

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



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

Intuitiva gränssnitt

Slutrapport

AF.9220209 Ledningsforskning 14

Bild/Cover: (Fotograf: Patrik Lif)

Titel	Intuitiva gränssnitt - Slutrapport
Title	Intuitive interfaces – Final report
Rapportnr/Report no	FOI-R—3943—SE
Månad/Month	September/september
Utgivningsår/Year	2014
Antal sidor/Pages	112 p
ISSN	1650-1942
Kund/Customer	FM
Forskningsområde	1. Beslutsstödssystem och informationsfusion
FoT-område	Ledning och MSI
Projektnr/Project no	E36061
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

Föreliggande rapport utgör sammanfattning av den verksamhet som bedrivits inom FoT-projektet *Intuitiva gränssnitt* under 2012-2014. Rapporten inleds med en allmän genomgång om brownout-problematiken och i detta avseende relevant displayforskning. Rapportens huvuddel utgörs av beskrivningar och resultat från genomförda experiment. Detta följs av generella principer för riktlinjer vid design av bi- och multimodala gränssnitt, samt en översikt av ”nya” intressanta displaytekniker.

Projektets verksamhet fokuserades mot ett specifikt område: displayer för att stödja helikopterpiloter vid nedsatt sikt, främst då helikopterns rotor river upp damm eller snö, s.k. brownout respektive whiteout. Anledningen till att detta område valdes var dels att nedsatt sikt, vid t.ex. landning, är mycket säkerhetskritiskt och dels att en deltagare i projektet medverkat i en NATO-grupp avseende brown-out, vilket medförde relevant domänkunskap.

Projektet har tagit fram ett flertal visuella, taktila och bimodala (visuellt och taktilt kombinerat) displayer för att indikera lateral respektive vertikal drift i helikopter. Displayerna testades i helikoptersimulator genom sex experimentella studier med oerfarna deltagare, samt i en studie med professionella civila piloter.

Sammanfattningsvis visar resultaten från försöken att användning av en driftdisplay ger ökad förmåga att kontrollera lateral drift. Detta gäller vare sig en visuell eller taktil driftdisplay används. Detta visar på möjligheterna att indikera lateral drift med en taktil display, vilket kan minska pilotens visuella belastning genom ökad möjlighet till fokuserad uppmärksamhet mot marken och samtidigt få driftinformation från en display. Optimalt är sannolikt att kombinera visuell och taktil information i en bimodal display. Hur en taktil display som indikerar vertikal drift ska designas behöver vidare utredas. Resultaten bör kunna generaliseras, bl.a. till displayutveckling för cockpit i stridsflygplan.

Nyckelord: display, visuell, taktil, bimodal, lateral drift, brownout, helikopter

Summary

The present report provides a summary of the activities performed in the research project “Intuitive Interfaces” during 2012-2014. The report opens with a general overview of the brownout problem and relevant display research. The main part of the report contains description and results of performed experiments. This is followed by general guidelines for design of bi- and multimodal displays, and also an overview of “novel” and interesting display techniques.

The activities were focused towards a specific research area: displays to support the helicopter pilot in conditions of degraded visibility, mainly when the helicopter rotor blows up dust or snow, termed brownout and whiteout. The reason for choosing this area was partly that degraded visibility, e.g. when landing, is very safety critical, but also that one project member had participated in a NATO group on brownout, which entailed relevant domain knowledge.

The project has produced a number of visual, tactile, and bimodal displays for indication of lateral and vertical drift in the helicopter. The displays were tested in a helicopter simulator in six experimental studies with novice participants and in one study with professional civilian helicopter pilots.

To conclude, the results of the experiments show that the use of a drift display increases the ability to control lateral drift. This holds both for visual and tactile drift displays. This demonstrates the possibilities of using a tactile display for indication of lateral drift, which can reduce the visual load on the pilot by increased possibilities to focused attention to the ground and simultaneously receiving drift information from a display. The best solution is probably to combine visual and tactile information in a bimodal display. Design of a tactile display for indication of vertical drift must be further investigated. The results may most likely be generalized, e.g., to display development in fighter aircraft cockpit.

