1 | 1 | 2 | 2 | 5 |
| 6    | Ja       | Anföll ej | Anföll ej | 5   | 3   | 5   | 2   | 3 | 2 | 6 | 4 | 4 |
| 7    | Ja       | 6         | 1         | 7   | 2   | 7   | 2   | 1 | 1 | 7 | 2 | 6 |
| 8    | Ja       | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 7 | 3 | 6 |
| 9    | Ja       | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 4   | 6   | 4   | 3 | 4 | 4 | 5 | 4 |
| 10   | Ja       | 6         | 1         | 7   | 1   | 7   | 1   | 1 | 1 | 7 | 1 | 6 |
| 11   | Ja       | Anföll ej | Anföll ej | 7   | 3   | 6   | 3   | 3 | 4 | 4 | 5 | 3 |
| 12   | Ja       | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 2   | 6   | 2   | 2 | 2 | 6 | 3 | 6 |
| 13   | Ja       | Anföll ej | Anföll ej | 6   | 4   | 5   | 4   | 5 | 5 | 2 | 5 | 3 |

Tabell 2c. Enkät svar från andra försökspersonen hos SAAB Avionics.

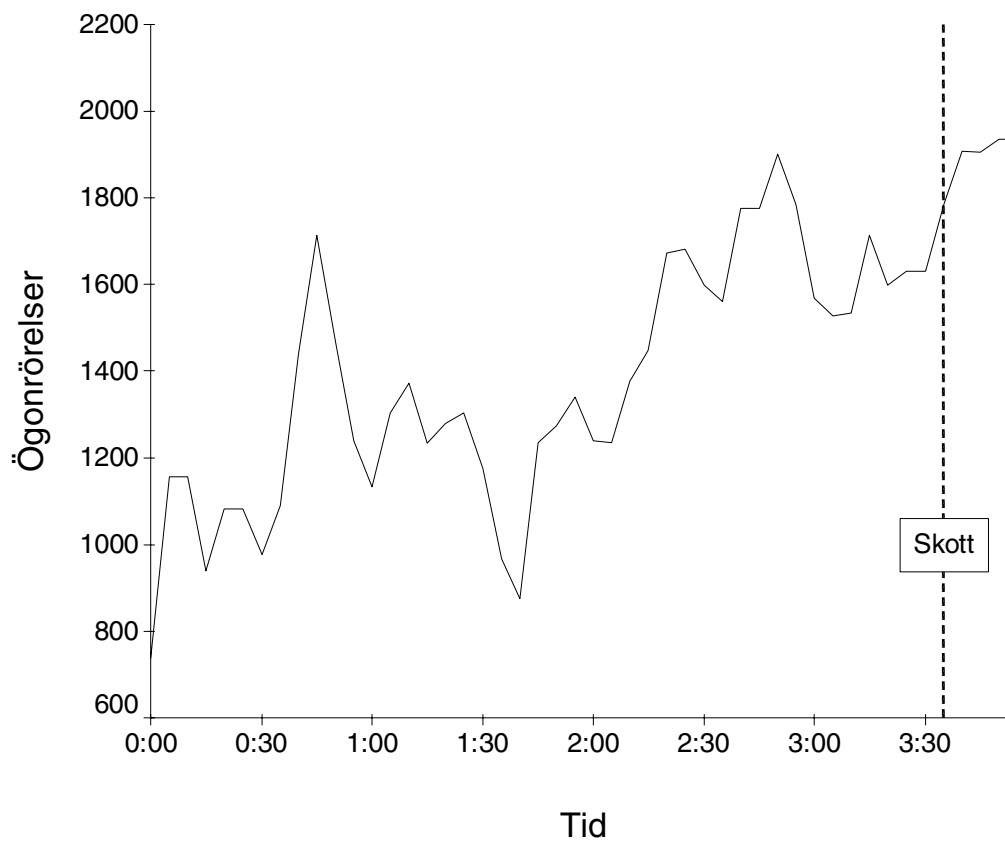
### 3.3 Psykofysiologiska data

Analysen av ögonrörelserna visar att det finns en signifikant skillnad i antal saccader mellan de pass som flögs med befintligt system och de pass som flögs med det alternativa förslaget [ $F(1, 7)=6,78; p<.05$ ]. Det alternativa systemet krävde alltså färre ögonrörelser än det befintliga. Detta bör tolkas så, att det alternativa systemet kräver mindre visuellt arbete, och därmed också mindre mentala resurser.



Figur 6. Antalet saccader med dagens resp. alternativt FÖ-system.

Tidsaxeln i figur 6 visar förfluten tid under uppdragen. Kurvorna i figuren baseras på ögonrörelserna för alla löporna som flögs med respektive funktionsövervakningsystem. Felen inträffade vid olika tidpunkter under uppdraget.



