

# Utvärdering av visuell, taktil och bimodal display i simulerad helikopter

PATRIK LIF, PER-ANDERS OSKARSSON, JOHAN HEDSTRÖM,  
PETER ANDERSSON, BJÖRN LINDAHL & ANNA TULLBERG



Foto: Bryanna Poulin US Army



Patrik Lif, Per-Anders Oskarsson, Johan  
Hedström, Peter Andersson, Björn Lindahl & Anna  
Tullberg

## Utvärdering av visuell, taktil och bimodal display i simulerad helikopter

Titel	Utvärdering av visuell, taktil och bimodal display i simulerad helikopter
Title	Evaluation of visual, tactile and bimodal display in simulated helicopter
Rapportnr/Report no	FOI-R--3650--SE
Månad/Month	Mars/March
Utgivningsår/Year	2013
Antal sidor/Pages	25 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
FoT område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E36041
Godkänd av/Approved by	Christian Jönsson
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

Sverige har idag helikoptrar för medicinsk evakuering i Afghanistan och genomför flyguppdrag i en miljö där sikten riskerar att försämrans kraftigt av uppvirvlande sand, s.k. brown-out. Olycksstatistik från NATO visar tydligt att flygsäkerheten kan äventyras vid start och landning när sand virvlar upp och ett av de största problemen är att helikoptern riskerar att driva i sidled utan att piloten uppfattar det. I simulatorstudien som presenteras här undersöktes om införandet av displayer som visar drift i sidled påverkar prestationen avseende att undvika drift i sidled, kontroll av höjd, hastighet och kurs. Grunddisplay samt tre olika displaykonfigurationer för att indikera drift i sidled, visuell, taktil- och bimodal display användes i denna simulatorstudie som genomfördes med noviser utan piloterfarenhet. De viktigaste slutsatserna av detta experiment var att användning av samtliga tre driftdisplayer medförde förbättrad prestation avseende kontroll av drift i sidled och att prestationen i detta avseende var likvärdig med samtliga tre driftdisplayer. Detta visar på möjligheterna att använda taktil och bimodal information som komplement till visuell information, vilket kan utnyttjas för att avlasta synsinnen för andra parallella uppgifter under flygning.

Nyckelord: Display, bimodal, multimodal, taktil.

## Summary

Sweden, and many other countries, uses helicopters in Afghanistan to conduct medical evacuations. In such environments the probability of degraded visual environments due to brown-out is high. Statistics from NATO clearly shows that safety is a problem during start and landing in brown-out situations, and one of the major problems is lateral drift unnoticed by the pilot. In the simulator study presented here, the use of drift displays was investigated concerning performance of lateral drift, control of height, speed and heading. One basic display with no drift information and three drift displays (visual-, tactile, and bimodal) were used. The most important results from the study show that the use of any of the three drift displays improved performance and that the improvement for lateral drift were the same irrespective of drift display. This indicates that a tactile or bimodal display potentially can be used as a complement to the visual display to disengaging vision for other parallel tasks in the helicopter.

Keywords: Display, bimodal, multimodal, tactile.

## Innehållsförteckning

<b>1</b>	<b>Inledning</b>	<b>7</b>
1.1	Syfte .....	8
<b>2</b>	<b>Metod</b>	<b>9</b>
2.1	Deltagare.....	9
2.2	Utrustning.....	9
2.3	Procedur och design .....	11
<b>3</b>	<b>Resultat</b>	<b>14</b>
3.1	Kvantitativa prestationsmått.....	14
3.1.1	Drift i sidled .....	14
3.1.2	Avvikelse i höjdled .....	14
3.1.3	Avvikelse i hastighet .....	15
3.1.4	Avvikelse kurshållning.....	16
3.2	Subjektiva skattningar .....	17
3.2.1	Uppfattning av displayernas information.....	17
3.2.2	Förståelse av informationen.....	18
3.2.3	Informationens noggrannhet.....	18
3.2.4	Trygghet.....	18
3.2.5	Fånga uppmärksamhet.....	19
3.2.6	Mental arbetsbelastning.....	19
3.2.7	Obehag av användning.....	19
3.3	Sammanfattning av resultat .....	19
<b>4</b>	<b>Diskussion</b>	<b>21</b>
<b>5</b>	<b>Slutsatser</b>	<b>23</b>
<b>6</b>	<b>Referenser</b>	<b>24</b>





# 1 Inledning

Sverige har idag helikoptrar för medicinsk evakuering (MEDEVAC) i Afghanistan och genomför flyguppdrag i en miljö där sikten riskerar att försämrans kraftigt av uppvirvlande sand, s.k. brown-out (Albery, 2012; Colucci, 2007; Whitehouse, Wachpress, & Quackenbush, 2010). Även om piloter och övrig besättning tränat i liknande miljöer (Försvarsmakten, 2011) så finns det en uppenbar risk att piloten förlorar uppfattningen om var i luften helikoptern befinner sig när sikten försämrans (Cheung, 2004). Olycksstatistik från NATO (Albery, 2012) visar tydligt att flygsäkerheten kan äventyras, speciellt vid start och landning när sand virvlar upp. Ett av de största problemen är att helikoptern riskerar att driva i sidled utan att piloten uppfattar det, vilket i värsta fall kan leda till haveri. Det finns idag inget färdigt tekniskt system för att lösa detta problem. Åtminstone tre områden bör beaktas när det gäller hur detta problem skall lösas: sensorer i helikoptern (Albery, 2012; Seidel, Schwartz, & Kielhorn, 2008), gränssnitt för att presentera informationen från sensorerna, besättningens samarbete och procedurer vid start respektive landning (Albery, 2012; Szoboszlaj et al., 2010). Fokus i denna rapport och inom projektet Intuitiva gränssnitt ligger på gränssnitt och human factors-frågor medan frågor kring sensorer och besättningens procedurer beaktas men utreds inte närmare.

Gränssnitt i helikopter är traditionellt sätt visuella (och delvis auditiva) av typen head-up, head-down eller hjälmmonterad. Det finns idag en utveckling av visuella gränssnitt (Peinecke, Knabl, Schmerwitz, & Döhler, 2012; Szoboszlaj, Albery, Turpin, & Neiswander, 2008) för att underlätta landning i visuellt krävande miljöer. Ett alternativ till utvecklingen av visuella displayer är taktila displayer (Eriksson et al., 2006; Lif & Oskarsson, 2012; Van Erp, 2007; Van Erp & Self, 2008), där syftet är att avlasta det visuella sinnet genom att med vibrerande taktorer i en väst eller i ett bälte presentera information mot kroppen. Om taktil presentation kan presenteras på ett sådant sätt att piloten kan uppfatta helikopterns rörelser, lika bra eller bättre än med hjälp av en visuell display, så kan det taktila alternativet komplettera befintliga visuella displayer. Detta är speciellt intressant eftersom en taktil display inte kräver visuell uppmärksamhet, och ger då piloten möjlighet att titta ut genom helikoptern, t.ex. för att fokusera på landningsplatsen.

Projektet Intuitiva gränssnitt, i vilket detta arbete genomförs, genomför forskning avseende informationspresentation till olika sinnesmodaliteter, exempelvis genom visuella, taktila, auditiva, bi- och multimodala gränssnittslösningar (Lif & Oskarsson, 2012). Målet är att taktila displayer ska kunna användas som komplement till visuella displayer. Frågan uppkommer då om hur visuella, taktila och eventuellt auditiva displayer bör kombineras i s.k. bi- eller multimodala gränssnitt. Idag finns inga klara riktlinjer för hur detta ska göras och därför bedriver projektet verksamhet, utöver den praktiska forskningen med utvärdering av displayer, att ta fram generella riktlinjer som kan vägleda designprocessen av displayer inom flera olika områden (t.ex. helikopter, stridsflyg, UAV och stridsfordon). Det är viktigt att den information som presenteras passar ihop och enkelt kan förstås av användaren. När det gäller visuella displayer så är det att föredra att de komponenter av informationen som behövs för att lösa en specifik uppgift finns nära varandra (spatial närhet) så att användaren inte behöver leta efter informationen på flera olika displayer på olika platser i cockpit (Haskell & Wickens, 1993; Wickens & Carswell, 1995). Förslaget om spatial närhet är inte direkt tillämpligt när det gäller bi- eller multimodala gränssnitt eftersom informationen då presenteras till olika modaliteter. Däremot så är den spatiala dimensionen viktig när det gäller kodningen av information i respektive gränssnitt, t.ex. att vänster i en visuell display motsvarar vänster i en taktil display. Olika modaliteter har olika lämplighet beroende på vilken typ av information som ska presenteras. Känslan är lämplig för att påkalla uppmärksamhet och förstå riktningen till ett objekt (Lee & Starner, 2010; Van Erp & Self, 2008), men att förstå avstånd till objektet med hjälp av känslan är svårare. Med hörseln så kan både riktning och i viss utsträckning avstånd uppfattas men detta kräver 3D audio displayer (Carlander & Kindström, 2004; Ericson & McKinley, 1997). Dock kvarstår problem med

