

MARTIN CASTOR, STEPHEN O'CONNELL, JERRY POUSSETTE,  
MARTIN KRANTZ, MARTIN GEJKE



FOI är en huvudsakligen uppdragsfinansierad myndighet under Försvarsdepartementet. Kärnverksamheten är forskning, metod- och teknikutveckling till nytta för försvar och säkerhet. Organisationen har cirka 1000 anställda varav ungefär 800 är forskare. Detta gör organisationen till Sveriges största forskningsinstitut. FOI ger kunderna tillgång till ledande expertis inom ett stort antal tillämpningsområden såsom säkerhetspolitiska studier och analyser inom försvar och säkerhet, bedömning av olika typer av hot, system för ledning och hantering av kriser, skydd mot och hantering av farliga ämnen, IT-säkerhet och nya sensorers möjligheter.

Martin Castor<sup>1</sup>, Stephen O'Connell<sup>2</sup>, Jerry  
Pousette<sup>3</sup>, Martin Krantz<sup>4</sup>, Martin Gejke<sup>5</sup>

# Quick Access Target Eye Pointer (QATEP)

Slutrapport QATEP projektet inom NFFP 5

---

<sup>1</sup> FOI

<sup>2</sup> FOI / Screenlab AB

<sup>3</sup> Milso AB

<sup>4</sup> Smart Eye AB

<sup>5</sup> Smart Eye AB

Titel	Quick Access Target Eye Pointer (QATEP) – Slutrapport QATEP projektet inom NFFP 5
Title	Quick Access Target Eye Pointer (QATEP) – Final Report of the QATEP project within NFFP 5
Rapportnr/Report no	3467
Månad/Month	Augusti
Utgivningsår/Year	2012
Antal sidor/Pages	32 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	VINNOVA / NFFP 5
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	B55015
Godkänd av/Approved by	Lars Höstbeck
Ansvarig avdelning	Informations och Aerosystem

Detta verk är skyddat enligt lagen (1960:729) om upphovsrätt till litterära och konstnärliga verk.  
All form av kopiering, översättning eller bearbetning utan medgivande är förbjuden.

This work is protected under the Act on Copyright in Literary and Artistic Works (SFS 1960:729).  
Any form of reproduction, translation or modification without permission is prohibited.

## Sammanfattning

QATEP (Quick Access Target Eye Pointer) var ett projekt inom NFFP 5 programmet (Nationellt Flygforskningsprogram), finansierat via VINNOVA (dnr 2009-01358) som pågick februari 2010 till september 2012. Under projektet utvecklade och utvärderade FOI, Milso AB och Smart Eye AB det så kallade QATEP-konceptet. QATEP-konceptet bygger på de senaste årens tekniska landvinningar inom ögonrörelsemätning. Projektet har, baserat på världsledande svensk teknik från Smart Eye AB, utvecklat en prototyp som visar potentialen med ögonrörelsemätning för bland annat målutpekning.

Föreliggande rapport är slutrapporten från projektet och beskriver det arbete som genomförts. Rapporten innehåller en kortfattad beskrivning av QATEP konceptet, beskrivning av projektets leveranser och resultaten från ett experiment som genomförts i FLSC (Flygvapnets Luftstridssimuleringscenter). Resultatet från experimentet visar tydligt på möjligheterna att med QATEP systemet mycket snabbt invisa mot och låsa på mål. Slutligen ges ett antal rekommendationer för fortsatt utveckling av det innovativa QATEP-systemet.

Nyckelord: QATEP, ögonrörelser, ögonrörelsemätning, sensorer, sensorstyrning, luftstrid, målutpekning, JAS 39 Gripen, HMD, hjälmdisplay

## Summary

QATEP (Quick Access Target Eye Pointer) was a project within the Swedish National Program for Aviation Research (Nationellt Flygforskningsprogram, NFFP), funded by VINNOVA (ref no 2009-01358), which ran from February 2010 to September 2012. During the project the QATEP concept was developed and evaluated by FOI, Milso AB and Smart Eye AB. The QATEP concept is based on the last years' significant development of eye-tracking systems. The project has, based on Swedish cutting edge technology from Smart Eye AB, developed a prototype system that demonstrates the potential of eye-tracking for target designation applications.

The present report is the final report from the project and describes the development efforts. The report provides a brief description of the QATEP concept, descriptions of the deliverables from the project and the results of an experiment that was conducted in FLSC (The Swedish Airforce Combat Simulation Centre). The results from the experiment clearly show the possibilities of very quick target designation and lock-on with the QATEP system. Finally a number of recommendations for further development of the innovative QATEP-system are provided.

Keywords: QATEP, eye movements, eye tracking, sensors, sensor handling, air combat, target designation, JAS 39 Gripen, HMD, head mounted display

# Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>QATEP konceptet</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Projektets genomförande</b>	<b>11</b>
3.1	Portabel konceptdemonstrator.....	11
3.2	Förstudierapport.....	13
3.3	Integration i FLSC .....	13
3.4	Experimentell utvärdering i FLSC .....	18
3.4.1	Metod .....	18
3.4.2	Resultat.....	20
3.4.3	Diskussion.....	24
3.5	Vetenskaplig publicering .....	25
<b>4</b>	<b>Resultatspridning</b>	<b>26</b>
<b>5</b>	<b>Rekommendationer</b>	<b>27</b>
5.1	Finansiering och kunder.....	27
5.2	Förslag fortsatt verksamhet .....	28
5.2.1	Miniatyrisering .....	28
5.2.2	Integration i flygplan.....	29
5.2.3	Flygprov .....	29
5.2.4	Ytterligare gränssnittutformning .....	30
5.2.5	Ögonrörelseanalys för forskning .....	30
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>31</b>



# 1 Inledning

I jaktstrid mellan stridsflygplan är det centralt att ta initiativet från fienden, ofta genom att få iväg den första jaktroboten, medan man bibehåller en taktiskt fördelaktig position och hög fart, dvs energiöverläge. Detta är en gammal sanning som fortfarande är giltig. I dagens jaktstrid är medelräckviddiga robotar som t ex robot 99 (AIM-120 AMRAAM) den primära beväpningen eftersom striden ofta förväntas att ske i ett BVR (Beyond Visual Range) stridsscenario. Det finns dock ett antal olika anledningar till varför förmåga i närstrid fortfarande är viktig. Exempel är när RoE (Rules of Engagement) kräver visuell identifiering innan målet beskjuts eller då ett tidigare oupptäckt mål plötsligt befinner sig nära flygplanet. Konsekvenserna av förlorat initiativ och låg energi i kurvstrid (WVR, Within Visual Range, dvs den klassiska "dog-fighten") är särskilt tydligt.

Moderna korräckviddiga robotar som IRIS-T eller AIM-9X med hög svängprestanda kan avfyras mot mål som befinner sig i helt nya positioner än de som traditionellt varit möjligt att skjuta mot och rymden av skjutlägen har på senare år ökat drastiskt. Målutpekning måste dock fortfarande ske genom någon form av interaktion mellan pilot, vapen och sensorsystem.

Hjälmonterade presentationsytor (HMD, Helmet Mounted Displays) och hjälmsikten (HMT, Helmet Mounted Trackers eller HMS, Helmet Mounted Sights) har studerats sedan 60-talet och utlovat taktiska fördelar. Se till exempel Adam (1994), Olson, Arbak och Jauer (1991). HMD system börjar nu finnas operativt i stridsflygplan där JHMCS, Cobra, och HMDS systemen är de mest spridda. I stridshelikoptrar har hjälmsiktssystemet IHADSS varit operativt i snart 30 år. Franck, McIntire, Marasco, och Havig (2009) beskriver översiktligt dagens och kommande HMD system. En modern sammanfattning finns också i Rash, Russo, Letowski och Schmeisser (2009).

Ett HMD system ger piloten en presentationsyta som ger tillgång till relevant flyglägesinformation såväl som taktisk information trots att piloten tittar bort från flygplanets instrumentering. Jämfört med en situation där piloten måste titta ner på presentationsytorna i kabinen eller genom den så kallade HUD:en (Head-Up Display) ger en HMD flera frihetsgrader och fördelar.

Med ett HMD system kommer dock också ett antal begränsningar. Havig, Goff, McIntire och Franck (2009) beskriver ett antal olika anledningar till varför HMD system ännu inte fått det genomslag som förväntats. Tillräcklig teknisk prestanda för presentationssystemen har länge varit en utmaning. Behovet av ofta återkommande kalibrering har varit stort. HMD systemet ökar också vikten på hjälmen och därigenom belastningen på nacken vid hög G belastning. Även relativt små viktökningar kan få konsekvenser under de höga G belastningar som förekommer i ett stridsflygplan. Livscykelkostnaderna för HMD system är avsevärda eftersom systemen är relativt dyra både vad gäller inköp och underhåll.

Samtidigt som HMD-tekniken mognat har teknikutvecklingen för ögonrörelsemätningar (eye tracking) varit mycket stark, framför allt de senaste fem åren, och flera olika metoder och system används. Tekniken används idag alltmer frekvent i en rad olika tillämpningar. För en sammanfattning av olika typer av mätmetoder se t ex Alfredson, Nählinder & Castor (2004). Såväl Duchowski (2007) och Majaranta, Aoki, Donegan, Witzner-Hansen, Paulin-Hansen, Hyrskykari och Rähä (2012) presenterar en djupare introduktion till området. Potentialen och utvecklingen i ögonrörelsemätning har uppmärksamats av både forskningsinstitut och industri för flera olika tillämpningar och kommer allt närmare vardagslivet. Ögonrörelsemätning används redan bland annat som handikapphjälpmedel för datorstyrning, samt för analyser av visuella sökmönster i exempelvis reklamsammanhang. Övervakning av bil eller lastbilsförare är en annan tillämpning. Tidigare begränsningar som förhindrat praktisk användning av ögonrörelsemätning i skarpa system har nu försvunnit, på grund av användandet av nya system baserade på bildigenkänning. Ingen utrustning behöver längre monteras på användaren.