*Figur 7. Ögonaktivitet under ett anfall.*

Figur 7 visar ögonrörelseaktivitet vid ett anfall. Dessa data stämmer tämligen bra överens med tidigare studier av ögonrörelseaktivitet vid verkliga och simulerade attackuppdrag (Magnusson, 2002). Ett typiskt utseende är att aktiviteten minskar något före själva attacken, för att därefter öka igen vid tiden för skott till "normal" nivå. Den vertikala skalan är godtycklig.

## 4. Automation

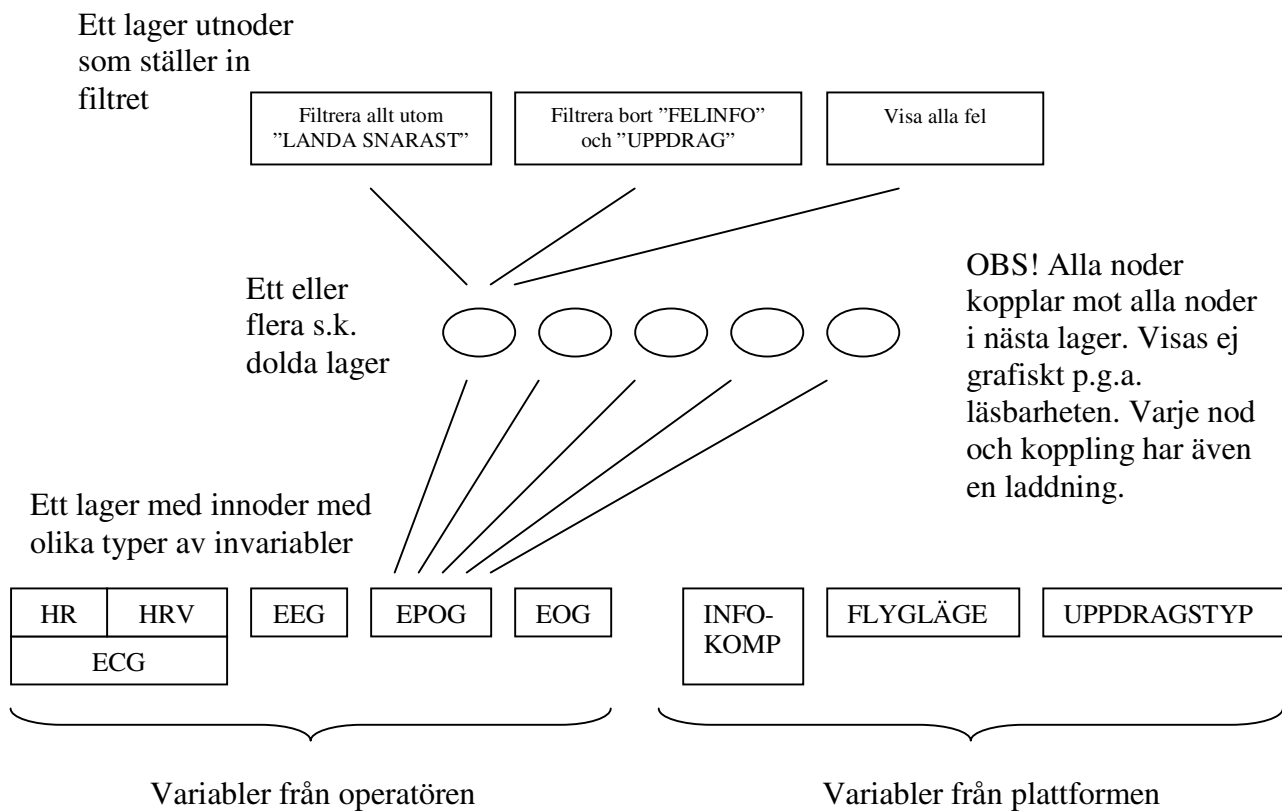
Efter en analys av alla felsituationer och deras tillhörande åtgärdslistor tidigt i projektet framgick att antalet manuella manipulationer som en flygförare skall göra i en felsituation är relativt litet eller sällan förekommande. Åtgärdslistorna i NÖD-SFI föreskriver oftare beteenden (som t.ex. flyg mjukt och håll flygplanet under 4000 meter) än att föraren t.ex. skall trycka på olika knappar (som t.ex. nödavstänga luftsystemet). Det som kan automatiseras eller göras adaptivt är därför själva presentationen av varningarna.