sammanblandning av det som hörs rakt framför eller rakt bakom användaren. Visuell presentation är det mest beprövade sättet att presentera information i olika system, men det finns ett uppenbart problem med visuell överbelastning eftersom mycket information presenteras visuellt (Curtis & Jentsch, 2010; Deveans & Kewlwy, 2009). Ett problem är att användaren tittar på fel ställe och därmed inte uppfattar informationen, t.ex. en varning eftersom uppmärksamheten riktas fel (Jarmasz, Herdman, & Johannsdottir, 2005; Wickens & Alexander, 2009). Det finns flera sätt att påkalla uppmärksamhet (t.ex. att en symbol blinkar), eller att underlätta för användaren att snabbt kunna urskilja en viss information från annan (Chun & Wolfe, 2001; Ware, 2000; Wolfe, 2000). En metod för att undvika problemet med visuell överbelastning är att presentera viss information taktilt för att på så sätt påkalla användarens uppmärksamhet.

Inom filmbranschen används ibland begreppet visuellt momentum (Bennett & Flach, 2012; Hochberg & Brooks, 1978; Woods, 1984), som syftar till att skapa en visuell förståelse mellan olika scener för att tittaren ska kunna hänga med i filmen. Filmskaparen räknar med att betraktaren har en förståelse för omvärlden som kan användas för att sätta samman olika scener. En scen i filmen ska ge den som tittar en upplevelse som motsvarar vad han eller hon själv skulle ha kunnat se i den aktuella situationen. När betraktaren fått veta det han eller hon behöver veta i den aktuella situationen så kan filmskaparen byta scen, eller ge betraktaren ny information från en annan kameravinkel (Hochberg & Brooks, 2007). Inom displaydesign används samma begrepp och syftar då på att visuella displayer i så stor utsträckning som möjligt bör designas för att användaren ska kunna extrahera information från olika displayer och mentalt sammanställa informationen till en helhet. Eftersom visuellt momentum syftar på det som vi ser så är begreppet inte helt lämpligt för multimodala gränssnitt, utan vi föreslår därför istället ett nytt begrepp som vi kallar perceptuellt momentum (Lif, Svenmarck, & Oskarsson, 2012). Perceptuellt momentum innebär att överensstämmande kodning av redundant information i bi- och multimodala displayer ger ökad intuitiv förståelse av informationen och därigenom bidrar till förbättrad prestation. I en visuell display i en helikopter så kan t.ex. drift och hastighet visas relativt enkelt med en dynamisk vektor, dvs. genom att en linje som pekar i den riktning som helikopterns driver blir längre när drifhastigheten ökar. I en taktill display så kan motsvarande information presenteras genom att taktorer vibrerar i den riktning som helikoptern driver och vibrationernas frekvens kan motsvara driftens hastighet, dvs. den relativa längden på vektorn i motsvarande visuella display. Absolut hastighet kan exempelvis enkelt presenteras numeriskt på en visuell display, men är inte lika enkelt att presentera på en taktill display så att användaren intuitivt kan förstå det absoluta värdet. Dålig överensstämmelse, eller i värsta fall motsägelsefull information, försvårar däremot förståelsen och bidrar därför till försämrade prestation och ökad mental arbetsbelastning. Vid genomgång av flera studier har vi sett att det är relativt vanligt att informationen mellan modaliteter inte är överensstämmande (Elliot, Duistermaat, Redden, & van Erp, 2007; Van Erp & Van Veen, 2004). I vissa fall kan det finnas skäl till att informationen inte stämmer överens, men i designfasen bör alltid behovet av överensstämmelse övervägas.

## 1.1 Syfte

Det främsta syftet med studien som presenteras här var att undersöka hur införandet av displayer som visar drift i sidled påverkar prestationen avseende att undvika drift i sidled, men även hur dessa displayer påverkar kontroll av höjd, hastighet och kurs. De displayer som testades var grunddisplay (som inte visar drift i sidled) samt tre olika displaykonfigurationer som presenterar drift i sidled: visuell-, taktill- och bimodal driftdisplay (visuell och taktill driftdisplay kombinerat).

## 2 Metod

### 2.1 Deltagare

Tolv personer deltog i studien, fem kvinnor och sju män. Deras medelålder var 24,3 år (21 – 26 år). Samtliga hade normal syn och hörsel. De hade relativt hög vana vid dataspel som bilspel och flygsimulatorer. Ingen deltagare hade pilotutbildning eller tidigare erfarenhet av flygning och ingen hade tidigare erfarenheter av taktill informationspresentation. Varje deltagare fick en biobiljett som ersättning.

### 2.2 Utrustning

Simuleringen gjordes med en PC-baserad simulering av en Seahawk helikopter med Microsoft Simulator X Acceleration Expansion (Aerosoft, 2007; Microsoft, 2013). Grafiken presenterades på tre 23-tums LCD skärmar, med upplösning 3150 x 1680 pixlar. Skärmarna stod sida vid sida på högkant 80 cm framför deltagaren. För att styra helikoptern (kontroll av pitch och roll) användes en joystick, Saitek™X36F och som gasreglage användes en Saitek™X353.

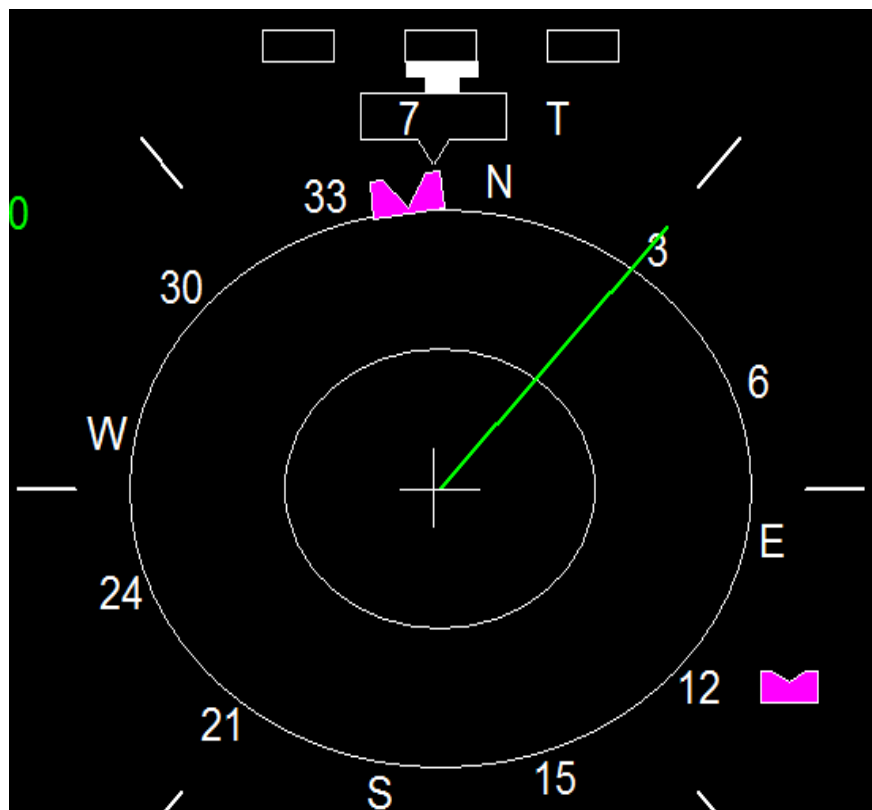
Information om drift i sidled presenterades med fyra olika displaykonfigurationer: grunddisplay (endast riktning), visuell-, taktill- och bimodal driftdisplay (visuell och taktill driftdisplay kombinerat).

Grunddisplayen presenterades på den nedre delen av mittskärmen och bestod av den visuella standarddisplay som finns i Seahawk-simuleringen (Figur 1). De instrument som användes i försöket var kompassen längst ned i mitten, höjdmätaren till höger om horisontgyrot och hastighetsmätaren till vänster om horisontgyrot som visar airspeed (helikopterns hastighet i förhållande till luften). I Figur 1 visas att helikoptern färdas rakt österut (bokstaven E), på höjden 4513 fot med hastigheten 39 knop (airspeed). Det vill säga grunddisplayen gav inte information om drift i sidled. Kompassen gav dock information om helikopterns färdriktning.