Syftet med föreliggande projekt inom NFFP 5 programmet, QATEP (Quick Access Target Eye Pointer) var att studera hur denna teknikutveckling kan användas för att mäta var en stridspilot tittar och genom denna information om var den visuella uppmärksamheten är riktad styra utpekning av och invisning mot t ex hot. Viss funktionalitet i HMD-lösningar, såsom den visuella presentationsytan i visiret, kommer inte att vara tillgängligt, men en studiefråga för projektet är att studera hur långt man kommer enbart med information av var piloten tittar och sedan invisar med audiopresentation. Projektets användningsfall har varit militär flygning med moderna flygsystem. Nyttan i nya interaktionsmetoder för utpekning och invisning har dock stor potential för tillämpningar som stöder såväl militära som civila piloters arbete samt andra typer av operatörer som styr olika typer av fordon eller system. Exempel kan vara lastbilsförare eller personal i kontrollrum och ledningssystem.

## 2 QATEP konceptet

Ett modernt stridsflygplan som JAS39 Gripen är utformat för att kunna agera i flera olika roller, med huvudkategorierna jakt, attack och spaning.

Under jaktuppdrag agerar förbandet i luften mot mål som också befinner sig i luften. Exempel på sådana mål är andra flygplan eller system utan operatör ombord som UCAV (Unmanned Combat Air Vehicle), UAV (Unmanned Aerial Vehicle), RPV (Remotely Piloted Vehicle), UAS (Unmanned Aircraft System) samt kryssningsrobotar.

Under attackuppdrag agerar förbandet i luften mot mål på marken, exempelvis infrastruktur eller mark- och sjöförband.

Under spaningsuppdrag inhämtar förbandet i luften underrättelser om mål på marken, exempelvis infrastruktur eller fientlig verksamhet. Det kan också röra sig om övervakning av havs- eller landområden.

Centrala uppgifter för stridspiloter, särskilt under jakt- och attackuppdrag, är att ge målangivelser, dvs att peka ut mål till andra förbandsmedlemmar, samt invisa robotars målsökare mot mål.

För målangivelse idag används vanligen en tvådimensionell radarbild, vilken är en av flera så kallade Head-Down Displays (HDD) som återfinns på flygplanets instrumentpanel. Denna typ av bildskärm benämns ”head down” då piloten måste titta ner i kabinen, relativt instrumenteringen, för att utläsa informationen. Den visuella kontakten med omvärlden (Out The Window view, OTW) bryts således när HDD används.

Stridsflygplan har därför ofta också en Head-Up Display, HUD, en transparent bildskärm som monteras ovanpå instrumentpanelen och täcker det främre synfältet. Denna kan också nyttjas för målangivelse, där symbolik renderas ovanpå verkliga mål som syns genom det främre cockpitfönstret. Således kan piloten tillgodogöra sig mål- och flygdata utan att bryta den visuella kontakten med omvärlden.

En HUD har dock klart begränsat synfält och de modernaste flygsystemen har stöd för användande av HMD, en hjälmmonterad presentationsyta som överlagrar mål- och flygdata oavsett huvudets rotation. Se figur 1 för exempel på moderna HMD system.



Figur 1: Gripen Cobra HMD (t.v.) och F-35 Lightning Gen II HMD (t.h.).

För att nyttja en HMD för målutpekning krävs att huvudet vrids i motsvarande vinkel som målets position i miljön relativt det egna flygplanet. Huvudets flexibilitet inskränks dock radikalt vid höga G-belastningar och ett klassiskt problem för de flesta tidigare HMD-lösningar är hög vikt alternativt viktobalans (Rash m fl, 2009). Då bildskärmskomponenter monteras framför ögonen, på hjälmens framsida, förskjuts systemets masscentrum framåt, och sammanfaller inte längre med huvudets eget masscentrum. Viktobalans har funnits påverka postural stabilitet (Knight, 2007) och kan orsaka smärtor i nacke vid längre användande då vridmomentet som orsakas av det förflyttade masscentrat måste motverkas av nackens muskler (Rash m fl, 2009). Detta är speciellt påtagligt under höga G-krafter.

Masscentrum kan hjälpligt återställas med att placera motvikter på hjälmens baksida, men detta bidrar till en ökad totalvikt av HMD-systemet.

Eftersom den tekniska utvecklingen inom ögonrörelsemätning varit kraftig de senaste åren har QATEP projektet utvecklat ett koncept som baserar sig på de nya möjligheterna med ögonrörelsemätning. Den tekniska utvecklingen har t ex gjort att man inte längre är begränsad till ett mindre synfält (exempelvis en bildskärm), utan man kan med nya multi-kamerasystem skala upp täckningen till 360° runt användaren. Detta möjliggör användande i visuellt omslutande miljöer såsom en stridsflygplanskabin. I princip ingen utrustning behöver heller längre monteras på användarens huvud utan beräkningen av var man tittar sker genom bildigenkänning från kameror som sitter placerade runt om användaren.

Som ett alternativ till HUD och HMD-baserade sikten kan därigenom ögonens blickriktning registreras och nyttjas för målutpekning. Blickbaserad målutpekning kan utföras utan huvudrörelse. Vid normala G-belastningar kan blickbaserad målutpekning dessutom ge ett mycket större täckningsområde då blicken kan riktas utanför huvudets naturliga rörelse-extremer. Eftersom huvudet i bästa fall kan vridas ut horisontellt i ca  $\pm 90^\circ$ , kan blicken vridas ut ytterligare ca  $60^\circ$ , vilket kombinerat ger en maximal utvridning på ca  $\pm 150^\circ$ . Således kan ett QATEP-utrustat flygplan med underlägsen svängprestanda potentiellt vinna över ett manöveröverlägset flygplan i kurvstrid, då piloten kan vrida ögonen i stället för flygplanet för att kunna låsa på målet. Detta ger stora taktiska fördelar.

Med QATEP-systemet föreslås piloten kunna styra funktioner, främst sensorer, i flygplanet, men flygplanssystemet får också information om piloten vilket används i vissa andra funktioner. Denna sektion listar de huvudfunktioner som systemet planeras innehålla.

- **Invisning/målutpekning.** Detta är en av QATEP systemets viktigaste funktioner och QATEP kan användas för att invisa flera olika system som t ex robotmålsökare, RADAR, IR-Pod/FLIR och kameror.
- **Hjälpa piloten till tidig ögonkontakt.** QATEP kan invisa pilotens ögon med hjälp av audiopresentation mot luft, sjö och markmål. QATEP kan också över taktiska länkar hjälpa piloten att peka ut mål till förbandsmedlemmar.
- **Visuell identifiering.** Om ett objekt finns tillgängligt i flygplanets informationssystem (t ex via varningssystem eller länksystem) kan QATEP vid behov stödja identifiering av objektet när piloten tittar på det.
- **Larma vid G-LOC.** QATEP kan stödja flygsäkerheten genom att övervaka pilotens vakenhetsgrad och varna eller ta över styrsystemet om piloten är medvetlös (dvs troligen har utsatts för G-induced Loss of Consciousness), blundar alltför länge eller uppvisar bristande uppmärksamhet.
- **Utbildningshjälp och stöd vid gränssnittutformning.** FOI har under många år följt utvecklingen och använt flera olika system för att studera visuella sökmönster och mental arbetsbelastning hos militära och civila piloter (se t ex Castor m fl, 2003). Om ett ögonrörelsesystem finns integrerat i flygplanet kan data därifrån användas för att hitta optimala sökmönster och ge värdefull information till människa-maskin gränssnittsutformning.

### 3 Projektets genomförande

QATEP projektet genomfördes inom ramen för det Nationella Flygforsknings-programmet (NFFP 5) från VINNOVA. Projektet löpte från 2010 till 2012 och arbetet organiserades genom tre arbetspaket vilka kortfattat beskrivs nedan. Därefter beskrivs kortfattat de olika leverablerna från projektet som går utöver föreliggande slutrapport.