När den första av två försökspersoner som flög i SAAB Avionics simulator flög den längre löpan försökte försöksledarna därför simulera ett adaptivt filter. Denna idé kan sägas vara ett försök att simulera ett adaptivt filter med hjälp av så kallad "Wizard of Oz"-metodik (se t.ex. Faulkner 2000). Eftersom algoritmer ännu inte finns för att kunna implementera ett adaptivt filter som filtrerade bort/fördröjde vissa varningar under kritiska faser av uppdraget spelades detta av försöksledarna. När förarens puls uppnådde ett visst värde skulle det spelade adaptiva filtret fördröja vissa varningar till dess att pulsen gått ner. Detta antagande bedömdes rimligt utifrån de observationer som gjorts i t.ex. Magnusson (2002) där förarnas puls stiger kraftigt strax före vapenleverans. Det gränsvärde som sattes var dock för högt och det simulerade filtret aktiverades inte. Denna metodik upprepades inte vid nästa försöksperson eftersom ingen utrustning för att registrera puls fanns tillgänglig.

Under fortsatt verksamhet inom forskningsområdet Automation eller inom projektet Systemlyft JAS bör studier av hur tekniker som t.ex. artificiella neurala nät, ANN, kan användas för att fungera som adaptiva filter genomgöras (För en introduktion till ANN, se t.ex. [ftp://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html](http://ftp.sas.com/pub/neural/FAQ.html)). Dessa adaptiva filter som i realtid skulle ta in data från plattformen (t.ex. fart och höjd, informationskomplexitet på indikatorer o.s.v.) och från operatören (t.ex. puls, ögonaktivitet, blickriktning, hjärnaktivitet o.s.v.) och som med hjälp av dessa data avgör om varningar skall filtreras bort eller fördröjas är mycket intressanta.

I Magnusson (2002) beskrivs hur man tydligt ser att föraren närmar sig vapenleverans utifrån den psykofysiologiska registreringen. Pulsen stiger kraftigt och ögonaktiviteten förändras. Kurvorna för dessa psykofysiologiska mått ser likadana ut både för verklig och simulerad flygning, men ligger aningens lägre i simulatören. Utifrån dessa tydliga indikationer, tillsammans med variabler från systemet bör man kunna göra kvalificerade gissningar av när en operatör är alltför mentalt belastad för att ha tid att ägna uppmärksamhet åt mindre viktiga fel.

I figur 8 visas en skiss av hur ett neuralt nät skulle kunna användas för att skapa ett adaptivt filter. Neurala nät måste tränas och hittar då en lösning (ibland suboptimal, detta beror på kvaliteten i träningsdata) på hur mycket de olika ingående variablerna påverkar utfallet i utnoderna. Tekniken med neurala nät är användbar när man inte kan formulera formella logiska regler på sambanden mellan olika variabler, vilket ofta är fallet i komplexa system. Artificiella neurala nät har historiskt används för diskreta kategoriseringsuppgifter med redan tränade nät, men det senaste decenniets forskning inrymmer ett antal exempel på nät som klassificerar och tränas om i realtid. Ett problem med artificiella neurala nät är dock att det endast finns relativt utvecklade metoder för att analysera nätets inre och varför det klassificerar som det gör. Detta kan givetvis kännas direkt olämpligt när man pratar om ett funktionsövervaknings-system och flygsäkerhet. Överhuvudtaget när diskussionen rör sig kring adaptiva system som själva "fattar beslut" och gör inställningar automatiskt så är det tydligt att detta är mycket komplexa frågeställningar. Eventuella vinster måste här verkligen ställas mot säkerhetsrisker och ökad svårighet för operatörer att skaffa sig giltiga mentala modeller av hur deras system fungerar. För en teoretisk sammanfattning av problem med automationsövertäckningar och olika automationsnivåer se Castor, Nilsson och Ericson (1999).



Figur 8. En schematisk bild av ett artificiellt neuralt nät kopplat till operatör och plattform.

HR = Heart Rate  
 HRV = Heart Rate Variability  
 ECG = Electrocardiogram, d.v.s. hjärtaktivitet  
 EEG = Electroencephalogram, d.v.s. hjärnaktivitet  
 EPOG = Eye Point of Gaze, d.v.s. blickriktning  
 EOG = Elektrooculogram, d.v.s. ögonaktivitet

## 5. Diskussion

Vilket nämndes i introduktionen har verksamheten inom aktuell beställning haft två mål. Dels att föreslå hur varningsinformation skall presenteras på bästa sätt och dels studera hur ett funktionsövervakningssystem kan automatiseras.

I det försök som genomförts visas att flygförarna meddelar omvärlden (d.v.s. sin rotekamrat) konsekvenserna av uppkomna fel ca 20 – 95 % snabbare med ett alternativt förslag än med dagens funktionsövervakningssystem. Detta innebär att den tid de tre flygförarna i genomsnitt ägnade sig åt felhantering vid ett fel sjunker med ca 20 sekunder. Effekterna blir ännu tydligare när det handlar om komplexa felsituationer med flera fel och följdfelet. Förklaringen till dessa kortare beslutstider är ganska uppenbar eftersom nödvändig information förmedlas snabbare men tydliggörs också om man jämför de två uppgiftsanalyserna i avsnitt 2.4.