Figur 1. Grunddisplay för informationspresentation under simuleringen. Nederst i mitten en kompass som visar helikopterns riktning, här rakt österut (bokstaven E).

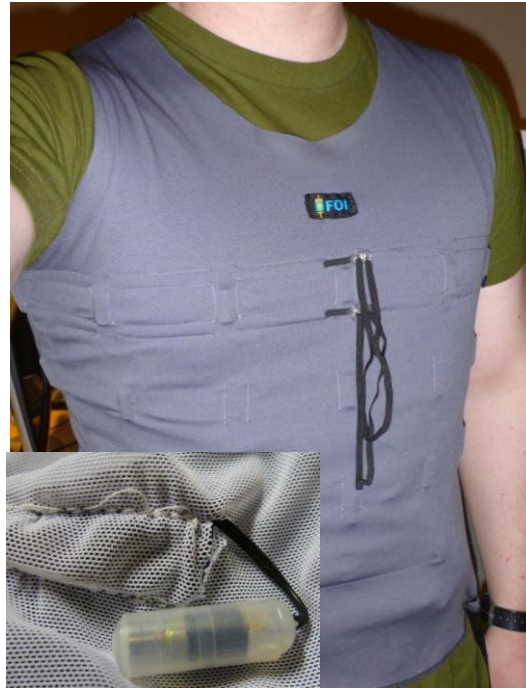
Den visuella driftdisplayen är en hovringsdisplay som finns implementerad som tillval i Seahawk-simulatore, dvs. en display som kan användas för att stödja helikopterpiloter vid hovring (Aerosoft, 2007). Displayen består av två ringar och en vektor (Figur 2). Vektorn visar riktning och storlek på helikopterns hastighet i förhållande till marken. När hastigheten är noll (vid hovring) försvinner vektorn, vektorn ökar sedan med hastighetens storlek och når den innersta ringen vid hastigheten 10 knop och den yttersta ringen vid hastigheten 20 knop eller högre. När helikoptern färdas med 40 knop framåt så innebär det att displayen endast ger information om hastighetens riktning och att helikoptern färdas över 20 knop. Det innebär att när helikoptern rör sig framåt samtidigt som den driver i sidled, så visar vektorn inte exakt hur stor driften är i sidled, utan riktningen på resultanten av hastighet framåt och drift i sidled. Den visuella driftdisplayen kan även visa helikopterns höjd i förhållande till inställd radarhöjd, vilket visas med en inritad kvadrat i cirkeln, men detta användes inte i detta försök. Den visuella driftdisplayen var placerad över kompassen i grunddisplayen. Utanför den yttersta ringen på den visuella ringen syns information från kompassen, som i Figur 2. Det vill säga, bortsett från viss information ifrån kompassen var all information från grunddisplayen tillgänglig när den visuella driftdisplayen användes.



Figur 2. Visuell driftdisplay som här visar att helikoptern driver åt höger med en vektor som visar hastighetens riktning och storlek. Ytterst kompassen som visar helikopterns färdriktning i grader. Övrig information på displayen användes inte under detta försök.

Den taktila driftdisplayen bestod av en taktil väst, som utvecklats på FOI, med ett band med 12 likströms motortaktorer, 120 Hz (Figur 3). Bandet med taktorer var placerat över torso och taktorer var fördelade med en taktor enligt varje markering på en urtavla. Vid detta försök användes dock endast två av taktorer, en under respektive armhåla, för att indikera drift i sidled åt respektive riktning. Drift i sidled indikerades med punktvisa vibrationer. Varje vibration varade i 100 ms. Vibrationerna hade sin lägsta frekvens på 0,5 Hz när helikoptern började driva i sidled och ökade sedan kontinuerligt tills de nådde sitt

maximum på 5 Hz när driften i sidled var 10 m/s. Om driften i sidled skiftade sida så gav bältet direkt en puls under armhålan på motsatt sida, dvs. det blev inte någon fördröjning pga. tidsintervallet mellan pulserna. Detta var för att deltagaren omedelbart skulle uppfatta att driften hade bytt riktning. Den visuella grunddisplayen var också synlig när den taktila driftdisplayen användes.



Figur 3. Det taktila bältet med ett band med taktorer under torso. Infällt nederst till vänster en bild av en taktor i förstoring.

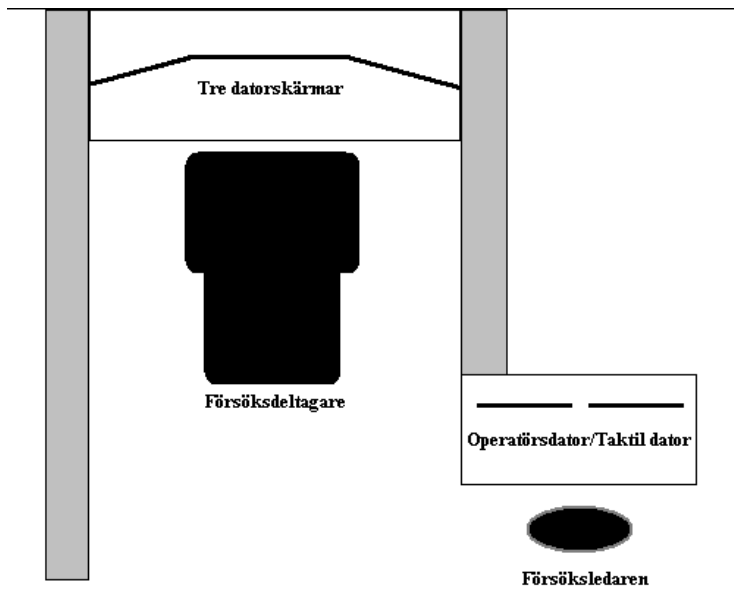
Den bimodala displayen bestod av en kombination av det taktila bältet och den visuella displayen överlagrad över grunddisplayen. Grunddisplayen var också synlig när den bimodala displayen användes.

De fyra displaybetingelserna som testades var:

- Grunddisplay (gav ej information om drift i sidled).
- Visuell driftdisplay (visuell display för drift i sidled) samt grunddisplay.
- Taktill driftdisplay (taktillt bälte för drift i sidled) samt grunddisplay.
- Bimodal driftdisplay (taktill display kombinerad med visuell display för drift i sidled) samt grunddisplay.

## 2.3 Procedur och design

Den simulerade omvärlden presenterades på de tre 23-tums LCD-skärmarna som var placerade sida vid sida och stod på högkant på en bänk framför deltagaren. Instrumenteringen presenterades längst ned på den mittersta skärmen. Mittskärmen var placerad 80 cm framför deltagaren. De yttersta skärmarna var vinklade mot deltagaren med 35 grader i förhållande till mittskärmen. Joystick och gasreglage stod på ett bord framför deltagaren. Försöksledaren satt snett bakom deltagaren under försöket (Figur 4).



Figur 4. Skiss över försöket med försöksdeltagarens plats bakom de tre skärmarna som visade simuleringen och försöksledarens plats snett bakom till höger.

Deltagarnas huvuduppgift var att med respektive displaybetingelse flyga rakt fram och undvika drift i sidled. De skulle också hålla konstant hastighet (40 knop), höjd (4500 respektive 8000 fot) och hålla kurs rakt österut.

Innan försöket fick varje deltagare genomgå ett träningsprogram med flera moment för att lära sig behärska simulatoren och uppgiften. Träningsprogrammet omfattade i tur och ordning träning på instrumentering, att lära sig flyga fritt, att lära sig flyga med hjälp av instrumenten på grunddisplayen och slutligen att lära sig att undvika drift, hålla höjd, hastighet och kurs med respektive typ av driftdisplay. Varje deltagare fick träna på detta tills försöksledaren bedömde att deltagaren uppnått den kompetens som krävdes för att genomföra experimentet. Uppnådd kompetens innebar att deltagaren kunde undvika lateral drift och samtidigt hålla höjd, hastighet och kurs med respektive display. Träningen tog i genomsnitt 90 minuter.

Experimentets design var de fyra displaybetingelserna  $\times$  två flyghöjder. Det vill säga varje deltagare fick sammanlagt genomföra åtta betingelser. Ordningen mellan displayerna i försöket balanserades mellan deltagarna. Varje displaybetingelse innehöll två block, låg och hög höjd. För varje displaybetingelse började hälften av deltagarna på låg höjd och hälften på hög. Varje block tog cirka fem minuter. Hela försöket med träning och genomförande tog cirka tre timmar.