Keywords: display, visual, tactile, bimodal, lateral drift, brownout, helicopter

Innehållsförteckning

1	Inledning	9
1.1	Problembeskrivning	9
1.2	Forskning om displayer	11
1.2.1	Displayer	11
1.3	Möjliga tekniska lösningar	13
1.3.1	Radar	13
1.3.2	Laser	14
1.3.3	Passiva elektrooptiska system	14
1.4	Möjliga systemlösningar	14
1.5	Laboratorieresurser inklusive helikoptersimulering	15
1.5.1	Rörelseplattform	15
1.5.2	Datorer och mjukvara	16
1.5.3	Helikoptersimulator	17
1.6	FOI taktill väst	19
2	Genomförda experiment	21
2.1	Utvärdering visuell-, taktill- och bimodal lateral display	23
2.1.1	Metod	24
2.1.2	Resultat	26
2.1.3	Diskussion och slutsatser	27
2.2	Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som indikerar lateral drift	28
2.2.1	Metod	29
2.3	Utvärdering av taktila laterala displayer	37
2.3.1	Metod	38
2.3.2	Resultat	41
2.3.3	Diskussion och slutsatser	43

2.4	Inlärnings effekter av träning i helikoptersimulator.....	45
2.4.1	Metod.....	45
2.4.2	Resultat.....	47
2.4.3	Diskussion	52
2.5	Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som indikerar horisontell och vertikal drift	53
2.5.1	Metod.....	54
2.5.2	Resultat.....	58
2.5.3	Diskussion	63
2.6	Utvärdering av taktila displayer som indikerar horisontell och vertikal drift	65
2.6.1	Metod.....	65
2.6.2	Resultat.....	67
2.6.3	Diskussion	71
2.7	Flygttest i simulator och intervju med civila helikopterpiloter	72
2.7.1	Metod.....	72
2.7.2	Resultat intervjuer.....	73
2.7.3	Diskussion	75
2.8	Övergripande slutsatser från försöksverksamheten.....	75
3	Designprinciper	79
4	Samarbeten	81
5	'Ny' teknik	82
5.1	Transparent display	82
5.1.1	Möjliga användningsområden inom Försvarsmakten.....	82
5.2	3D TV.....	83
5.2.1	Möjliga användningsområden inom FM	84

5.3	Google glasögon.....	84
5.3.1	Möjliga användningsområden inom FM	85
5.4	Oculus rift.....	86
5.4.1	Möjliga användningsområden inom FM	87
6	Slutsatser och rekommendationer	88
7	Konferensbidrag och rapporter i projektet	90
7.1	FOI rapporter	90
7.2	Konferensbidrag	90
8	Referenser	92

1 Inledning

Fokus för projektet Intuitiva gränssnitt har varit att utvärdera hur alternativa gränssnitt bör utformas. Även om ansatsen varit bred så har projektet av praktiska skäl valt att fokusera verksamheten mot helikopter och det konkreta problemet brownout och whiteout. Fördelen med att fokusera på ett faktiskt problem är att det är enklare att närma sig en lösning på det aktuella problemet. Trots att fokus legat inom ett specifikt område så har tidigare kunskaper inom alternativa displayer kunnat appliceras på området. Det är också sannolikt att det efter projektslut går att generalisera resultatet till andra domäner, t.ex. obemannade farkoster och JAS 39 Gripen. Fokus i det praktiska arbetet har varit riktat mot en viss typ av displayer, men samtidigt har ett teoretiskt arbete bedrivits där resultaten har generaliserats till designprinciper för att bredda nyttan och användningen av forskningen. Denna rapport syftar till att ge en övergripande bild av projektets verksamhet samt att delge konkreta resultat som framkommit i de experiment som genomförts. Dessutom beskrivs forskning som bedrivits internationellt inom området brownout och internationell samverkan med NATO länder. Avslutningsvis ges en kort beskrivning av några relativt nya tekniker som bedöms vara av intresse för Försvarmakten i ett längre perspektiv.

1.1 Problembeskrivning

Sverige har idag helikoptrar för medicinsk evakuering (MEDEVAC) i Afghanistan och genomför flyguppsdrag i en miljö där sikten riskerar att försämrast kraftigt av uppvirvlande sand, s.k. brownout (Albery, 2012; Colucci, 2007; Whitehouse, Wachpress, & Quackenbush, 2010). Brownout/whiteout är ett fenomen där smuts/stoff, snö eller sand rivs upp av rotorbladens nedåtsström, vilket bl.a. förhindrar piloten att se horisonten, kan leda till att piloten felaktigt uppfattar att horisonten lutar (TEES, 2012), och/eller gör felbedömning av terrängens beskaffenhet vid landningsplatsen. För att kunna landa helikoptern säkert i situationer där piloten endast har begränsad möjlighet att se ut ur cockpit måste piloten förlita sig på instrument, kommunikation med andra i besättningen och tidigare erfarenhet/kunskap från liknande situationer. De begränsade visuella referenserna kan leda till att piloten inte upptäcker att helikoptern driver i sidled, lutar, eller förlorar höjd. En annan potentiell fara är att helikoptern upplevs röra sig i en viss riktning (trots att den inte gör det) pga. att sanden rör sig i en riktning som ett resultat av en kombination av vindriktning och rotorbladens rörelser. Dessa situationer kan leda till katastrofala följder, speciellt när helikoptern befinner sig på låg höjd. Även om piloter och övrig besättning tränat i liknande miljöer (Försvarmakten, 2011) finns det en uppenbar risk att piloten förlorar uppfattningen om var i luften helikoptern befinner sig när sikten försämrast (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 absolut viktigaste för helikopterpiloten under landning är att ha visuell kontakt med omgivningen, inklusive själva landningsplatsen. Piloten får under bra visuella förhållanden detaljerad visuell information från det centrala seendet. Det perifera seendet ger information om helikopterns orientering i förhållandet till horisonten och uppfattning av rörelse genom det optiska flöde som det perifera seendet uppfattar (Gibson, 1950; Wickens, 1992). Det centrala seendet gör att piloten kan relatera ett objekt i miljön till sig själv och till helikoptern medan det perifera seendet gör att piloten kan orientera sig själv och helikoptern till den omgivande miljön.