Den operativa effekten av den snabbare felhanteringen beror givetvis på i vilken fas av uppdraget flygföraren befinner sig. Närmar han sig vapenleverans eller inflygning över av farligt område är dock 20 sekunder en relativt lång tidsrymd. Förutom tiden som föraren är teknisk problemlösare istället för taktisk beslutsfattare tillkommer även den ökade mentala arbetsbelastning som uppstår när föraren försöker skaffa sig en bild av felet och felets konsekvenser.

I de kvalitativa diskussionerna med försökspersonerna anger de också att det alternativa förslaget på ett tydligare sätt presenterar felidentifikation och information om felstrukturen. Ett antal gränssnittsförslag som inte implementerats i det alternativa förslaget, som t.ex. en sammanställd åtgärdslista för alla uppkomna fel och tydligare presentation av felet konsekvenser på uppdraget har också samlats in under projektet och kan implementeras i fortsatt verksamhet.

Vad gäller automatiseringen av funktionsövervakningssystemet finns det färre slutsatser att hämta från projektet. En tänkbar lösning för att skapa ett adaptivt system introduceras och det genomförda experimentet har samlat in viss psykofysiologisk data som skulle kunna ligga till grund för fortsatt forskning. Den mjukvara och typ situation som utvecklats inom projektet utgör en lämplig grund för fortsatta studier av adaptiva gränssnitt. Bilden av ett funktionsövervakningssystem som skulle kunna använda sig av de olika felkategorier som implicit (och outnyttjat) redan finns i flygplanet idag (d.v.s. Landa snarast fel, Avbryt uppdraget, Felinfo och Uppdragsfel) utgör en tydlig och rättfram typsituation.

I det framtida nätverksbaserade försvaret och allt vad det kommer innebära i fråga om automatisk informationsfiltrering kommer det att tillkomma en mängd situationer när adaptiva system troligen blir önskvärda. Innan bilden av det nätverksbaserade försvaret klarnar erbjuder dock den här använda typsituation en rättfram ”bärare av tanken”.

### 5.1 Fortsatt verksamhet

Det i rapporten redovisade försöket bör följas upp med följande verksamhet:

Anpassning av den mjukvara som tagits fram hos SAAB Avionics till den senaste versionen av funktionsövervakningssystemet som utvecklats till JAS 30 delserie 3 under det senaste året. Detta för att fortsatta studier av adaptivitet samtidigt skall samla in experimentell data som samtidigt kan användas i utvärderingen av det nya funktionsövervakningssystemet.

Forskning kring och implementation av ett adaptivt filter av den modell som skissas i avsnitt 4 samt tester och en experimentserie som studerar det framtagna filtret. T3Sim är en lämplig simulator för denna experimentserie.



## 6. Referenser

Castor, M. & Nilsson, S-Å (2000). Förförsök i projektet Anpassning av varningssystem till operatörens kognitiva förutsättningar. *FFAP-F-324*. Bromma.

Castor, M., Nilsson, S-Å & Ericson, M. (1999). Automation of Fighter Aircraft System Warnings – Design Proposals for Handling and Presentation. *FFA Technical Notes 1999-19*. Bromma.

Faulkner, X. (2000). *Usability Engineering*. Macmillan Press Ltd. Basingstoke.

John, B. E. (1990). Extensions of GOMS Analyses to Expert Performance Requiring Perception of Dynamic Visual and Auditory Information. I J. C. Chew & J. Whiteside (Eds.) *ACM CHI'90 Conference on Human Factors in Computing Systems*, 107-115. New York.

Magnusson, S. (2002). On the similarities and differences in psychophysiological reactions between simulated and real air-to-ground missions. *International Journal of Aviation Psychology*, Vol 12 (1). 49-61.

Müchler, F. (1999). Fpl 39 Förbättringsförslag - Funktionsövervakning (FÖ) i Gripen. *SAAB GFF meddelande*. Linköping.

Nielsen, J. (1994). Heuristic evaluation. I J. Nielsen & R. L. Mack (Eds.) *Usability Inspection Methods*. John Wiley & Sons. New York.