Innan försöket besvarade deltagarna en enkät med bakgrundsfrågor. Efter varje displaybetingelse besvarade de en enkät med frågor om den displaybetingelse som använts. Efter försöket besvarade de en övergripande enkät med frågor om samtliga displaybetingelser. Enkäterna bestod av frågor som besvarades på skattningsskala (1 – 7), samt av öppna frågor. Enkätfrågorna handlade huvudsakligen om deltagarnas subjektiva upplevelser av displayerna och om deras mentala arbetsbelastning under försöket. Utförligare redovisning av de frågor som ställdes ges i resultatdelen nedan i samband med redovisning av svaren på respektive fråga.

Varje block genomfördes enligt följande procedur. Simuleringen startade på den förinställda hastigheten 40 knop, förinställd höjd (4500 eller 8000 fot) med riktning mot öster. Under respektive block uppmanade försöksledaren vid fem tillfällen deltagaren att titta mot marken i simuleringen för att identifiera föremål. Syftet var att tvinga deltagarna att ta blicken från instrumenten och att försöket därmed bättre skulle efterlikna en riktig flygsituation.

Under försöket loggades försöksdeltagarnas prestation avseende ett flertal mått. Loggning skedde med frekvensen ca 9 Hz. Dvs. vid ett block på fem minuter loggades ca 2700 datapunkter för varje mått. För analys av data beräknades för varje deltagare och block medelvärdet av dessa loggade värden. Punktlistan nedan beskriver de mått som analyserats och hur medelvärdet för respektive deltagare beräknats:

- Drift i sidled – hastighet i meter/sekund för drift i sidled.
  - Medelvärdet av absolutbeloppen av loggade värden av hastighet i sidled (absolutbeloppen för att inte drift åt höger och vänster ska ta ut varandra).
- Avvikelse i höjdlid – avvikelse i meter från rekommenderad höjd (4500 fot respektive 8000 fot).
  - Medelvärdet av absolutbeloppet av loggade värden av avvikelse från rekommenderad höjd (4500 respektive 8000 fot) (absolutbeloppen för att inte avvikelse uppåt och neråt ska ta ut varandra).
- Variation i hastighet – avvikelse i meter per sekund från hastigheten 40 knop.
  - Medelvärdet av absolutbeloppen av loggade värden av avvikelse i hastighet (absolutbeloppen för att avvikelse under och över 40 knop inte ska ta ut varandra).
- Avvikelse i kurshållning– avvikelse i grader från rekommenderad kurs rakt österut.
  - Medelvärdet av absolutbeloppen av loggade värden av avvikelse från kurs rakt österut (absolutbeloppen för att avvikelse till vänster och höger om riktning öst inte ska ta ut varandra).

## 3 Resultat

Både kvantitativa prestationsmått och subjektiva skattningar har analyserats med variansanalys. Design anges för respektive analys. För samtliga eftertest har Tukey HSD test använts. Vid brott mot sfäriskhet rapporteras Greenhouse Geisser korrigerat  $p$  värde.

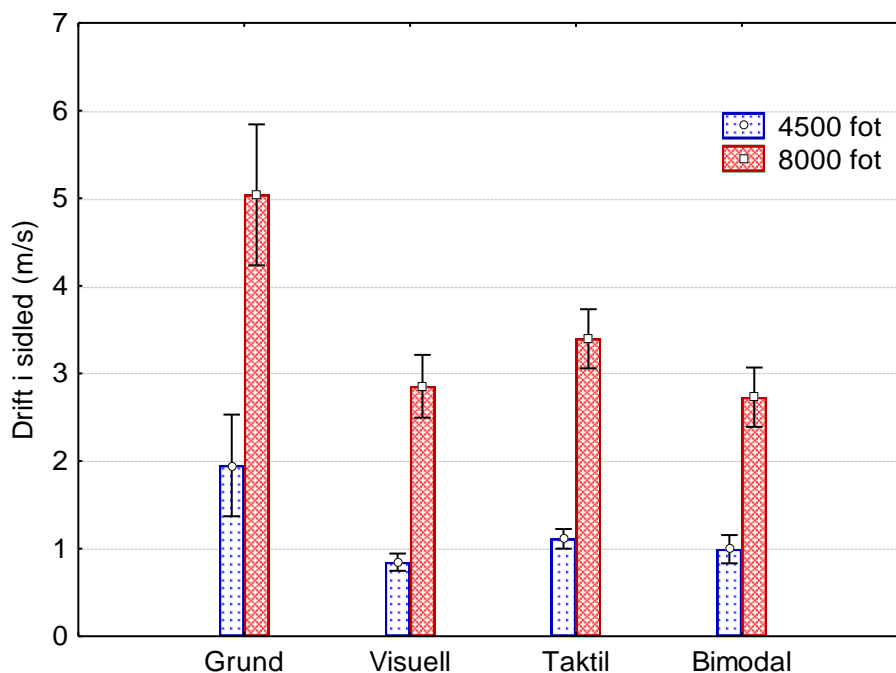
### 3.1 Kvantitativa prestationsmått

Samtliga kvantitativa prestationsmått analyserades med tvåvägs variansanalys (ANOVA) för upprepad mätning, 4 displaykonfigurationer  $\times$  2 höjder.

#### 3.1.1 Drift i sidled

Variansanalysen av drift i sidled visade signifikant huvudeffekt av display,  $F(3, 33) = 6,77$ ;  $p = 0,019$ ; signifikant huvudeffekt av höjd,  $F(1, 11) = 182,02$ ;  $p < 0,001$ , men inte någon signifikant interaktionseffekt,  $p = 0,22$ .

Eftertest avseende huvudeffekten av display visade signifikant större drift i sidled vid användning av grunddisplay jämfört med samtliga tre driftdisplayer ( $p < 0,05$ ) (Figur 5). Huvudeffekten av höjd berodde på signifikant större drift i sidled vid flygning på hög höjd ( $3,5 \pm 0,3$  m/s) jämfört med vid låg höjd ( $1,2 \pm 0,2$  m/s) (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).



Figur 5. Genomsnittlig drift i sidled (m/s) för respektive displaykonfiguration. Felstaplar  $\pm 1$  standardfel.

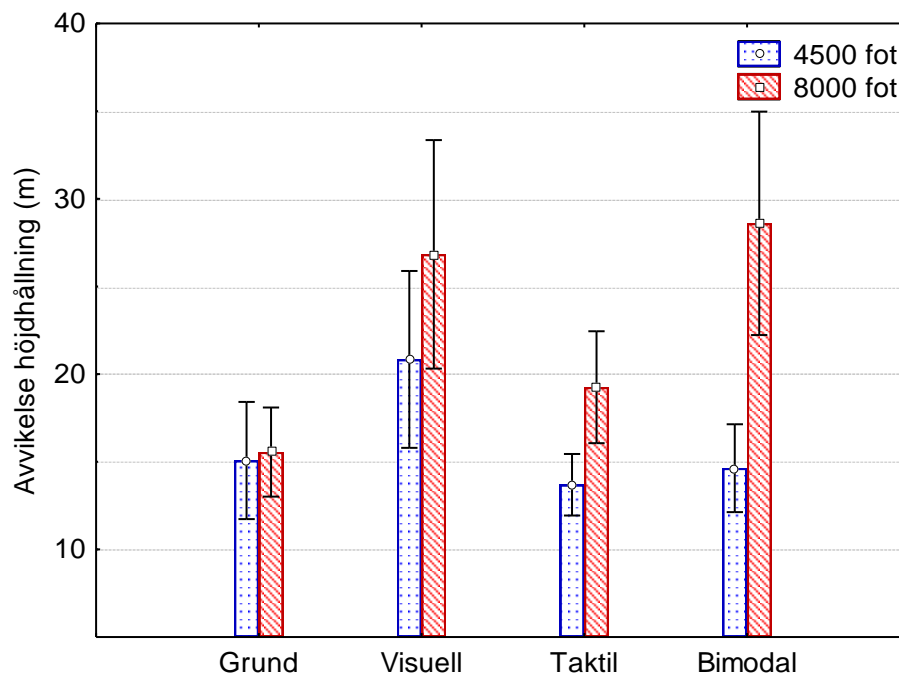
#### 3.1.2 Avvikelse i höjdlid

Variansanalysen av avvikelse i höjdlid visade en stark tendens till huvudeffekt av display,  $F(3, 33) = 2,78$ ;  $p = 0,056$ ; signifikant huvudeffekt av höjd,  $F(1, 11) = 6,41$ ;  $p = 0,028$ , men inte någon signifikant interaktionseffekt,  $p = 0,44$ .