Landning under brownout förhållanden ställer en mängd krav på pilot och utrusning. Bland annat är det viktigt att piloten har en bra uppfattning, eller situationsmedvetande (Endsley, 1995; Smith & Hancock, 1995) om helikopterns position i förhållande till landningsplatsen och om förhållandena på själva landningsplatsen. Detta kan sammanfattas enligt följande uppdelning:

- Pilotens situationsmedvetande avseende helikopterns position.
 - Drift (longitudinellt eller lateralt med lägre hastighet än vad som kan uppfattas av GPS, eller under visuell uppfattningsförmåga).
 - Höjd över marken (Height Above Ground Level, HAGL) och hastighet med vilken helikoptern sjunker (Rate Of Descent, ROD).
 - Hastighet (där pilotens tillförlitlighet kan variera vid olika hastigheter)
 - Attitydindikering (måste kunna visa pitch och roll i ett större område än vad som är som helikopterns maximala gräns).
- Pilotens situationsmedvetande avseende landningsplatsen.
 - Storlek, form, yta, lutning, omgivande miljö, hinder och andra faror.

De tre vanligaste problemen i samband med brownout är:

1. Lateral drift som sker precis innan landning, där driften ligger under den nivå som vårt vestibulära system kan uppfatta (Cheung, 2004; Parmet & Ercoline, 2008).
2. Sand blåser och ger en felaktig upplevelse om drift, vilket kan ge upplevelsen av att helikoptern rör sig i motsatt riktning som sanden (Dichgans & Brandt, 1978).

3. Inbromsning vid dålig sikt kan leda till en upplevelse av att helikoptern tippas framåt, s.k. "somatogavic illusion" (Eriksson, Tribukait, von Hofsten, & Eiken, 2011; Headquarters, 2000; Lackner & DiZio, 2005; McGrath, Rupert, & Guedry, 2002).

Faktorer såsom trötthet, hög arbetsbelastning, icke-förväntade förändringar av uppdraget och flygrutten kan leda till spatial desorientering. En annan försvårande omständighet är användande av Night Vision Goggles (NVG) som i sig redan är svårt av bl.a. begränsat visuellt synfält, reducerad kontrast, förändringar i ljusförhållanden och gnistrande effekt när rotorbladet träffar sandkorn. Även besättningens självförtroende, fastslagna procedurer vid landning, vilka procedurer som gäller om instrument visar motstridig information, om det finns två piloter, huruvida båda piloterna har samma information, arbetsbelastning, sensorernas prestanda och eventuell fördröjning av presenterad data kan påverka landningen.

Det finns idag inget färdigt tekniskt system för att lösa det potentiella brownout problemet. Åtminstone tre områden bör beaktas när det gäller hur detta problem skall lösas: sensorer i helikoptern (Albery, 2012; Seidel, Schwarz, & Kielhorn, 2008), gränssnitt för att presentera informationen från sensorerna (Jennings, Holst, Craig, & Cheung, 2012; Neiswander, 2011; Szoboszlay et al., 2010) och besättningens samarbete och procedurer vid start respektive landning (Albery, 2012; Szoboszlay 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 inte utreds närmare.

1.2 Forskning om displayer

Displayer syftar oftast på visuella displayer men här diskuteras även taktila- och bimodala (visuell + taktil) displayer. Auditiva displayer är ett intressant område som kan komplettera visuella och taktila displayer men eftersom projektet inte specifikt arbetat med auditiva displayer exkluderas det i denna beskrivning.

1.2.1 Displayer

Projektet Intuitiva gränssnitt har genomfört forskning avseende informationspresentation till olika sinnesmodaliteter, visuella, taktila, auditiva, bi- och multimodala gränssnittslösningar (Lif & Oskarsson, 2012; Seidel et al., 2008). Gränssnitt i helikoptrar, och de flesta andra militära och civila system, är traditionellt sett visuella och auditiva. Om för mycket information koncentreras till ett sinne så finns en uppenbar risk att användare inte kan processa all information, och en form av överbelastning sker. En möjlighet för att undvika

detta är att presentera information till flera sinnen, t.ex. nyttja det taktila sinnet. Genomförda studier har inriktats mot att utvärdera och utveckla visuella, taktila och bimodala gränssnitt.