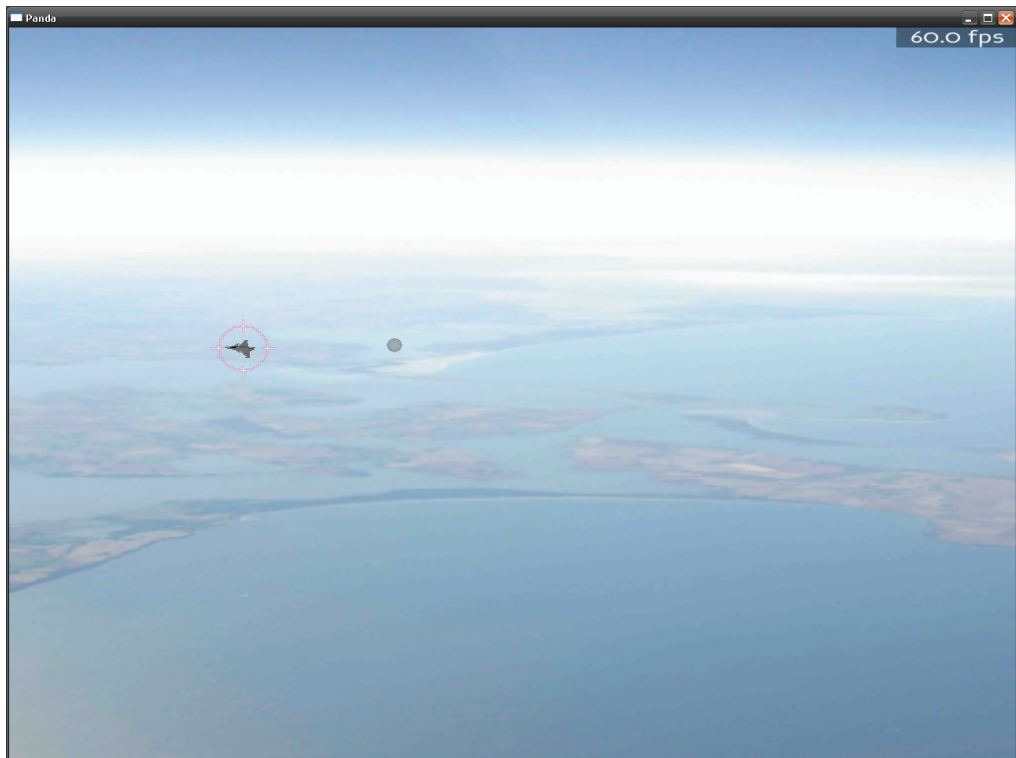
- Arbetspaket 1. Förstudie: Ta fram en teknikdemonstrator och en förstudie där tekniska möjligheter och begränsningar för implementering i stridsflygplan utreds. Leverabel från detta arbetspaket var en rapport från förstudien och en portabel konceptdemonstrator (se beskrivning nedan).
- Arbetspaket 2. Demonstrator i simulatormiljö: Syftet med arbetspaketet var att utveckla en konceptdemonstrator som integrerats med simulatormiljön vid FLSC och som var anpassad för att demonstrera det taktiska värdet av QATEP konceptet. Leverabel för detta arbetspaket var ett system med mjukvara och hårdvara anpassade för Within Visual Range (WVR) användningsfall i FLSC.
- Arbetspaket 3. Experimentell utvärdering och rapportering: En teknisk, taktisk och ergonomisk utvärdering av konceptet för framtida utveckling i stridsflygplan, inkl jämförelse med alternativa lösningar som t ex HMD. Leverabel från detta arbetspaket var rapportering som beskriver resultaten från utvärderingen.

#### 3.1 Portabel konceptdemonstrator

Projektgruppen utvecklade i arbetspaket 1 en portabel konceptdemonstrator, vars syfte var att kunna demonstrera systemets funktion och prestanda hos potentiell kund eller slutanvändare på ett både informativt och engagerande sätt. Demonstratorn är utformad som en portabel installation där kamerorna och annan utrustning har integrerats med en 32-tums skärm. QATEP konceptet presenteras i denna demonstrator genom ett enklare flygspel, där de flesta funktioner som kan tänkas finnas i en skarp implementation finns representerade. Systemet styrs med ögonrörelser samt avancerade speljoysticks.



Figur 2: QATEP-projektets portabla konceptdemonstrator.



Figur 3: Skärmbild från konceptdemonstratorn där en robotmålsökare med ögonen styrs mot ett mål och sedan frigjorts samt punkten som visar var användaren tittar för tillfället. Målsökarmarkering, blickpunkt, och en visuell representation av audiotonen (syns ej i bild) som hjälper användaren att hitta mål kan kopplas av och på.

## 3.2 Förstudierapport

Förstudierapporten från arbetspaket 1 (O'Connell, Rydbeck, Castor, Pousette, Englund, Gejke & Krantz, 2011) innehåller en detaljerad beskrivning av de inledande försöksinstallationerna i FLSC simulatormiljö. Den inkluderar analys och utvecklingsarbete som krävdes för att reda ut en mängd tekniska detaljer inför integrationen som genomfördes i arbetspaket 2. Rapporten tar upp ett antal frågor som påverkar den faktiska mätkvaliteten på ögonrörelsemätningen, och vissa aspekter, t ex förändring av ansiktsform på grund av belastning, utrymmesbrist, G-krafter och skymmande utrustning som är förknippade med en stridsflygplanscockpit. Förstudierapporten beskriver också uppsättning av kameror och tester av mätprecision.

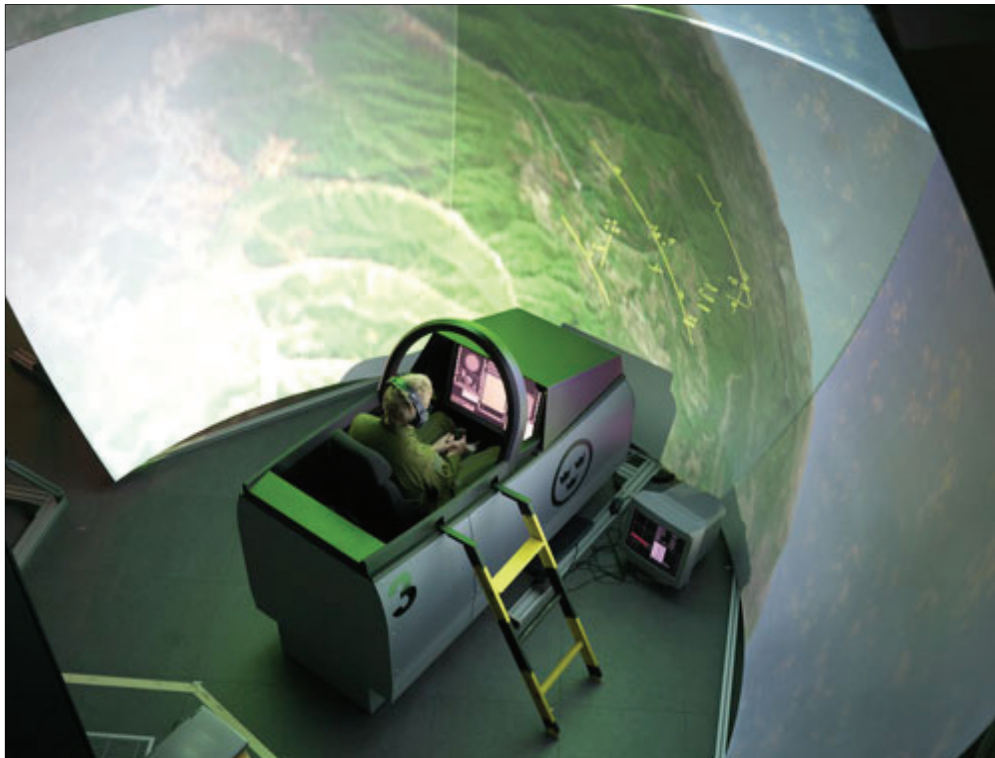
## 3.3 Integration i FLSC

Inom arbetspaket 2 integrerades ett Smart Eye Pro system med flygsimulatormiljön vid FLSC (Flygvapnets Luftstridssimuleringscenter), en enhet inom FOIs avdelning för Informations- och Aerosystem. Arbetet som genomfördes var en verklig integration mellan ögonrörelsemätningssystemet och FLSC simulator, inte bara en ögonrörelsemätningssystem som stod i en simulator. Data från båda systemen behövde kunna kombineras i realtid för att demonstrera de taktiska funktionerna som eftersträvades.

Integrationsarbetet kan grovt delas in i fyra delar:

- Utveckling av drivrutin för FLSC för att ta emot blickriktning från ögonrörelsemätningssystemet.
- Integration med övriga delar av människa-maskin-gränssnitt (radar, HUD, samt styrning via styrspak och handkontroll).
- Integration med sensor- och vapensystem.
- Utveckling av loggning och analysfunktionalitet.

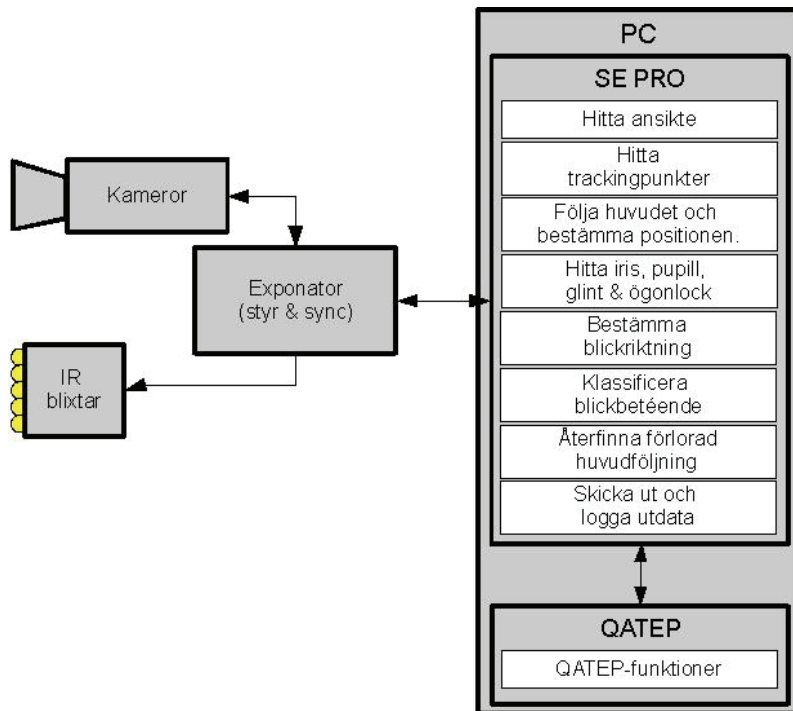
Vid FLSC finns åtta pilotstationer, varav en användes under integration och senare experiment inom QATEP projektet. Den del av synfältet som presenteras i FLSC domer är ca  $\pm 100^\circ$  horisontellt och från  $+80^\circ$  till  $-40^\circ$  vertikalt. Domerna består av sex projektionsytor som är täckta med högre reflekterande färg som var och en belyses av en projektor med upplösningen 1400x1050 pixlar. Domen har en diameter på cirka sex meter med pilotstationen i mitten. Givet ett partiellt överlapp mellan projektorerna blir pixelstorleken ca 3,2x3,2 bågminuter. Mjukvaran för bildgenerering och distribuerad rendering var Presagis Vega Prime. Hårdvara och mjukvara för hantering av respektive bildkanal kommer från Mersive.