Eftertest med avseende på huvudeffekten av display visade endast tendens till större avvikelse med visuell driftdisplay jämfört med grunddisplay ( $p = 0,084$ ). Huvudeffekten av höjd berodde på signifikant större avvikelse från rekommenderad höjd vid flygning på hög höjd ( $22,6 \pm 3,2$  m) jämfört med på låg höjd ( $16,1 \pm 2,0$  m) (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

Som Figur 6 visar var drift i höjdlid för bimodal driftdisplay betydligt större vid flygning på hög jämfört med låg höjd. Anledningen till att detta inte visades genom signifikant interaktionseffekt i ovanstående ANOVA kan vara relativt liten skillnad mellan övriga displaybetingelser (power interaktionseffekt = 0,22). Därför gjordes separat envägs ANOVA med upprepad mätning för bimodal driftdisplay avseende de två höjdbetingelserna. Denna analys visade dock endast tendens till större avvikelse vid hög höjd jämfört med låg höjd för bimodal driftdisplay,  $F(1, 11) = 4,11$ ;  $p = 0,068$ .



Figur 6. Genomsnittlig avvikelse från den höjd som skulle hållas (m) för respektive displaykonfiguration. Felstaplar  $\pm 1$  standardfel.

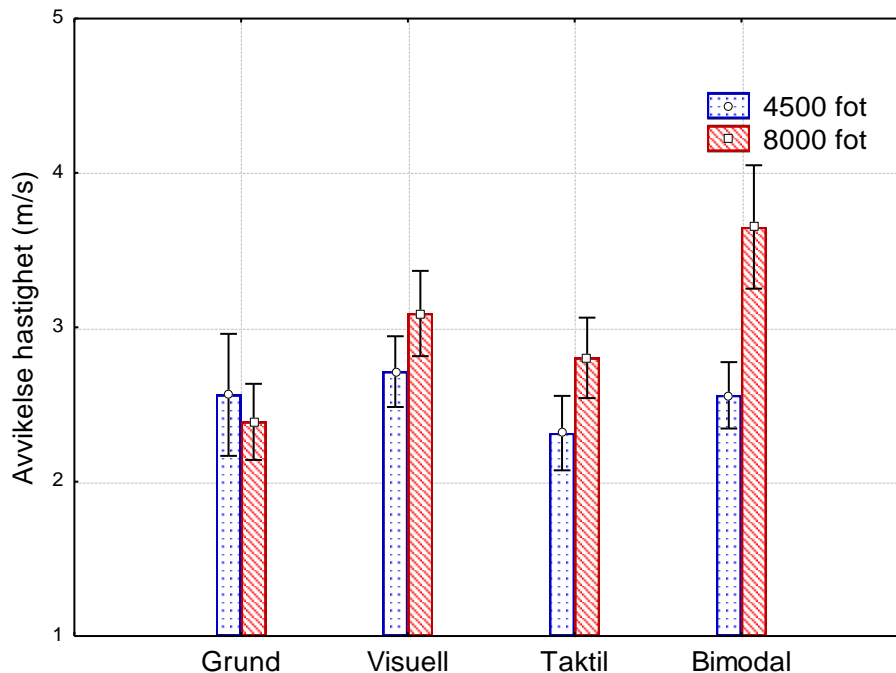
### 3.1.3 Avvikelse i hastighet

Variansanalysen av avvikelse från rekommenderad hastighet visade endast tendens till huvudeffekt av display,  $F(3, 33) = 2,46$ ;  $p = 0,080$ ; stark tendens till huvudeffekt av höjd,  $F(1, 11) = 4,72$ ;  $p = 0,052$ , och inte någon signifikant interaktionseffekt mellan display och hastighet ( $p = 0,12$ ).

Eftertestet avseende tendensen till huvudeffekt av display visade inte några signifikanta skillnader mellan displaykonfigurationerna. Tendensen till huvudeffekt av höjd berodde på något större avvikelse från rekommenderad hastighet vid flygning på hög höjd ( $3,0 \pm 0,2$  m/s) jämfört med på låg höjd ( $2,5 \pm 0,2$  m/s) (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

Som Figur 7 visar var avvikelsen i hastighet för bimodal driftdisplay markant större vid flygning på hög jämfört med på låg höjd. Att detta inte visas genom signifikant interaktionseffekt i ovanstående ANOVA kan bero på stor likhet mellan höjdbetingelserna för övriga displaybetingelser (power interaktionseffekten = 0,48). Därför gjordes en separat envägs ANOVA med upprepad mätning för bimodal driftdisplay avseende de två höjdbetingelserna. Denna ANOVA visade att för bimodal driftdisplay var avvikelsen i

hastighet signifikant större vid flygning på hög höjd jämfört med låg,  $F(1, 11) = 6,96$ ;  $p = 0,023$ .

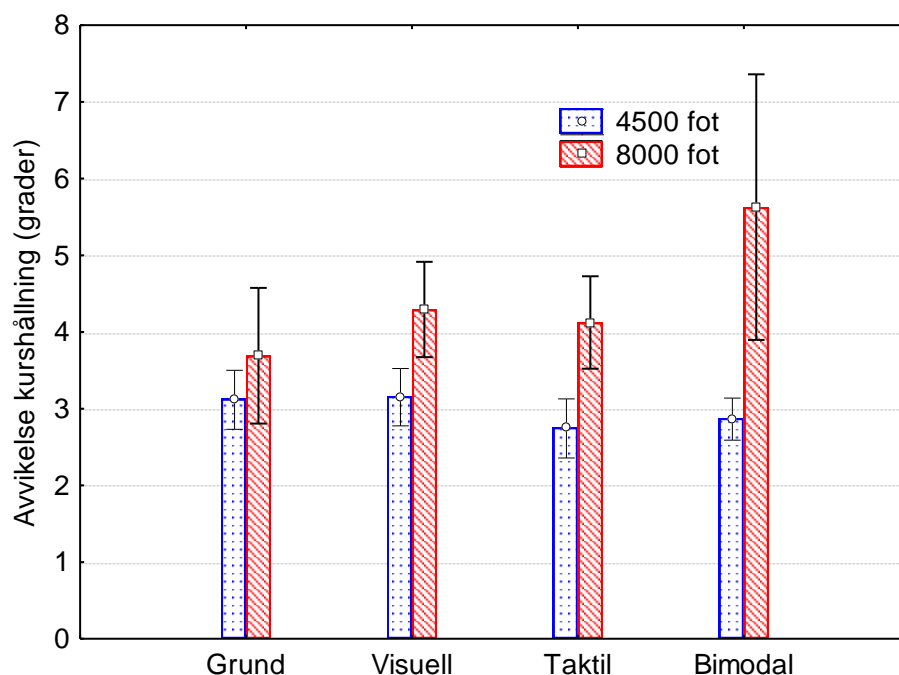


Figur 7. Genomsnittlig avvikelse (m/s) från rekommenderad hastighet för respektive displaykonfiguration. Felstaplar  $\pm 1$  standardfel.

### 3.1.4 Avvikelse kurshållning

Variansanalys av avvikelse från rekommenderad kurs österut visade ingen huvudeffekt av display ( $p = 0,65$ ); dock signifikant huvudeffekt av höjd,  $F(1, 11) = 9,27$ ;  $p = 0,011$ , men inte någon signifikant interaktionseffekt mellan display och höjd ( $p = 0,41$ ). Huvudeffekten av höjd berodde på större avvikelse från rekommenderad kurs vid flygning på hög höjd ( $4,4 \pm 0,6$  grader) jämfört med låg ( $3,0 \pm 0,2$  grader) (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer), se Figur 8.

Som Figur 8 visar var avvikelsen i kurshållning med bimodal display markant större vid flygning på hög höjd jämfört med låg. Att detta inte visas genom signifikant interaktionseffekt i ovanstående ANOVA kan bero på stor likhet mellan höjdbetingelserna för övriga displaybetingelser (power interaktionseffekt = 0,21). Därför gjordes en separat envägs ANOVA med upprepad mätning för bimodal display avseende de två höjdbetingelserna. Denna ANOVA visade dock inte någon signifikant skillnad mellan de två höjdbetingelserna för bimodal driftdisplay ( $p = 0,15$ ), vilket sannolikt kan förklaras av den stora spridningen av resultatet på hög höjd.



Figur 8. Genomsnittlig avvikelse (grader) från rekommenderad kurs rakt österut. Felstaplar  $\pm 1$  standardfel.