## Appendix 1. Enkätfrågor efter varje löpa

### 1. När felet/felen uppstod fattade jag rätt beslut om uppdragets fortsättning:

|     |                  |    |
|-----|------------------|----|
| Nej | Ja, men för sent | Ja |
|-----|------------------|----|

### 2 A. Min prestation m.a.p. vapeninsatsen var:

|                             |   |   |   |   |   |   |   |            |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------|
| Inte alls tillfredställande | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mycket bra |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------|

### 2 B. Min prestation påverkades av den uppkomna felsituationen:

|                      |   |   |   |   |   |   |   |                |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|
| I liten utsträckning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Väldigt mycket |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|

### 3 A. Min prestation m.a.p. lösandet av flyguppgiften var:

|                             |   |   |   |   |   |   |   |            |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------|
| Inte alls tillfredställande | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mycket bra |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------|

### 3 B. Min prestation påverkades av den uppkomna felsituationen:

|                      |   |   |   |   |   |   |   |                |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|
| I liten utsträckning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Väldigt mycket |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|

### 4 A. Min prestation m.a.p. lösandet av navigeringsuppgiften var:

|                             |   |   |   |   |   |   |   |            |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------|
| Inte alls tillfredställande | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Mycket bra |
|-----------------------------|---|---|---|---|---|---|---|------------|

### 4 B. Min prestation påverkades av den uppkomna felsituationen:

|                      |   |   |   |   |   |   |   |                |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|
| I liten utsträckning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Väldigt mycket |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|

I vilken mån instämmer du i följande påståenden

**5. Den uppkomna felsituationen bidrog till att jag hade en så hög mental arbetsbelastning att jag inte med säkerhet kunde fatta beslut om uppdragets fortsättning**

|                      |   |   |   |   |   |   |   |                |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|
| I liten utsträckning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Väldigt mycket |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|

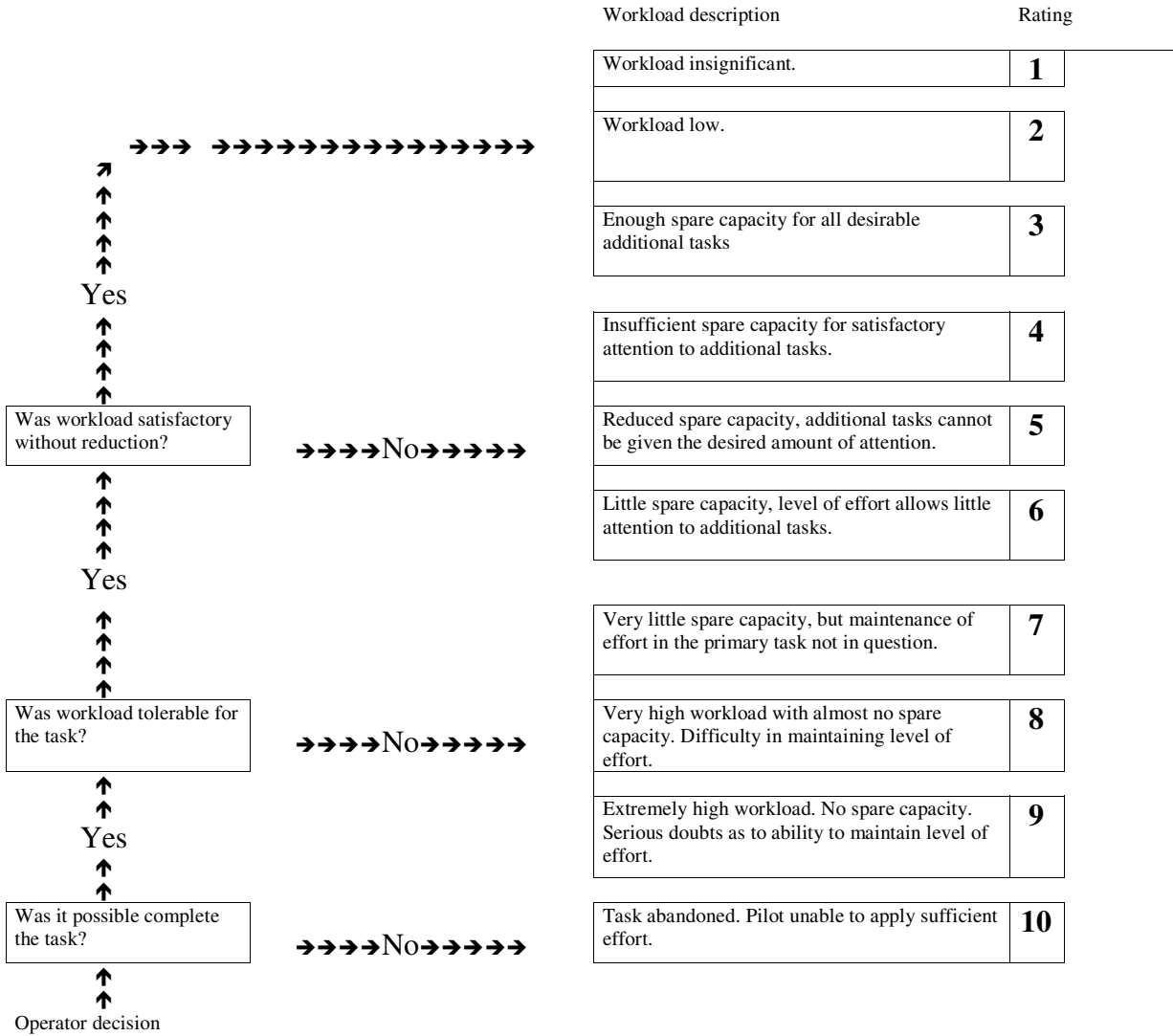
**6. När felsituationen uppstod förvandlades jag till en teknisk problemlösare från att ha varit en taktisk beslutsfattare**