Figur 4: En pilotstation i en av domerna i FLSCs simulatorhall.

Systemet som användes i studien var ett Smart Eye Pro flerkamerasystem med beröringsfri, bildbehandlingsbaserad mätning av bland annat huvudposition och blickriktning. Ett Smart Eye Pro system består av ett antal kameror med VGA upplösning (för nuvarande) med bildhastigheter på 30-120 Hz och svart-vit bildinformation med t ex 8 bitars upplösning per pixel. I princip kan valfritt antal kameror användas för att täcka in alla tänkbara huvudrotationer hos en pilot. Rent praktiskt är 9-12 kameror en rimlig begränsning i dagsläget, men detta förändras över tiden allt eftersom nya behov och tekniska förutsättningar driver algoritmutvecklingen och systemens utformning. I denna studie användes ett system med åtta kameror. Optiken kan anpassas till önskat avstånd och mätvolym med hjälp av olika brännvidder. För att vara okänsligt gentemot ljusvariationer i omgivningen, framförallt varierande solljus, samt för att uppnå mätförmåga i mörker, så använder sig systemet av ett antal pulsade ljuskällor med IR-ljus, så kallade ”flashar”, tillsammans med ett snävt och väl avstämt bandpassfilter integrerat i kamerans optik.

Till detta kommer en styr- och synkroniserings- processor, benämnd ”exponator”, en kraftfull beräkningsdator (PC), samt kablage och fixturmekanik.

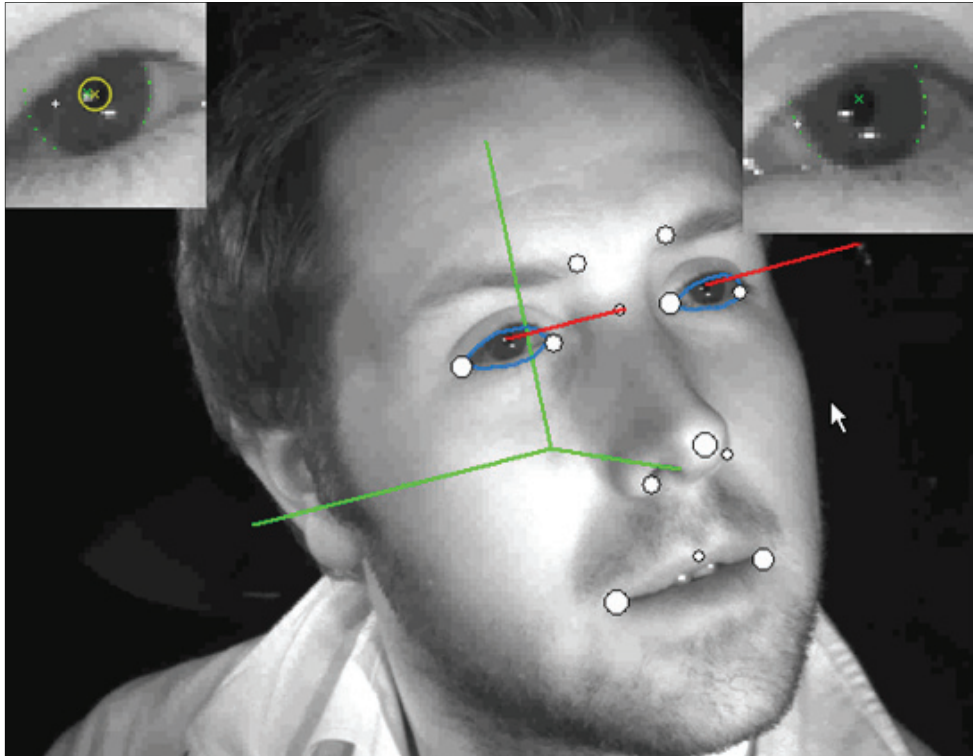


Figur 5: Schematisk beskrivning av Smart Eye-systemet med integrerad QATEP-funktionalitet.

Datorn tar emot en ström av bilder i realtid, processar dessa och ger som utsignal en mängd värden om huvudets position, rotation, blickriktning, ögonlockens läge, pupillens storlek, klassificeringar av blickbeteende som fixationer, sackader, blinkningar med mera.



Figur 6: Illustrativ bild som visar den visuella feedbacken från ett system med sex kameror.



Figur 7: Närbild av vyn från en kamera där särdragen som systemet typiskt följer är markerade med vita prickar. Även andra särdrag kan följas om något, t ex mungiporna, är skymda. Infällt visas ytterligare närbild på ögat som systemet använder för att hitta IR reflexerna i hornhinnan. Systemet bedömning av blickriktningen visas som vektorer ut från pupillen.



Figur 8: Monteringen av kamerorna i en av FLSC pilotstationer.



Figur 9: Närbild av en kamera samt IR-flash.

IR-flasharna använder sig av infraröda LED med en våglängd av 850 nm och en bandbredd på ca 50 nm. Varje flash ger ca 30 W/sr maxintensitet @ 100 mikrosekunder pulslängd @ t ex 60 Hz. Smart Eye-systemet ligger väl inom strålskyddsnormen IEC 62471. Mulvey, Villanueva, Sliney, Lange, & Donegan (2012) ger detaljerad information om skyddsnormer och hur exponeringen för användaren skall beräknas.

Standardsystemets komponentmått är följande:

- Kameror: 29x29x{70-90} mm inkl. optik.
- IR-flashar: 30x30x30 mm.
- Exponator: 130x80x25 mm, som kan placeras fritt inom 5+ m från kamerorna.

Framtida miniatyrisering är möjlig och viss utveckling, utanför projektet, pågår i den riktningen. Se vidare förslag på fortsatt utveckling i avsnitt 5.2.1.

### 3.4 Experimentell utvärdering i FLSC

När arbetspaket 2 och integration mellan Smart Eye Pro systemet och FLSC simulatorfunktionalitet var färdigställd genomfördes ett experiment för att utvärdera de taktiska möjligheterna med QATEP konceptet. Syftet med experimentet var att utvärdera QATEP-konceptet genom att demonstrera och mäta skillnaderna mellan att peka ut mål med tre olika målutpekningmetoder:

- Peka med flygplanet (HUD)
- Peka med huvudet (HMD)
- Peka med ögonen (QATEP)

#### 3.4.1 Metod

##### Uppgift

Den taktiska uppgiften under försöken var att försöksdeltagarna under flygning fick invisa och frikoppla målsökarna på tolv stycken generiska IR-robotar, prestandamässigt ungefär likvärdiga robottypen AIM-9X. Ett stridsflygplan med tolv robotar är för nuvarande orealistiskt, men denna beväpning valdes för att ge möjligheter till många skjutstillfällen och insamling av en större mängd data. Deltagarna flög fritt i ett stridsflygplan med JAS 39 liknande prestanda genom ett målområde där tolv datorgenererade mål flög i fördefinierade banor på höjder mellan 3000 och 30000 fot. Deltagarna var instruerade att visuellt avsöka området kring dem för att hitta dessa mål och därefter så fort som möjligt invisa en robotmålsökare mot dem. När IR målsökarens audioton indikerade upptäckt tryckte deltagaren på en knapp för att frigöra målsökaren på detta mål. Om målsökarfrigörandet var framgångsrikt var instruktionen att direkt avfyra roboten. Robotarnas målsökare kunde frigöras på mål som avvek upp till 90° från flygplanets siktlinje (dvs ”rakt fram”).



Figur 10: En av försöksdeltagarna avfyra en robot (strimman) mot ett mål under experimentet. Målet finns inom den för rapporten tillagda cirkeln.

## **Procedur**

När experimentet inleddes introducerades varje försöksdeltagare till ögonrörelsemätning och dess roll i experimentet. Därefter kalibrerades systemet för respektive deltagare innan de fick pröva på att använda de tre målutpekningssystemen för att få träning i systemen, scenariot och sina taktiska uppgifter. Under dessa övningsomgångar verifierades även kvalitén i ögonrörelsemätningen. Därefter fick de skrivna detaljinstruktioner innan sex försöksomgångar flögs i simulatören. Deltagarna uppmanades att genomföra sina uppgifter så fort som möjligt men med bibehållen hög prestation. De instruerades att inte vänta för att se effekten av sina skott utan gå vidare och söka efter nästa mål. Vid de tillfällen de inte kunde observera något mål kunde de titta ner på sina taktiska presentationsytor där alla mål presenterades för att undvika att de lämnade målområdet och därigenom påverka resultaten negativt. Varje försöksomgång pågick i maximalt fem minuter eller till dess att piloten avfyrat alla sina tolv robotar. Efter försöket fick deltagarna fylla i en enkät och genomgick en kort intervju. Den totala tiden för experimentet var cirka två timmar per deltagare.

## **Deltagare**

Elva försöksdeltagare flög i experimentet. Sex var aktiva eller före detta stridsflygare från svenska flygvapnet med JAS 39 erfarenhet. Fem var ingenjörer vid FLSC med omfattande simulatorerfarenhet. Medelvärde med avseende på flygtimmar för piloterna var 2271 timmar (1045 till 4525), dvs de var erfarna till mycket erfarna stridsflygare. Alla försöksdeltagarna var män och var mellan 30 och 60 år gamla, med ett medelvärde på 40,6. Deltagandet var frivilligt och de fick ingen kompensation för sitt deltagande.