## 3.2 Subjektiva skattningar

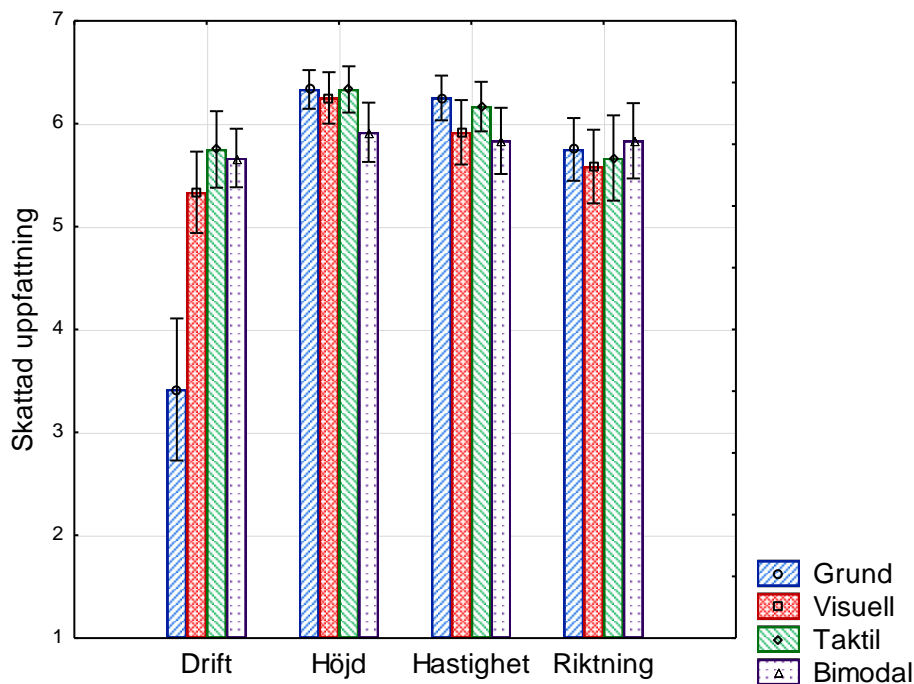
De subjektiva skattningarna analyserades med variansanalys för upprepad mätning. Design för analyserna anges nedan separat för respektive analys.

### 3.2.1 Uppfattning av displayernas information

Fyra frågor ställdes om hur svårt/lätt det var att uppfatta informationen vid användning av respektive displaykonfiguration avseende: 1) drift i sidled, 2) höjd, 3) hastighet och 4) riktning (1 = Mycket svårt– 7 = Mycket lätt). Svaren analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning (4 displayer  $\times$  4 typer av information).

Variansanalysen visade signifikant huvudeffekt av typ av information,  $F(7, 76) = 11,46$ ;  $p < 0,001$ ; och signifikant interaktionseffekt mellan display och typ av information,  $F(9, 99) = 7,76$ ;  $p < 0,001$ ; men inte signifikant huvudeffekt av display ( $p = 0,26$ ).

Eftertest visade att skattningarna av drift med grunddisplayen var signifikant lägre än samtliga andra skattningar (samtliga  $p < 0,001$ ), medan inga övriga skillnader var signifikanta (Figur 9).



Figur 9. Deltagarnas skattningar av hur lätt/svårt det var att uppfatta information om drift, höjd, riktning och hastighet vid användning av respektive display. Felstaplar  $\pm 1$  standardfel.

### 3.2.2 Förståelse av informationen

Två frågor ställdes om förståelse av informationen från respektive typ av displaykonfiguration: 1) Hur snabbt gick det att förstå informationen (1 = Mycket långsamt – 7 = Mycket snabbt, och 2) Hur svårt/lätt var det att förstå informationen (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Svaren analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepade mätning (4 displayer  $\times$  2 frågor).

Variansanalysen visade inte någon signifikant huvudeffekt av display, ( $p = 0,154$ ), men signifikant huvudeffekt av fråga,  $F(1, 11) = 7,30$ ;  $p = 0,021$ , och inte någon signifikant interaktionseffekt mellan display och fråga ( $p = 0,21$ ).

Huvudeffekten av fråga berodde på högre skattningar av hur lätt det var att förstå informationen ( $6,1 \pm 0,2$ ) jämfört med hur snabbt det gick att förstå informationen ( $5,8 \pm 0,2$ ) (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

### 3.2.3 Informationens noggrannhet

En fråga ställdes om hur noggrann deltagarna upplevde informationspresentationen med respektive displaykonfiguration. Svaren analyserades med envägs variansanalys för upprepade mätning (4 displayer).

Variansanalysen visade inte någon signifikant effekt av display, ( $p = 0,41$ ). Skattningarna av displayernas noggrannhet var relativt höga ( $5,2 \pm 0,4$ ) (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

### 3.2.4 Trygghet

En fråga ställdes om hur trygga deltagarna kände sig med presentationen från respektive displaykonfiguration (1 = Inte alls trygg – 7 = Mycket trygg). Svaren analyserades med envägs variansanalys för upprepade mätning (4 displayer).

Variansanalysen visade inte någon signifikant skillnad mellan displayerna ( $p = 0,24$ ). Skattningarna var höga, i genomsnitt  $5,6 \pm 0,4$  på den 7-gradiga skalan (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

### 3.2.5 Fånga uppmärksamhet

En fråga ställdes om hur respektive displaykonfiguration fångade deltagarnas uppmärksamhet (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). Svaren analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning (4 displaykonfigurationer).

Variansanalysen visade inte någon signifikant skillnad mellan displaykonfigurationerna ( $p = 0,89$ ). Skattningarna var höga, i genomsnitt  $5,9 \pm 0,3$  på den 7-gradiga skalan (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

### 3.2.6 Mental arbetsbelastning

En fråga ställdes om deltagarnas mentala arbetsbelastning när de använde respektive displaykonfiguration (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Svaren analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning (4 displayer).

Variansanalysen visade inte någon signifikant skillnad mellan displayerna ( $p = 0,67$ ). Skattningarna var medelhöga, i genomsnitt  $4,8 \pm 0,5$  på den 7-gradiga skalan (gemensamt medelvärde och standardfel för samtliga fyra displayer).

### 3.2.7 Obehag av användning

Två frågor om obehag avseende användning av respektive displaykonfiguration ställdes till deltagarna: 1) Om de upplevde informationspresentationen som obehaglig och 2) om de upplevde informationspresentationen som störande (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). Svaren analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning (4 displayer  $\times$  2 frågor).

Variansanalysen visade inte någon signifikant huvudeffekt av display ( $p = 0,476$ ); men en svag tendens till huvudeffekt av fråga,  $F(1, 11) = 3,31$ ;  $p = 0,096$ , och inte någon signifikant interaktionseffekt mellan display och fråga, ( $p = 0,800$ ).

Tendensen till huvudeffekt av fråga berodde på något högre skattningar för störande,  $1,7 \pm 0,2$  jämfört med för obehag,  $1,5 \pm 0,2$  (gemensamma medelvärden och standardfel för samtliga fyra displayer). Dvs. i praktiken var skattningarna på båda frågorna extremt låga.

## 3.3 Sammanfattning av resultat

Tabell 1 och 2 nedan sammanfattar huvudeffekterna av display för respektive mått. Följande beteckningar används för att illustrera statistiska skillnader:

\*+ signifikant bättre värde än för annan display (grönt)

t+ tendens bättre än för annan display (blått)

\*- signifikant sämre än för annan display (rött)

t- tendens sämre värde än för annan display (gult)

Tabell 1 visar medelvärden för de kvantitativa prestationsmått för respektive display. Observera att ett lågt värde (låg avvikelse) innebär bättre prestation än för ett högt värde (hög avvikelse).

Tabell 1. Sammanfattning av medelvärden för kvantitativa mätningar av prestation vid användning av respektive displaykonfiguration.

Mått	Grund	Visuell	Taktil	Bimodal
Drift i sidled m/s	3,5 <sup>*-</sup>	1,9 <sup>*+</sup>	2,3 <sup>*+</sup>	1,9 <sup>*+</sup>
Avvikelse i höjd m	15,3 <sup>†+</sup>	23,8 <sup>†-</sup>	16,5	21,7
Avvikelse i hastighet m/s	2,5	2,9	2,6	3,1
Avvikelse kurshållning grader	3,4	3,7	3,4	4,3

Tabell 2 visar de subjektiva skattningarna för respektive tabell. Vid beräkningen av medelvärden för samtliga frågor (sista raden i Tabell 2) så har skalan för arbetsbelastning, obehag och störande vänts (t.ex. Arbetsbelastning för visuell grunddisplay 4,9 har kodats om till 3,1) vilket innebär att ett högt värde vid denna beräkning innebär något positivt för samtliga frågor. De värden som visas i tabellen för dessa frågor är dock de icke-omkodade värdena.

Tabell 2. Sammanfattning av medelvärden av subjektiva skattningar för varje fråga för respektive displaykonfiguration.