|                      |   |   |   |   |   |   |   |                |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|
| I liten utsträckning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Väldigt mycket |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------|

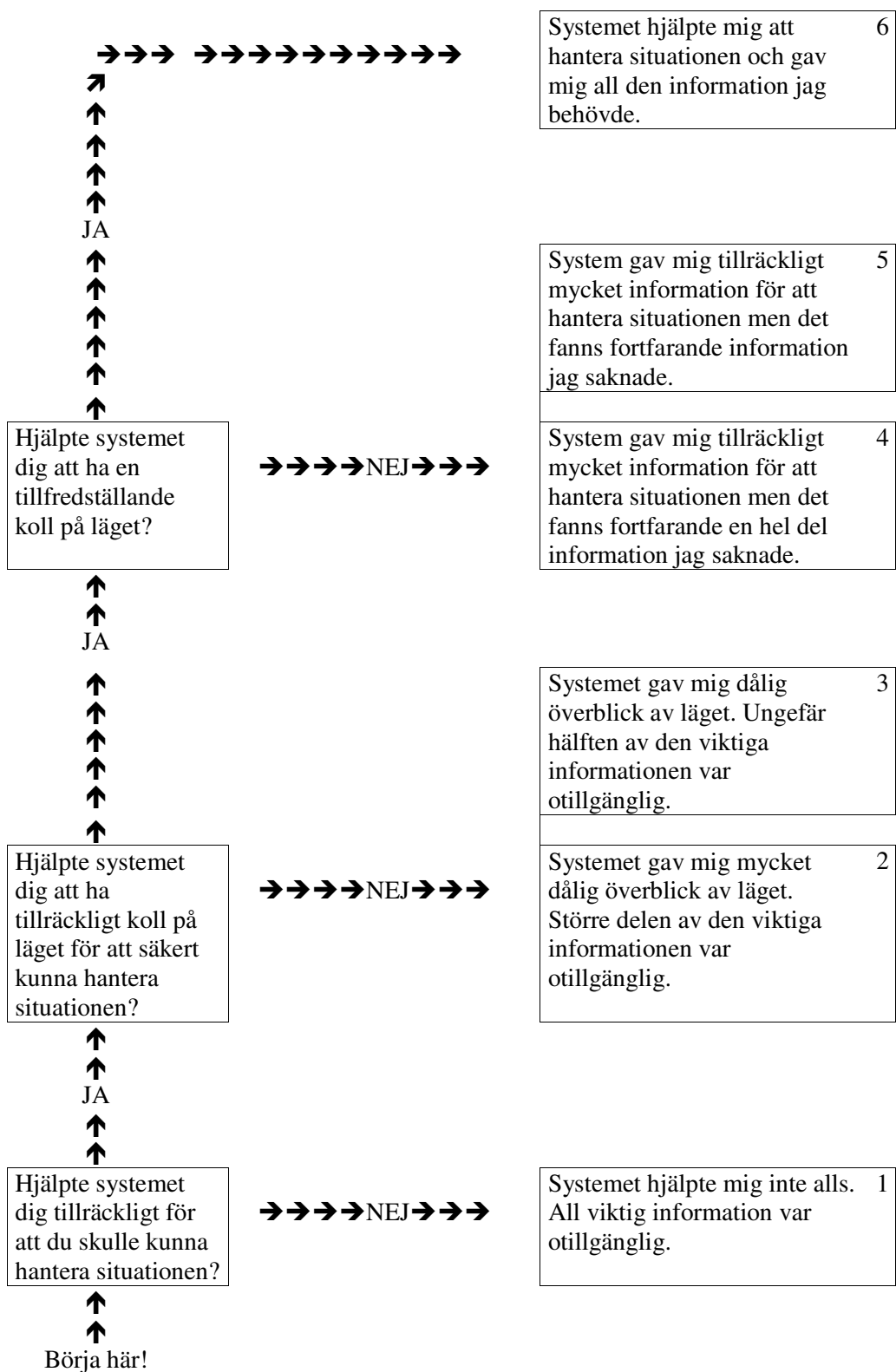
**7. Jag hade koll på alla faktorer som var relevanta för de beslut jag fattade under hela uppdraget**

|                      |   |   |   |   |   |   |   |                      |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------------|
| I liten utsträckning | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Full koll hela tiden |
|----------------------|---|---|---|---|---|---|---|----------------------|