## **Variabler**

Experimentet utformades för att utvärdera tre målutpekningssystemer eller sätt att invisa en IR målsökare, dvs den oberoende variabeln var målutpekningssystemet vilket varierades mellan HUD, HMD och QATEP-moderna.

I HUD-moden var robotmålsökaren slavad till centrum av flygplanets HUD, dvs i princip rakt i flygplanets nosriktning. För att invisa målsökaren mot ett mål behövde flygplanet manövreras så att målet gick att se genom flygplanets HUD.

I HMD-moden var målsökaren slavad till en förenklad HMD presentation, som representerades av en grön fyrkant som visades på domen i den riktning som försöksdeltagaren riktade sitt huvud, dvs i princip i näsans förlängning. Symbolik och inriktningshjälp som t ex utpekningssystem som vanligtvis förekommer i en HMD var inte inkluderat. För att invisa målsökaren mot ett mål behövde försöksdeltagaren rikta huvudet så att målet befann sig innanför den gröna fyrkanten.

I QATEP-moden var målsökaren slavad till försöksdeltagarens blickriktning. För att invisa mot ett mål behövde försöksdeltagaren rikta blicken mot målet.

Den huvudsakliga beroende variabeln i försöket, dvs det som registrerades för att se effekten, var responstid. Responstiden var den tid som förlöpte från det att försöksdeltagaren riktade blicken mot ett mål första gången till det att han försökte frigöra målsökaren på detta mål. Dessutom registrerades målets position i rymden när de upptäcktes. I HMD-moden registrerades även huvudriktning.

## **Experimentutformning**

Deltagarnas utgångsposition varierades genom att de startade norr, söder, öst eller väst om målen. De startade på 9000 fot och målområdet var rakt framför dem när respektive försöksomgång startade. Varje försöksdeltagare flög med alla tre målutpekningssystemer i en experimentutformning med så kallad inomgruppsdesign med upprepade mätningar. Varje målutpekningssystem användes i två separata försöksomgångar.

Totalt gjordes 656 giltiga registreringar av responstid. Under varje försöksomgång gjordes i genomsnitt 9,9 registreringar (656 / (3 målutpekningssystemer x 2 repetitioner x 11 försöksdeltagare)). Ordningen med avseende på försöksdeltagarnas exponering för tre moderna samt inflygningsriktningar var balanserad mellan deltagarna.

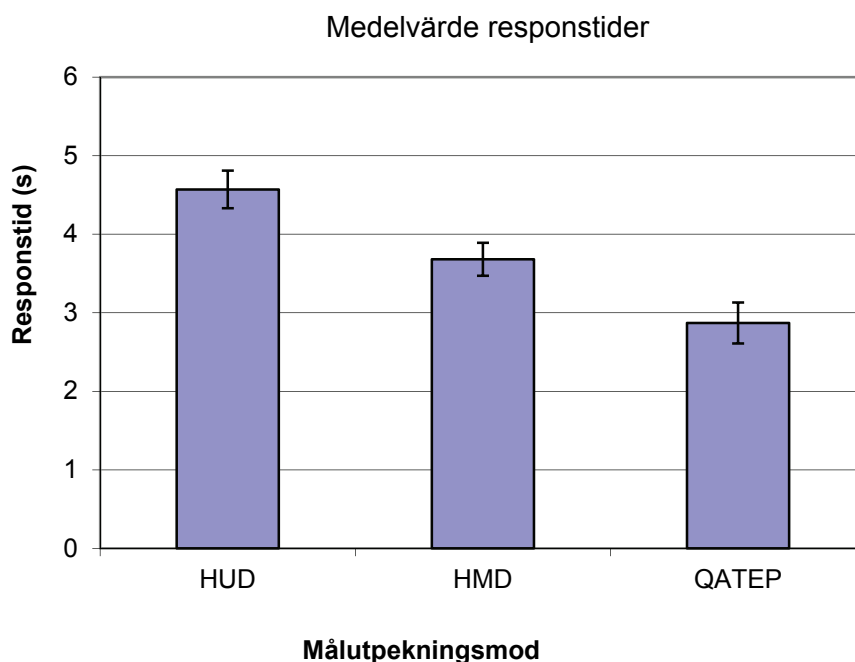
### 3.4.2 Resultat

#### Inlärningseffekter

Analys av responstiderna visade inte på några statistiskt signifikanta effekter som följd av antal flugna försöksomgångar ( $F(1,10)=0.04$ , icke signifikant), vilket visar att det inte fanns någon generell prestationsökning under senare försöksomgångar. Detta indikerar att åtgärderna för att minimera risken av försöksdeltagarna lärde sig scenariot, vilket skulle kunna snedvridera resultaten, var effektiva.

#### Responstid

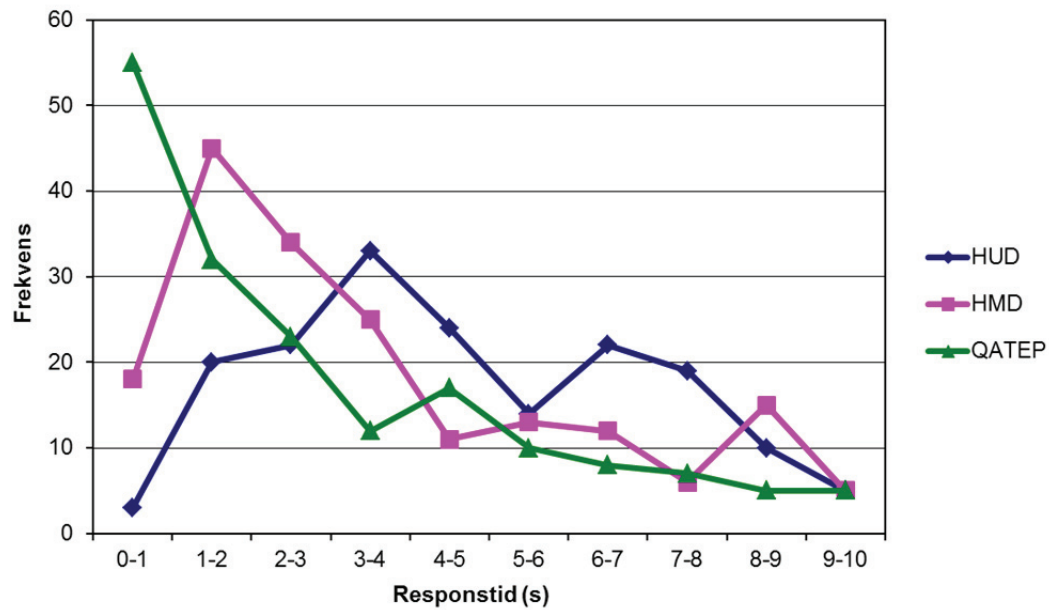
Responstidsdata analyserade med hjälp av den statistiska metoden variansanalys (ANOVA) för en försöksdesign med upprepade mätningar. Under analysen gjordes en logaritmisk transformering av data för att hantera den starka positiva skevheten i datamängden. Alla responstider som var längre än 10 sekunder, totalt 18% av datamängden, togs bort under analysen då i princip alla dessa berodde på frånvaron av audioton från målsökaren trots att försöksdeltagaren lyckats invisa målsökaren mot målet. Avsaknaden av audioton berodde antingen på att målet var för långt bort för att detekteras av målsökaren eller att målet befann sig i ett läge som gjorde att dess IR signatur var för låg. Borttagandet av denna del av datamängden påverkar inte utfallet statistisk mellan de tre olika målutpekningssmetoderna, men påverkar kvaliteten i data. Data togs bort eftersom det inte var målsökarprestanda som var i fokus för experimentet utan skillnaden mellan de olika målutpekningssmetoderna.



Figur 11: Analysen visar på statistiskt signifikanta skillnader mellan de tre målutpekningssmetoderna.

Analysen visar en statistiskt signifikant skillnad mellan responstider för de tre målutpekningssmetoderna ( $F(2,20)=24.4$ ,  $p<0.001$ ). Medelvärden visas i figur 11. Post-hoc analys med Scheffé-jämförelser visar att QATEP moden var statistiskt signifikant snabbare (0.81 sekunder dvs 22% i medel) än HMD moden ( $F(2,30)=10.8$ ,  $p<0.001$ ). HMD moden visar sig också vara statistiskt signifikant snabbare (0.89 sekunder dvs 19% i

medel) än HUD moden. Responstiderna för QATEP moden var 1.7 sekunder (37%) kortare än för HUD moden.