Fråga	Grund	Visuell	Taktil	Bimodal
Uppfattning av drift	3,4 <sup>*-</sup>	6,3 <sup>*+</sup>	6,3 <sup>*+</sup>	5,8 <sup>*+</sup>
Uppfattning av höjd	5,3	6,3	5,9	5,6
Uppfattning av riktning	5,8	6,3	6,2	5,7
Uppfattning av hastighet	5,7	5,9	5,8	5,8
Snabbt att förstå	6,1	5,2	6,2	5,8
Lätt att förstå	6,0	5,9	6,4	6,1
Noggrannhet	4,8	5,4	5,0	5,4
Displayen kändes trygg	5,7	5,0	6,0	5,7
Fånga uppmärksamhet	6,0	6,0	5,8	5,9
Mental arbetsbelastning	4,9	4,8	4,7	5,0
Obehag av användning	1,4	1,3	1,5	1,7
Användning störande	1,6	1,6	1,6	2,0
Medel samtliga frågor	5,4	5,7	5,8	5,6

## 4 Diskussion

Prestationen med avseende på huvuduppgiften att undvika drift i sidled var signifikant bättre för samtliga driftdisplayer jämfört med grunddisplayen som inte visade drift. Att prestationen för de tre driftdisplayerna, i detta avseende, var likvärdig stöds också av de subjektiva skattningarna, vilka visade att deltagarna tyckte att det var lätt att uppfatta hur informationen presenterades med samtliga tre driftdisplayer. Dessa resultat stödjer tanken på att användning av en display som visar drift i sidled också leder till förbättrad prestation avseende förmågan att undvika drift i sidled. Att prestationen avseende drift i sidled var lika bra med samtliga driftdisplayer är också ett resultat som stödjer användning av taktila och bimodala displayer, vilket diskuteras utförligare nedan.

Prestationen på låg höjd (4500 fot) var överlag bättre än på hög höjd (8000 fot) för huvuduppgiften att undvika drift i sidled, men även avseende kontroll av höjd, hastighet och kurs. Detta tyder på att deltagarna vid flygning på låg höjd kunde utnyttja visuell information från markens textur, vilket var betydligt svårare på hög höjd. Detta kan tolkas som ett stöd för att värdet av en display som visar drift i sidled ökar när möjligheten att utnyttja visuella ledtrådar på marken försämras, vilket även bör kunna generaliseras till flygning under nedsatt sikt, t.ex. situationer som brown-out, dimma, snö, eller mörker. Det är dock problematiskt att prestationen på hög höjd även försämrades vid användning av driftdisplayerna.

Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna avseende kontroll av höjd, hastighet och kurs. Det fanns dock tendenser till något sämre prestation avseende kontroll av höjd och hastighet med den bimodala displayen på hög höjd. Eftersom dessa mått också kan betraktas som sekundära uppgifter, som utfördes samtidigt som huvuduppgiften att undvika drift i sidled, så kan prestationen avseende dessa uppgifter också tolkas som sekundära mått på mental arbetsbelastning. Enligt denna tolkning så var användningen av de visuella och taktila driftdisplayerna oproblematiske, medan deras kombinerade användning som en bimodal display kan ha medfört en ökad mental arbetsbelastning. Däremot stöds inte denna tolkning av de subjektiva skattningarna. Den mentala arbetsbelastningen skattades visserligen relativt hög, men var likvärdig för samtliga displayer, och informationen om höjd, hastighet och kurshållning skattades som lätt att uppfatta för samtliga displayer. Notera också att de subjektiva skattningarna av displayerna var likvärdig på samtliga övriga frågor.

Även om prestationen avseende att hålla höjd och hastighet var något sämre med den bimodala displayen på hög höjd, jämfört med låg höjd, så stöddes inte denna skillnad av de subjektiva skattningarna. Trots detta så kan det inte uteslutas att den något sämre prestationen var en effekt av högre mental arbetsbelastning. Om så var fallet så kan en anledning ha varit att kodningen av de taktila och visuella driftdisplayerna inte var helt kompatibel och därmed inte uppfyllde kraven på perceptuellt momentum. Följden skulle kunna vara att inkonsekvent kodning av informationen ledde till ökad mental belastning och därmed minskad mental reservkapacitet för att utföra parallella uppgifter.

Om driftdisplayerna ska användas vid hovring så måste dock kodningen av den taktila driftdisplayen ändras så att den presenterar driftens faktiska riktning, på motsvarande sätt som den använda visuella driftdisplayen gör. Det vill säga samtliga taktorer i västen måste användas, så att den taktor som befinner sig i driftens riktning aktiveras. Kodning av faktisk riktning skulle också innebära spatial överensstämmelse mellan de visuella och taktila driftdisplayerna, vilket innebär uppfyllande av postulerade krav på perceptuellt momentum. Vilken typ av kodning som är bäst lämpad för presentation av drift i sidled under inflygning före landning, och om olika kodning ska användas under inflygning respektive under hovring behöver dock vidare utredas.

Taktila och bimodala displayer kräver inte att piloten fokuserar sin visuella uppmärksamhet på instrumenteringen, vilket medger att synen kan avlastas för andra parallella uppgifter under flygningen, t.ex. att fokusera på referenspunkter på marken eller

att spana efter hot. För att detta ska kunna uppnås krävs dock att prestationen vid användning av en taktill display är likvärdig, eller endast något sämre, jämfört med en visuell display. Att kontroll av drift i sidled inte skilde sig åt mellan de tre driftdisplayerna, stödjer därmed användandet av en taktill display för presentation av drift i sidled. När den taktilla displayen användes i kombination med den visuella som en bimodal display fanns det dock indikationer på sämre kontroll av höjd och hastighet vid flygning på hög höjd. Även om dessa försämringar inte var tillräckligt stora för att bekräftas genom interaktionseffekter i de variansanalyser som gjordes så bör detta vidare utredas. Att utesluta den visuella displayen och helt lita på en unimodal taktill display är dock sannolikt inte en lösning som är att föredra, eftersom den visuella displayen sannolikt fungerar bättre i vissa situationer, t.ex. vid låg visuell belastning. Om en taktill display ska användas för presentation av drift i sidled är därför redundant taktill information i form av en bimodal kombination av de visuella och taktilla displayerna den mest realistiska lösningen. De taktilla och bimodala fördelarna som finns när piloten inte kan uppmärksamma information från visuella displayer kunde dock inte uppfångas i detta experiment. Visserligen uppmanade försöksledaren varje deltagare att identifiera objekt på marken, men detta orsakade inte tillräckligt stor distraktion för att påverka prestationen. När det gäller användningen av de taktilla och bimodala driftdisplayerna är det också viktigt att notera att de subjektiva skattningarna visar att den taktilla informationen varken uppfattades som obehaglig eller störande.

I denna studie så uppfylldes inte perceptuellt momentum mellan visuell- och taktill display. Anledningen till den kodning som användes var att en befintlig visuell driftdisplay (hovringsdisplay) användes, varför det inte ansågs lämpligt att ändra utformningen på denna. Det finns dock alternativa visuella displayer som visar driftens komponent i sidled, på motsvarande sätt som det taktilla bältet som användes i denna studie (MacIsaac, Stikes, & Hudge, 2005). Ett alternativ hade varit att anpassa den taktilla displayen efter den visuella, men eftersom lateral drift var i fokus så valdes en förenklad kodning av den taktilla driftdisplayen. Endast vibrationer under respektive armhåla användes och deltagarna flög framåt med cirka 40 knop, vilket innebär att storleken på driften i sidled alltid var mycket liten i förhållande till hastigheten rakt fram. Det innebär att driftens resultant i allmänhet endast avvek ett fåtal grader från riktningen rakt fram (som den visades på den visuella driftdisplayen). Om den resulterande riktningen på driften i sidled hade presenterats så skulle därför i princip endast taktorn rakt fram ha aktiverats, vilket inte skulle ha haft något informationsvärde. Ett sätt att avhjälpa detta hade varit att expandera skalan på den främre delen av den taktilla västen. För uppgiften att undvika drift i sidled vid hög hastighet framåt så bedömdes dock den använda kodningen som mest fördelaktig. I detta sammanhang bör också påpekas att det valda scenariot, med hastighet framåt, också till stor del är generaliserbart till presentation av drift i sidled under inflygning före landning eftersom situationerna till stor del påminner om varandra.

Det bör också beaktas att detta var ett initialt experiment med naiva försökspersoner i en simulerad helikopter. Resultaten bör därför tolkas med viss försiktighet. För att bekräfta resultatens externa validitet krävs att uppföljningsstudier genomförs, helst med militära helikopterpiloter och med displayerna implementerade i en riktig helikopter. Med reservation för denna begränsning, så bör resultaten vara generaliserbara och därmed tillämpbara för informationspresentation i andra likartade kontexter.