## 8. Hur var din mentala arbetsbelastning under passet?



9. Bedömning av hur funktionsövervakningssystemet hjälpte dig att få överblick när felsituationer uppstod.



## Appendix 2. Rådata och felsituationer

Försöksperson 2 hos SAAB Avionics.

| Löpa nr | Fel nr | Larm nr  | FÖ-System | Felbeskrivning                  | Felbild                                | Tid för identifikation | Tid för förståelse |
|---------|--------|----------|-----------|---------------------------------|--|------------------------|--------------------|
| 1       | 1      | 067      | Dagens    | APU-lucka öppen                 | Enkel felbild<br>Fortsätt              | 17 s                   | 20 s               |
| 2       | 2      | 141      | Dagens    | Låg kyleffekt                   | Enkel felbild<br>Fortsätt              | 16 s                   | 25 s               |
|         | 3      | 102      |           | Fel på båda likriktarna         | Allvarligt<br>Ej flygsäk.<br>Avbryt    | 15 s                   | 31 s               |
| 3       |        | Inga fel |           |                                 |  |                        |                    |
| 4       | 4      | 077      | Dagens    | Lågt oljetryck växellåda        | Enkel felbild<br>Fortsätt 30 min       | 30 s                   | 32 s               |
|         | 5      | 247      |           | AFPL kritiska block ur funktion | Avbryt<br>Del av felbild med flera fel | 20 s                   | 72 s               |
| 5       | 6      | 396      | Dagens    | IK ur funktion                  | Uppdragsfel<br>ingen påverkan          | 11 s                   | 12 s               |
| 6       | 7      | 414      | Dagens    | Fel avståndsmättnings radar     | Uppdragsfel<br>ingen påverkan          | 12 s                   | 14 s               |
|         | 8      | 122      |           | Fel på system 2                 | Ett fel med följdfel<br>Avbryt         | 10 s                   | 30 s               |
|         | 9      | 388      |           | Stri data ur funktion           | Uppdragsfel men efter fel 122          | 7 s                    | 8 s                |
| 7       | 10     | 438      | Alt       | VBS ur funktion                 | Uppdragsfel,<br>ingen påverkan         | 5 s                    | 6 s                |
| 8       | 11     | 122      | Alt       | Fel på system 2                 | Ett fel med följdfel<br>Avbryt         | 9 s                    | 10 s               |
|         | 12     | 076      |           | Drivaxelbrott                   | Allvarligt<br>Flygsäk.<br>Avbryt       | 1 s                    | 1 s                |
| 9       | 13     | 158      | Alt       | Radarluft ur funktion           | Uppdragsfel<br>ingen påverkan          | 8 s                    | 9 s                |
|         |        | 156      |           | Rammluft-kylning ur funktion    | Ingen SFI text<br>Avbryt uppdraget     | 16 s                   | 46 s               |
| 10      | 14     | Inga fel |           |                                 |  |                        |                    |
| 11      | 15     | 344      | Alt       | Osäkring<br>Avfyrning blockerad | Enkel felbild<br>Uppdragskonsekvenser  | 14 s                   | 28                 |

|    |    |     |     |                                  |   |            |      |
|----|----|-----|-----|----------------------------------|---|------------|------|
| 12 | 16 | 384 | Alt | Radio B<br>degraderad            | Uppdragsfel<br>ingen påverkan             | 3 s        | 5 s  |
|    | 17 | 120 |     | Fel på system 1                  | Allvarligt<br>Flygsäk.<br>Landa snarast   | 2 s        | 5 s  |
|    | 18 | 126 |     |                                  |   |            |      |
| 13 | 19 | 158 | Alt | Radarluft ur<br>funktion         | Uppdragsfel<br>ingen påverkan             | 6 s        | 8 s  |
|    | 20 | 410 |     | Radar<br>följefunktion fel       | Uppdragsfel<br>ingen påverkan             | 19 s       | 20 s |
|    | 21 | 414 |     | Fel avstånds-<br>mättnings radar | Uppdragsfel<br>ingen påverkan             | 14 s       |      |
|    | 22 | 136 |     | Luftsystem<br>funktion osäker    | Avbryt uppdraget                          | Inget svar |      |
|    | 23 | 096 |     | Huvud-generatorn<br>ur funktion  | Avbryt<br>Del av felbild<br>med flera fel | 7 s        |      |

Försöksperson 1 hos SAAB Avionics.