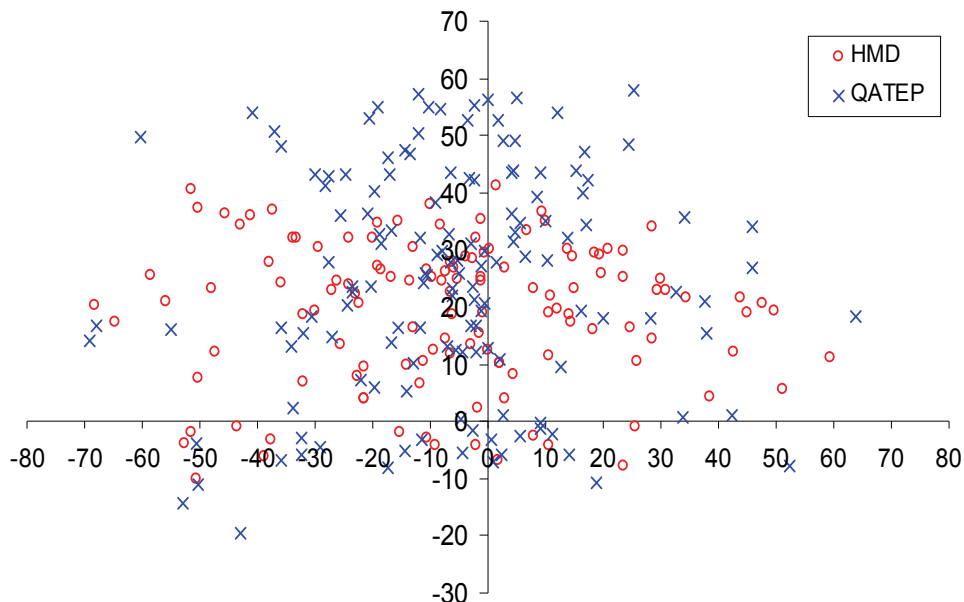


Figur 12: Frekvens av resultat per målutpekningmetod och responstid.

Fortsatt analys av responstiderna, indelat i intervall om sekunder, visat per målutpekningmetod redovisas i figur 12. Figuren visar hur QATEP moden har de flesta av sina responstider liggande i intervallet 0-1 sekunder där det också har det största antalet responstider, 55 st, medan HMD moden har 18 st och HUD moden 3 st. HMD moden har de flesta av sina responstider i intervallet 1-2 sekunder medan HUD oftast hamnar i intervallet 3-4 sekunder.

### Blick och huvudriktning

En analys av målets position vid tidpunkten för frigörande av målsökare för QATEP och HMD moderna visas i figur 13 för att visualisera skillnaderna i rymden inom vilken försöksdeltagarna låste på mål.



Figur 13: Målets position i omvärlden relativt det egna flygplanet vid tidpunkten för frigörande av målsökare. De röda ringarna visar var huvudet pekade vid denna tidpunkt för HMD moden medan de blå kryssen visar var blicken var riktad i QATEP moden.

Bara två fall med en huvudvridning i vertikalplanet på mer än 40° (båda på omkring 41°) registrerades i HMD moden, medan 38 registreringar över 40° gjordes i QATEP moden. För QATEP moden finns registreringar på upp till 60° vertikalt.

### Subjektiva kommentarer

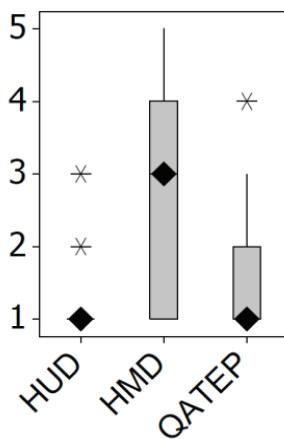
Följande subjektiva kommentarer från försöksdeltagarna (framför allt från de med JAS 39 erfarenhet) avgavs. Ordagrann återgivning nedan.

- ”Måste lära sig att utnyttja systemet ut i gränserna och inte flyga med flygplanet som man brukar göra”.
- ”Mycket mer avslappnad i denna mod (QATEP). Eventuellt behov av info om valt mål när tät målklunga. Mycket positiv. Nackpåfrestningen i experimentet kom i HMD moden där kanske kalibreringen gjorde det svårt att nå yttre gränserna i vyn. QATEP hade dock inte det problemet”.
- ”Behövde inte vrida nacken så mycket när jag hade QATEP jämfört med HMD. Enklare att ej behöva rikta in flygplanet. Roligt”.
- ”Är en bra idé men måste funka bra alla gånger. Synd att trackingen inte funkade klockrent. Kunde kört fler gånger”.
- ”Vanar sig till att flyga flygplanet mot målet. Förmodligen en tränings sak. Saknar visuell info. Engagerande och intressant försök”.
- ”Tror på detta projekt, fungerade över förväntan. Svårt att sortera ut vilket mål som målsökaren är frigjord mot när det ligger flera mål nära varandra. Tydligare IR toner behövs. Audio bör kunna användas mer för info om aktuellt mål, t ex avstånd, höjd, fart, ID. Ovan att flyga utan att behöva svänga in bakom målet. Nytt sätt att flyga på”.

### Skattningar

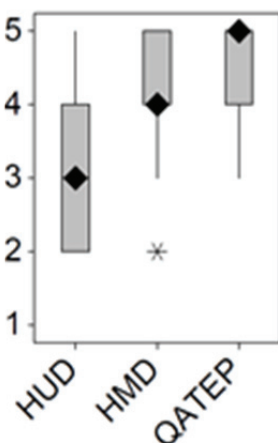
Efter att de flugit i de sex försöksomgångarna besvarade deltagarna ett antal frågor på femgradiga skalor.

Deltagarna ombads först skatta ansträngning för nacken för de tre målutpekingsmoderna. Se figur 14. Analys med den statistiska metoden Wilcoxon Signed Rank test visar att HMD moden upplevdes som mer ansträngande än HUD moden (Wilcoxon statistic=0.0,  $p<0.05$ ) och QATEP moden (Wilcoxon statistic=21.0,  $p<0.05$ ). Det fanns ingen statistisk skillnad mellan HUD och QATEP moderna (Wilcoxon statistic=0.0, icke signifikant).



Figur 14: Skattning av belastning på nacken (1=ingen ansträngning, 5=smärtsamt). Medianvärde visas med diamant medan grå stapel visar det interkvartila området. Stjärna visar enstaka avvikande datapunkt (sk outlier)

Försöksdeltagarna ombads också skatta sin effektivitet med avseende på genomförande av den taktiska uppgiften för respektive målutpekingsmetod. Se figur 15. Wilcoxon Signed Rank test användes även här för att jämföra svaren. Analysen visar att effektiviteten under försöksomgångarna med QATEP moden upplevdes som mer effektivt än då HUD moden användes (Wilcoxon statistic=6.0,  $p<0.05$ ). Även i HMD moden upplevdes effektiviteten som högre än med HUD. Även om medianen var högre för QATEP moden jämfört med HMD moden fanns ingen statistiskt signifikant skillnad mellan dessa två alternativ (Wilcoxon statistic=8.5, icke signifikant).



Figur 15: Skattning av effektivitet i taktiskt utförande (1=inte alls effektivt, 5=mycket effektivt). Medianvärde visas med diamant medan grå stapel visar det interkvartila området. Stjärna visar enstaka avvikande datapunkt (sk outlier)

### 3.4.3 Diskussion

Analysen av huvud- och blickriktning vid frigörande av målsökare som visas i figur 13 visar ett tydligt tröskelvärde vid 40° i positiv vertikal utvridning, dvs att titta upp relativt pilotstationens instrumentering, vilket dock inte behöver motsvara ”upp” relativt marken. Detta värde sammanfaller relativt väl med den övre gränsen för bekväm utvridning vilket ligger kring 30° (Woodson, Tillman & Tillman, 1992; Openshaw & Taylor, 2006) men ligger långt från den maximala utvridningen som är cirka 70° (Windle, 1980). QATEP systemet möjliggör ytterligare cirka 20 graders utvridning. Detta värde begränsas av att dessa värden ligger på utkanten av vad som gick att registrera med den uppsättning av kamerorna som användes under försöket.

Experimentet genomfördes utan någon simulering av G-krafter och utan ett autentiskt HMD system. Därför utsattes försöksdeltagarna inte för någon extra vikt eller belastning på huvudet och nacken eller förskjuten tyngdpunkt som de skulle ha gjort med en HMD under skarp flygning vilket är kritiska faktorer vid HMD utformning (Melzer, Brozowski, Letowski, Harding & Rash, 2009). Dessa faktorer leder till ökad belastning på nacken och förhöjd risk för nackskador (Perry & Buhrman, 1997; Coakwell, Blosswick & Moser, 2004). Horisontell höger-vänster rotation av huvudet utanför ±35° och positiv vertikal rotation bortanför 30° kan anses som riskabel i situationer med hög G-belastning (Coakwell m fl, 2004). Givet dessa belastningsfaktorer är det mindre troligt med frigörning av målsökare i HMD moden i den utsträckning som figur 13 visar. En mer trolig begränsning bör vara ±30° horisontal rotation och 30° i positiv vertikal rotation under normala flyglägen och även mer begränsat, kanske upp till ±15° horisontalt, under hög G-belastning. Det mänskliga ögat kan rotera ungefär ±45° mot ett visuellt mål (Stahl, 1999) utan huvudvridning. Ett målutpekningssystem baserad på blickriktning som QATEP bör kunna fungera inom dessa gränser utan huvudrörelser, t ex under höga G manövrar. Systemet bör kunna användas minst upp till ±75° givet de ovan angivna HMD gränserna om QATEP används som komplement till HMD. Om QATEP används fristående är möjligheterna att röra huvudet det samma som idag, dvs som under flygning bara med flyghjälm då i princip ingen ökad vikt tillkommer. Se avsnitt 5.1 om miniatyrisering av två kameror som troligen behövs för att få tillfredställande ögonrörelsemätning i alla situationer.

Experimentet visar att målutpekning i en kurvstridssituation (WVR, Within Visual Range) är signifikant snabbare i QATEP moden än i HMD eller HUD moderna vilket visas i figur 11. Implikationerna av snabbheten hos ett blickbaserat system går dock längre än kortare medelvärdestider. I en jaktstrid uppkommer och skapas ett antal skjuttilfällen eller skjutlägen beroende på piloternas manövrering och förmåga. Dessa skjutlägen är av olika längd, men kan mot en manövrerande motståndare kan ofta vara så korta som två sekunder. Desto fler av dessa skjutlägen som piloten hinner fånga och agera i ger desto fler möjligheter att få ett överläge eller vinna striden. Ur figur 12 framgår att antalet skjuttilfällen under flygning med QATEP som var på under en sekund var nästan tre gånger så vanliga som under flygning med HMD medan de knappt alls förekom under flygning med HUD.