I kommande studier avser vi att matcha visuella och taktilla displayer enligt principerna för perceptuellt momentum, vilket inkluderar presentation av samma maxhastighet i respektive display (vilket inte var fallet i denna studie där 10 m/s respektive 20 m/s var maxhastighet för taktill- och visuell display). Syftet är att undersöka om, och i så fall hur, prestationen påverkas när perceptuellt momentum uppfylls eller inte.



## 5 Slutsatser

De viktigaste slutsatserna av detta experiment är: 1) Användning av samtliga tre driftdisplayer medförde förbättrad prestation avseende kontroll av drift i sidled. 2) Prestationen avseende kontroll av drift i sidled var likvärdig med samtliga tre driftdisplayer. Detta visar på möjligheterna att använda taktil och bimodal information som komplement till visuell information, vilket kan utnyttjas för att avlasta synsinnen för andra parallella uppgifter under flygning, t.ex. att fokusera på referenspunkter på marken vid landning eller att söka efter hot. 3) Prestationen avseende kontroll av höjd och hastighet med den bimodala driftdisplayen på hög höjd kan tyda på behov av vidare utredning av principerna för kodning av bimodala kombinationer av visuell och taktil information.

## 6 Referenser

- Aerosoft. (2007). Aerosoft Seahawk & Jayhawk X Manual - version 2.00.
- Albery, W. B. (Ed.). (2012). *Rotary-Wing Brownout Mitigation: Technologies and Training*: RTO Technical Report: (TR-HFM-162): NATO.
- Bennett, K. B., & Flach, J. M. (2012). Visual momentum redux. *International Journal of Human-Computer Studies*, 70(6), 399-414.
- Carlander, O., & Kindström, M. (2004). *Urskiljbarhet av radiokommunikation - En jämförelse av 3D- och stereoljud*. Linköping: (FOI-R--1525--SE). FOI (Totalförsvarets Forskningsinstitut).
- Cheung, B. (2004). Spatial Orientation – Nonvisual Spatial Orientation Mechanisms. In F. Previc & W. Ercoline (Eds.), *Spatial Disorientation in Aviation. Progress in Astronautics and Aeronautics* (Vol. 203, pp. 37-94). Reston, Virginia: American Institute of Aeronautics and Astronautics, Inc.
- Chun, M. M., & Wolfe, J. (2001). Visual Attention. In B. Goldstein (Ed.), *Handbook of Perception* (pp. 272-310). Oxford, UK: Blackwell Publishers Ltd.
- Colucci, F. (2007). Digging Out From Brownout. *Vertiflight*, 53(1), 50-55.
- Curtis, M. T., & Jentsch, F. (2010). Aviation Displays. In E. Salas & D. Maurino (Eds.), *Human Factors in Aviation* (Second ed.). London, UK.: Elsevier.
- Deveans, T., & Kewlwy, R. H. (2009). *Overcoming Information Overload in the Cockpit*: Operations Research Center of Excellence West Point, NY.
- Elliot, L. R., Duistermaat, M., Redden, E., & van Erp, J. (2007). *Multimodal Guidance for Land Navigation*. Abredeem, MD: U.S. Army Research Laboratory.
- Ericson, M. A., & McKinley, R. L. (1997). The intelligibility of multiple talkers separated spatially in noise. In R. H. Gilkey & T. R. Anderson (Eds.), *Binaural and spatial hearing in real and virtual environments*. Mahwah, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Eriksson, L., van Erp, J., Carlander, O., Levin, B., van Veen, H., & Veltman, H. (2006). Vibrotactile and visual threat cueing with high G threat intercept in dynamic flight simulation *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 50th Annual Meeting* (pp. 1547-1551). Santa Monica, CA, USA.
- Försvarsmakten. (2011). *Utbildningsreglemente HKP10 Utbildning Stoftrik miljö*. Försvarsmakten: (Underbilaga 4: 21 500:xxx xx. förhandsutgåva) Luftstridsskolan.
- Haskell, I., & Wickens, C. (1993). Two- and Three-Dimensional Displays for Aviation: A Theoretical and Empirical Comparison. *The International Journal of Aviation Psychology*, 3(2), 87-109.
- Hochberg, J., & Brooks, V. (1978). Film Cutting and Visual Momentum. In J. W. Senders, D. F. Fisher & R. A. Momy (Eds.), *Eye movements and the Higher Psychological Functions* (pp. 293-313). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Hochberg, J., & Brooks, V. (2007). Film Cutting and Visual Momentum. In M. A. Peterson, B. Gillam & H. Sedgewick (Eds.), *In the Mind's Eye*: Oxford University Press.
- Jarmasz, J., Herdman, C., & Johannsdottir, K. (2005). Object-Based Attention and Cognitive Tunneling. *Journal of Experimental Psychology: Applied*, 11(1), 3-12.
- Lee, S., & Starner, T. (2010). *BuzzWear: Allert Perception in Wearable Tactile Displays on the Wrist*. Paper presented at the CHI: Computer on the Body, Atlanta, GA.
- Lif, P., & Oskarsson, P-A. (2012). *Multimodal presentation i helikopter vid förekomst av brown-out* (pp. 25). (FOI-R--3421--SE). Linköping: FOI (Totalförsvarets Forskningsinstitut).
- Lif, P., Svenmarck, P., & Oskarsson, P-A. (2012). Perceptual momentum for design of multimodal displays. In D. De Waard, K. Brookhuis, C. Weikert, S. Röttger, D. Manzey, S. Biede, F. Reuzeau & P. Terrier (Eds.), *Proceedings HFES Europe Chapter Conference*. Toulouse: <http://hfes-europe.org>.
- MacIsaac, M., Stikes, L., & Hudge, J. (2005). *Flight symbology to aid in approach and laning in degraded visual environments*: Paper presented at the American Helicopter Society, Grapevine, TX.

- Microsoft. (2013). Product information Microsoft flight simulator. Retrieved 2013-02-05, from <http://www.microsoft.com/Products/Games/FSInsider/product/Pages/default.aspx>
- Peinecke, N., Knabl, P. M., Schmerwitz, S., & Döhler, H-U. (2012). *Developing an Obstacle Display for Helicopter Brownout Situations*. Paper presented at the SPIE.
- Seidel, C., Schwartz, I., & Kielhorn, P. (2008). *Helicopter collision avoidance and brown-out recovery with HELLAS*. Paper presented at the SPIE.
- Szoboszlay, Z., Alberty, W., Turpin, T., & Neiswander, G.M. (2008). Brown-Out Symbology Simulation (BOSS) on the NASA Ames Vertical Motion Simulator *American Helicopter Society 64th Annual Forum*.
- Szoboszlay, Z., McKinley, R.A. , Braddom, S.R. , Harrington, W.W., Burns, H.N., & Savage, J.C. (2010). Landing an H-60 Helicopter in Brownout Conditions Using 3D-LZ Displays *66th Annual Forum of the American Helicopter Society*. Phoenix, AZ.
- Van Erp, J. (2007). *Tactile displays for navigation and orientation: perception and behaviour.*, (Doctoral thesis). Utrecht University, The Netherlands.
- Van Erp, J., & Self, B.P. (Eds.). (2008). *Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments* RTO Technical Report: (TR-HFM-122): NATO
- Van Erp, J., & Van Veen, H. (2004). Vibrotactile in-vehicle navigation system. *Transportation Research Part F*, 7, 247-256.
- Ware, C. (2000). *Information Visualization: Perception for design*. San Diego: Academic Press Inc.
- Whitehouse, G., Wachpress, D., & Quackenbush, T. (2010). *Aerodynamic Design of Helicopter Rotors for Reduced Brownout*. Paper presented at the International Powered Lift Conference, Philadelphia, PA.
- Wickens, C., & Alexander, A. L. (2009). Attentional tunneling and task management in synthetic vision displays. *The International Journal of Aviation Psychology* 19(2), 182-199.
- Wickens, C., & Carswell, C. (1995). The Proximity compatibility principle: Its psychological foundation and relevance to display design. *Human Factors*, 37(473-494).
- Wolfe, J. (2000). Visual attention. In K. K. De Valois (Ed.), *Seeing* (2nd ed., pp. 335-386). San Diego, CA: Academic Press.
- Woods, D. D. (1984). Visual Momentum: A concept to improve the cognitive coupling of person and computer. *International Journal of Man-Machine Studies*, 21, 229-244.

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.



FOI  
Totalförsvarets forskningsinstitut  
164 90 Stockholm

Tel: 08-55 50 30 00  
Fax: 08-55 50 31 00

[www.foi.se](http://www.foi.se)