| Löpa nr | Fel nr | Larm nr  | FÖ-System | Felbeskrivning          | Felbild                                     | Tid för identifikation | Tid för förståelse |
|---------|--------|----------|-----------|-------------------------|---|------------------------|--------------------|
| 1       | 1      | 067      | Dagens    | APU-lucka öppen         | Enkel felbild<br>Fortsätt                   | 9 s                    | 50 s               |
| 2       | --     | Inga fel | Dagens    | Inga fel                | Normalt                                     |                        |                    |
| 3       | 2      | 141      | Dagens    | Låg kyleffekt           | Enkel felbild<br>Fortsätt                   | 10 s                   | 36 s               |
|         | 3      | 102      |           | Fel på båda likriktarna | Allvarligt<br>Ej flygsäk.<br>Avbryt         | 15 s                   | 70 s               |
| 4       | 4      | 344      | Alt       | Osäkr/AVF blockerad     | Enkel felbild<br>Bara uppdrags konsekvenser | 12 s                   | 15 s               |
| 5       | 5      | 122      | Alt       | Fel på system 2         | Ett fel med följdfel<br>Avbryt              | 10 s                   | 19 s               |
|         | 6      | 076      |           | Drivaxelbrott           | Allvarligt<br>Flygsäk.<br>Avbryt            | 5 s                    | 12 s               |
| 6       | 7      | 141      | Alt       | Låg kyleffekt           | Enkel felbild<br>Fortsätt                   | 5 s                    | Inget svar         |
|         | 8      | 077      |           |                         | Enkel felbild<br>Fortsätt 30 min            | 8 s                    | 16 s               |
|         | 9      | 122      |           | Fel på system 2         | Ett fel med följdfel<br>Avbryt              | 12 s                   | 16 s               |
|         | 10     | 067      |           | APU-lucka öppen         | Enkel felbild<br>Fortsätt                   | 10 s                   | Inget svar         |



Föraren i förförsöket.

| Löpa nr | Fel nr | Larm nr | FÖ-System | Felbeskrivning                     | Felbild   | Tid för identifikation | Tid för förståelse |
|---------|--------|---------|-----------|------------------------------------|---|------------------------|--------------------|
| 1       | 1      | 067     | Dagens    | APU-lucka öppen                    | Enkel felbild<br>Fortsätt                       | 10 s                   | 25 s               |
| 2       | 2      | 141     | Dagens    | Låg kyleffekt                      | Enkel felbild<br>Fortsätt                       | 10 s                   | 13 s               |
|         | 3      | 102     |           | Fel på båda<br>likriktarna         | Allvarligt<br>Ej flygsäk.<br>Avbryt             | 15 s                   | 18 s               |
| 3       | 4      | 077     | Dagens    | Lågt oljetryck<br>växellåda        | Enkel felbild<br>Fortsätt 30 min                | 10 s                   | 15 s               |
|         | 5      | 247     |           | AFPL kritiska<br>block ur funktion | Avbryt<br>Del av felbild<br>med flera fel       | 15 s                   | 25 s               |
| 4       | 6      | 341     | Dagens    | AVAP ur funktion                   | Enkel felbild<br>Bara uppdrags-<br>konsekvenser | 10 s                   | 25 s               |
| 5       | 7      | 122     | Dagens    | Fel på system 2                    | Ett fel med<br>följdfel<br>Avbryt               | 15 s                   | 25 s               |
| 6       | 8      | 344     | Alt.      | Osäkr/AVF<br>blockerad             | Enkel felbild<br>Bara uppdrags-<br>konsekvenser | 3 s                    | 15 s               |
| 7       | 9      | 096     | Alt.      | Huvudgeneratorn<br>ur funktion     | Avbryt<br>Del av felbild<br>med flera fel       | 5 s                    | 7 s                |
|         | 10     | 076     |           | Drivaxelbrott                      | Allvarligt<br>Flygsäk.<br>Avbryt                | 10 s                   | 20 s               |
| 8       | 11     | 122     | Alt.      | Fel på system 2                    | Ett fel med<br>följdfel<br>Avbryt               | 5 s                    | 20 s               |
| 9       | 12     | 067     | Alt.      | APU-lucka öppen                    | Enkel felbild<br>Fortsätt                       | --                     | 5 s                |
|         | 13     | 120     |           | Fel på system 1                    | Allvarligt<br>Flygsäk.<br>Landa snarast         | --                     | 15 s               |
|         | 14     | 077     |           | Lågt oljetryck<br>växellåda        | Enkelt fel<br>Del av felbild<br>med flera fel   | --                     | 5 s                |
| 10      | 15     | 141     | Alt.      | Låg kyleffekt                      | Enkel felbild<br>Fortsätt                       | 10 s                   | 12 s               |