Sammanfattningsvis visar experimentet att ett blickriktningsbaserat system som QATEP gör möjlighet till snabbare invisning och pålåsning och fler pålåsningar i snabba skjutlägen. QATEP medger större utvridningar av huvudet och kommer ge avsevärt lägre belastning på nacken. Experimentet har visat QATEP konceptets taktiska värde, åtminstone för en del av de tänkbara funktionerna och konkretiserat många detaljer.

### 3.5 Vetenskaplig publicering

Projektet har inom arbetspaket 3, utöver genomförandet av experimentet och arbetet med föreliggande slutrapport, författat ett bidrag till en vetenskaplig konferens och fått det accepterat för presentation. Konferensen är Human Factors and Ergonomics Society 56th Annual Meeting och hålls den 22:a till 26:e oktober 2012 i Boston. HFES ([www.hfes.org](http://www.hfes.org)) är världens största sammanslutning för forskare och utvecklare inom Human Factors området och konferensen är en av de större i världen. Mellan 1000 och 1500 personer förväntas närvara. Titel och sammanfattning finns i rutan nedan och bidraget kommer att publiceras i Proceedings of Human Factors and Ergonomics Society (HFES) 2012.

#### **Eye Tracking-Based Target Designation in Simulated Close Range Air Combat**

Stephen D. O'Connell<sup>1</sup>, Martin Castor<sup>1</sup>, Jerry Pousette<sup>2</sup>, Martin Krantz<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Swedish Defence Research Agency (FOI), Stockholm, Sweden

<sup>2</sup> Milso AB, Stockholm, Sweden

<sup>3</sup> Smart Eye AB, Gothenburg, Sweden

The ability to lock on targets as quickly and easily as possible while maintaining speed and a tactically advantageous position is crucial to success in air combat. The capability of remote eye tracking systems has recently improved significantly and has opened up new possible applications. A modern eye-tracker was integrated in an advanced flight simulator environment and an experiment was conducted. The independent variable was target designation mode that was varied between: Head-Up Display (HUD), Helmet Mounted Display (HMD) and a solution based on eye tracking. Eleven participants flew in the experiment and mean times to designate targets indicate significant advantages for the eye tracking based solution.

## 4 Resultatspridning

Under projektets livslängd har projektet vid tre tillfällen organiserat mer omfattande presentationer av QATEP konceptet och samtidigt förevisat den mobila konceptdemonstratorn.

- TU JAS 39 (110811). 5 piloter vid TU JAS 39 deltog.
- FMV (120501). Bland deltagarna fanns FMVs projektledare för JAS 39 HMD utveckling och FMVs stf chefsingenjör för JAS 39.
- HKV FTS A0 (120626). Bland deltagarna fanns chefen för Flygtaktiska Stabens kravställningsenhet (FTS A0) och den krigsförbandsansvarige för JAS 39.

Genom dessa presentationer och experimentet i FLSC har därigenom 15 piloter med JAS 39 erfarenhet och 15 ingenjörer som arbetar med JAS 39 fått QATEP konceptet och resultaten presenterade för sig. Kommentarererna har varit genomgående positiva.

## 5 Rekommendationer

Sammanfattningsvis anser projektet att QATEP konceptet visat sig vara innovativt, livskraftigt och kostnadseffektivt. En vidareutveckling kan ge svensk flygindustri en möjlighet att utveckla ett kraftfullt system som kan konkurrera internationellt både som komplement till andra system eller som fristående system. QATEP konceptet har utvecklats vidare och definierats tydligare. QATEP konceptet har mötts av mycket positiva reaktioner från alla stridspiloter som deltagit i studien eller fått koncept, experimentresultat och demonstrator presenterad för sig. Möjligheterna att styra system när ögonrörelsemätning väl integrerats är många.

För en slutanvändare, dvs en pilot, kan QATEP systemet ge taktiska fördelar i flera olika taktiska roller och funktioner. Ett system som QATEP tillsammans med en kvalificerad kurvstridsrobot neutraliserar i hög utsträckning skillnader i svängprestanda mot ”bättre” plattformar där motståndaren inte har QATEP eller HMD. Detta då piloten inte behöver manövrera flygplanet till läge för inlåsning av robot eller radar vid utnyttjande av hjälmbaserade siktssystem i lika hög grad som när piloten måste invisa med HUD.

I jämförelse med andra system med liknande funktioner är kostnaden för hårdvaran i QATEP endast en bråkdel. Konceptet som projektet ser det i dagsläget innebär inget servicebehov på den pilotplacerade utrustningen utan vid felfunktion byts hela modulen. Utrustningen är robust och behöver inte handhas på annat sätt än den vanliga flygutrustningen.

QATEP systemet förväntas ge piloten ett system med högre komfort och mindre risk för belastningsskador jämfört med en tyngre HMD lösning.

Projektets rekommendation är därför att QATEP konceptet och systemet fortsätter att utvecklas och föras närmare operativ utvärdering i ett nästa steg, QATEP 2.

### 5.1 Finansiering och kunder

Flera olika finansiärer och finansieringsformer för QATEP projektets fortsättning kan identifieras:

- VINNOVA inom det kommande NFFP 6 programmet. Denna lösning resulterar dock i uppehåll i utvecklingen till dess att NFFP 6 projekt startas upp vilket riskerar att momentum vad gäller utvecklingen förloras. Projektdeltagarna har under projektet inte stött på några motsvarande projekt vilket antyder att konkurrensmässiga fördelar för svensk industri finns om projektets momentum bibehålls.
- Försvarsmakten/Försvarets Materielverk skulle kunna finansiera fortsatt utvecklingen inom ramen för något materielsystem som stöder JAS 39 eller annat flygsystem. QATEP utvecklingen skulle kunna genomföras som komplement eller alternativ till HMD utvecklingen.
- SAAB Aeronautics eller andra SAAB bolag bör kunna se intressanta möjligheter för QATEP konceptet både för JAS 39 och i andra system som t ex olika typer av farkoster utan operatör ombord, där operatören på marken behöver stödjas.
- Utländska kunder, t ex flygvapen i flera länder, bör vara intresserade av QATEP som ett alternativ till HMD lösningar.

## 5.2 Förslag fortsatt verksamhet

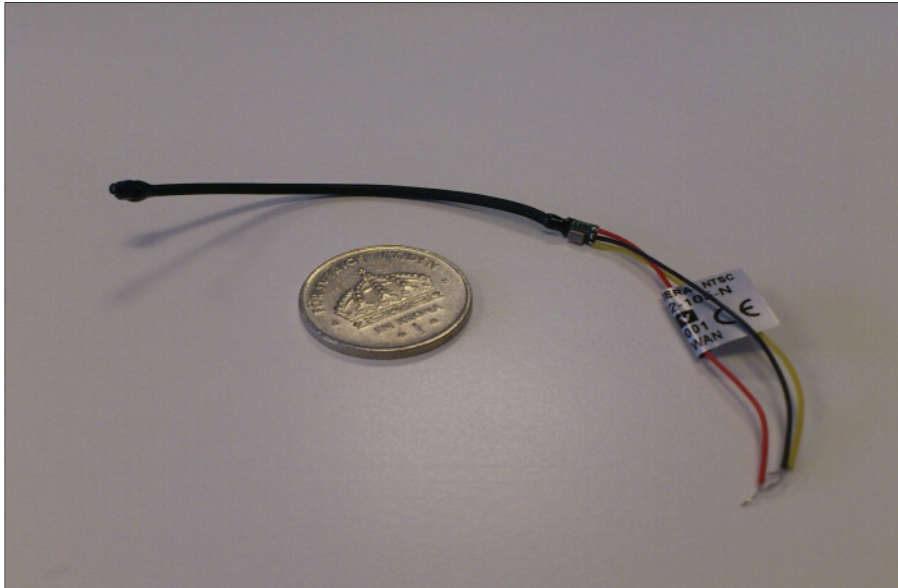
Under rubrikerna nedan beskrivs förslag till verksamhet som bör ingå i fortsatt QATEP utveckling.

### 5.2.1 Miniaturisering

I QATEP projektets inledning utreddes om ett antal kameror monterade i kabinen på en JAS 39 skulle räcka för att ge tillräckligt goda mätvärden för att uppfylla de krav som uppgifterna och projektets provflygare ställde. Under arbetet i arbetspaketet mognande insikten att det åtminstone i en JAS 39 kabin blir svårt att montera kameror i tillräckligt mängd med nödvändig placering. I andra flygsystem med rymligare kabin är möjligheterna dock större. I projektet har därför ett alternativ med två miniaturiserade kameror monterade på hjälmen diskuterats och i begränsad omfattning studerats. Fyra kameror i kabinen bedöms behövas för att beräkna huvudposition/hjälmsposition. För att kunna beräkna blickriktningen behövs då två kameror på hjälmen. Utvecklingen av miniaturiserade kameror är stark och projektet har därför byggt en fysisk ”mock-up” av hur det skulle kunna se ut. Se figur 16 och figur 17. QATEP systemet integreras här med den ordinarie flyghjälmen.



Figur 16: Utkast på lösning med två miniatyrkameror monterade nära ögonen. Den streckade röda ovalen markerar den förväntade extra modulen på masken. I denna modul finns två kameror av den storlek som syns i figur 17.



Figur 17: Dagens minikameror.

Det QATEP projekt som nu avslutas har enbart diskuterat behov, preliminär utformning samt initialt studerat möjligheterna kring miniaturisering. I fortsatt QATEP utvecklingen behöver de två miniatyrkamerorna och algoritmer utvecklas och testas i Smart Eye labbrigg.

### 5.2.2 Integration i flygplan

För att utveckla konceptet ytterligare och föra det vidare mot flygprov, produktifiering och skarpt system behöver integration med något flygsystem påbörjas.

Detta är en mycket långsam process med många tillstånd och godkännande längs vägen. Ett första steg skulle vara att kontakta FMV Prov för att klargöra möjligheterna med att genomföra testintegration i ett av deras SK60 flygplan.

### 5.2.3 Flygprov

Skarp flygning med ett QATEP system relativt tidigt under en fortsatt QATEP utveckling rekommenderas av flera anledningar:

- Vissa delar av konceptet kan bara studeras i luften beroende på den visuella upplösningen i dagens simulatorer.
- Konceptet är relativt moget och många detaljerade tekniska integrationsfrågor kommer först när man har ett skarpt system eller praktiskt problem framför sig.
- Miljön under flygning innehåller ett antal faktorer som kan påverka ögonrörelsemätningens kvalitet som ljus, vibrationer och G-påverkan. Smart Eye systemet är dock utformat för att kunna användas i svåra mätmiljöer och används redan i andra studier i USA t ex i flygplan.
  - Ljus. Eftersom systemet använder sig av egen belysning i form av flashar samt bandpassfilter som släpper igenom frekvensen som flasharna lyser med, så är man oberoende av omgivningsljus. Detta betyder att systemet fungerar även på natten. Systemet är även tämligen opåverkat av varierande omgivningsljus.
  - Vibrationer. Systemet är relativt okänsligt för vibrationer så länge kamerorna vibrerar med varandra. Om kamerorna vibrerar inbördes så

blir det lite känsligare, eftersom kamerorna är kalibrerade i förhållande till varandra. Det går dock att ta hänsyn till detta i algoritmerna och på så sätt minimera vibrationernas inverkan på systemets prestanda. I markbundna fordon har inte vibrationer varit ett problem.

- G-krafter. Ansiktets utseende påverkas av de G-krafter som piloten utsätts för, och detta kan i sin tur påverka mätningarna. För mätfall utanför en flygplanskabin används ögonvrår samt en delmängd av ögonbryn, näsborrar, nästipp, mungiporna, öronen och läpparna. Ögonvråarna och näsborrarna är de viktigaste punkterna och dessa påverkas mindre av G-krafterna än exempelvis mungipor, som är de punkter som sannolikt påverkas mest. Mungiporna och näsborrarna täcks dock för en stridspilot av andningsmasken. Då masken är rigid bör märkpunkter på denna kunna följas med gott resultat. Mätningar i den dynamiska flygsimulatorens (DFS) i Linköping kan genomföras innan skarpa flygprov genomförs för att få mer information om hur ansiktet förändras, även om konceptet bedöms kunna fungera.

#### 5.2.4 Ytterligare gränssnittutformning

Det finns en mängd detaljer att fortsatt studera vad gäller t ex utformning av audioinvisningen. Dessa detaljer är viktiga för slutgiltig funktion och acceptans från piloterna men ligger dock efter verksamheten kring miniatyrisering och flygprov. Eftersom bara delar av QATEP konceptet studerats i experimentet finns också gränssnittsfrågor som t ex hur detaljer i utpekningen bör fungera under spaning eller attackuppdrag.

#### 5.2.5 Ögonrörelseanalys för forskning

Ögonrörelsemätning är ett brett område som rymmer många aspekter. I QATEP projektet är det blickriktning som interaktionsmetod som utvecklats. Om blickriktningsutrustning finns installerat i ett flygplan finns det dock en mängd intressanta forskningsstudier som möjliggörs. Data kan analyseras för att leta efter optimala visuella sökmönster och se skillnader mellan erfarna och mindre erfarna piloter. Data av denna typ är också användbara för gränssnittsdesign av nästa generations presentationsytor.

Intressanta parametrar att studera inkluderar pilotens visuella sökmönster, huvudrörelsernas frekvens och amplitud, samt andel av tiden som blicken riktas de olika presentationsytorna i kabinen, mot HUD respektive omvärlden. I Holmqvist, Nyström, Andersson, Dewhurst, Jarodzka & Van de Weijer (2011) presenteras en lång rad ögonrelaterade mått som kan användas för att utvärdera t ex prestation, systemutformning, uppmärksamhet eller träningseffekter.

## 6 Referenser

- Adam, E.C. (1994). Head-up displays vs. helmet-mounted displays: The issues. In D.G. Hopper (Ed.), *Proceedings of SPIE 2219 Cockpit Displays*.
- Alfredson, J., Nählinder, S., & Castor, M. (2004). Measuring eye movements in applied psychological research – five different techniques – five different approaches. FOI-R--1406--SE. FOI Ledningssystem, Linköping.
- Castor, M., Hanson, E., Svensson, E., Nählinder, S., LeBlaye, P., MacLeod, I., Wright, N., m fl (2003). GARTEUR Handbook of Mental Workload Measurement. Group of Aeronautical Research and Technology in Europe Technical Paper 145.
- Coakwell, M.R., Bloswick, D.S., & Moser, R. (2004). High-Risk Head and Neck Movements at High G and Interventions to Reduce Associated Neck Injury. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 75 (1), 68-80.
- Duchowski, A. (2007). *Eye tracking methodology: theory and practice*. London: Springer-Verlag.
- Franck, D., McIntire, J., Marasco, P., & Havig, P. (2009). Current and Future Helmet Mounted Displays for Piloted Systems. I P. Marasco, P. Havig, S. Jennings, & T. Harding (Eds.), *Proceedings of SPIE Vol. 7326, 73260C Head- and Helmet-Mounted Displays XIV: Design and Applications*. doi:10.1117/12.820204
- Havig, P., Goff, C., McIntire, J., & Franck, D. (2009). Helmet-mounted displays: why haven't they taken off? I P. Marasco, P. Havig, S. Jennings, T. Harding (Eds.), *Proceedings of SPIE 7326, 73260B Head- and Helmet-Mounted Displays XIV: Design and Applications*. doi:10.1117/12.820202
- Holmqvist, K., Nyström, M., Andersson, R., Dewhurst, R., Jarodzka, H., & Van de Weijer, J. (2011). *Eye Tracking – A Comprehensive Guide to Methods and Measures*. Oxford: Oxford University Press.
- Knight, J. F. (2007). Effect of Head-Mounted Displays on Posture, *Human Factors: The Journal of the Human Factors and Ergonomics Society*, vol. 49, no. 5, pp. 797-807.
- Majaranta, P., Aoki, H., Donegan, M., Witzner Hansen, D., Paulin Hansen, J., Hyrskykari, A., & Rähkä, K.-J. (2012). *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking*. Hershey, PA: Medical Information Science Reference (IGI Global).
- Melzer, J.E., Brozowski, F.T., Letowski, T.R., Harding, T. H., & Rash, C. E. (2009). Guidelines for HMD design. I C. Rash, M. Russo, T. Letowski, & E. Schmeisser (Eds.), *Helmet-mounted Displays: Sensation, Perception, and Cognition Issues*. Fort Rucker, AL: U.S. Army Aeromedical Research Laboratory.
- Mulvey, F., Villanueva, A., Sliney, D., Lange, R., & Donegan, M. (2012). Safety Issues and Infrared Light. I P. Majaranta, H. Aoki, M. Donegan, D. Witzner Hansen, J. Paulin Hansen, A. Hyrskykari, & K.-J. Rähkä, K.-J. (Eds.) *Gaze Interaction and Applications of Eye Tracking*. Hershey, PA: Medical Information Science Reference (IGI Global).
- O'Connell, S., Rydbeck, B., Castor, M., Pousette, J., Englund, B., Gejke, M., & Krantz, M. (2011). *QATEP: Quick Access Target Eye Pointer – Förstudierapport* (FOI-R--3198--SE). Stockholm: Swedish Defence Research Agency (in Swedish).
- Olson, J.L., Arbak, C.J., & Jauer, R.A. (1991). *Panoramic Cockpit Control and Display System - Volume II*. PCCADS2000 (AFWAL-TR-88-1038). Wright-Patterson AFB, OH: Wright Laboratory.
- Openshaw, S., & Taylor, E. (2006). *Ergonomics and Design - A Reference Guide*. Retrieved from <http://www.allsteeloffice.com/NR/rdonlyres/3B6AC489-FC78-4B78-895A-0A5D8A9E888A/0/ErgoHandbook.pdf>
- Perry, C.E. & J.R. Buhrman (1997). Head Mounted Display (HMD) Head and Neck Biomechanics. In J.E. Melzer & K. Moffitt (Eds.), *Head Mounted Displays: Designing for the User*. New York, NY: McGraw-Hill.
- Rash, C. E., Russo, M., Letowski, T., & Schmeisser, E. (Eds.). (2009). *Helmet-mounted Displays: Sensation, Perception, and Cognition Issues*. Fort Rucker, AL: U.S. Army Aeromedical Research Laboratory.

- Stahl, J.S. (1999). Amplitude of human head movements associated with horizontal saccades. *Experimental Brain Research*. 126 (1), 41–54.
- Windle, W.F. (1980). *The spinal cord and its reaction to traumatic injury: Anatomy, Physiology, Pharmacology, Therapeutics*. New York: M. Dekker.
- Woodson, W., Tillman, B., & Tillman, P. (1992). *Human Factors Design Handbook*. New York, NY: McGraw Hill.