1.2.1.1 Visuella displayer

Visuella displayer kan placeras head-up, head-down eller hjälmmonterat. Det finns idag en utveckling av visuella gränssnitt för helikoptrar för att underlätta landning i visuellt krävande miljöer (Peinecke, Knabl, Schmerwitz, & Döhler, 2012; Szoboszlai, Alberly, Turpin, & Neiswander, 2008). Dessa gränssnitt syftar till att piloten ska bli medveten om hur helikoptern rör sig i luften, bl.a. avseende lateral drift, i visuellt krävande situationer såsom vid landning där risk för brownout föreligger.

1.2.1.2 Taktila displayer

Taktila displayer är ett alternativ till utvecklingen av visuella displayer (Eriksson et al., 2006; 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 information 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. Det är dock inte troligt att en taktil display helt kan ersätta en visuell display eftersom upplösningen på en visuell display vanligen är högre.

1.2.1.3 Uni-, bi- och multimodala displayer

Olika modaliteter har olika lämplighet beroende på vilken typ av information som ska presenteras. Information med taktila displayer till känselsinnet är lämpligt för att påkalla uppmärksamhet och skapa förståelse för riktningen till ett objekt (Lee & Starner, 2010; Van Erp & Self, 2008), men att förstå avstånd till objektet med hjälp av känsel är svårare. Med hörseln 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, eller att underlätta för användaren att

snabbt kunna urskilja en viss information från annan, t.ex. genom att använda en blinkande symbol (Chun & Wolfe, 2001; Ware, 2000; Wolfe, 2000). En metod för att undvika problemet med visuell överbelastning är att presentera viss information taktilt för att påkalla användarens uppmärksamhet. En lösning för att undvika överbelastning och för att nyttja respektive modalitets styrka är att kombinera olika typer av displayer, bimodala- (två modaliteter) eller multimodala (flera modaliteter). En bimodal display kan användas för att påkalla uppmärksamhet med auditiv stimuli och sedan presentera visuell information och därmed låta det visuella sinnet ta över för vidare analys av informationen. Eftersom användaren i många fall redan är visuellt och auditivt belastad är ett alternativ att även använda det taktila sinnet, dvs. en multimodal display. Dessa tre modaliteter kan kombineras, men det kräver en bra design för att de ska fungera tillsammans på bästa sätt. Även om audio, inklusive 3D audio är intressant och i en verklig situation inte ska exkluderas, så har vi i projektet valt att fokusera på bimodala displayer (visuell & taktil display). Anledningen till detta val är att piloten (och övriga i helikoptern) redan får auditiv information via kommunikation och dessutom finns mycket störande ljud från helikoptern. Detta resulterar i en bedömning att ytterligare auditiv information är olämpligt.

1.3 Möjliga tekniska lösningar

Användande av olika typer av sensorer är en viktig del i ett stödsystem för att ge piloten information vid nedsatt sikt, t.ex. vid brownout situationer, och är därmed viktig del av lösningen av problemet. Därför ges här en kortfattad beskrivning av några sensorer och deras möjliga användning. Olika sensorer har olika styrkor respektive svagheter, och informationen måste integreras i systemet och presenteras för användarna (piloterna) på ett sätt som gör att de kan tillgodogöra sig informationen.

1.3.1 Radar

Radarsystem som idag finns i många helikoptrar har inte förmågan att penetrera sand och smuts vid start och landning, medan system som arbetar på högre frekvenser (35-94 GHz) har den förmågan. Det finns flera olika radarsystem: millimetervågsradar, elektronisk stötfångare (likt de system som finns på bilar) och aktiv millimetervågsradar. Positivt är att radarsystem ofta kan se genom sand, men negativt är att räckvidden ofta är begränsad och att den spatiala upplösningen är begränsad och därmed inte är tillräcklig för att skapa en bra 3D bild. För en mer ingående beskrivning av dessa system se Albery (2012).

1.3.2 Laser

LADAR (Laser Detection And Ranging) som även kallas LIDAR (Light Detection And Ranging) återger en 3D bild i realtid. Styrkan med LADAR är att den skannar och ger en högupplöst bra 3D bild av landningsplatsen. Till nackdelarna hör att systemet har begränsad förmåga vid dimma, moln, snö och när sand blåser som i brownout situationen. En möjlighet är att i realtid skanna ett område innan man kommer in i sandmolnet och därmed få en detaljerad 3D visualisering inför landningen. För ytterligare information se Albery (2012).

1.3.3 Passiva elektrooptiska system

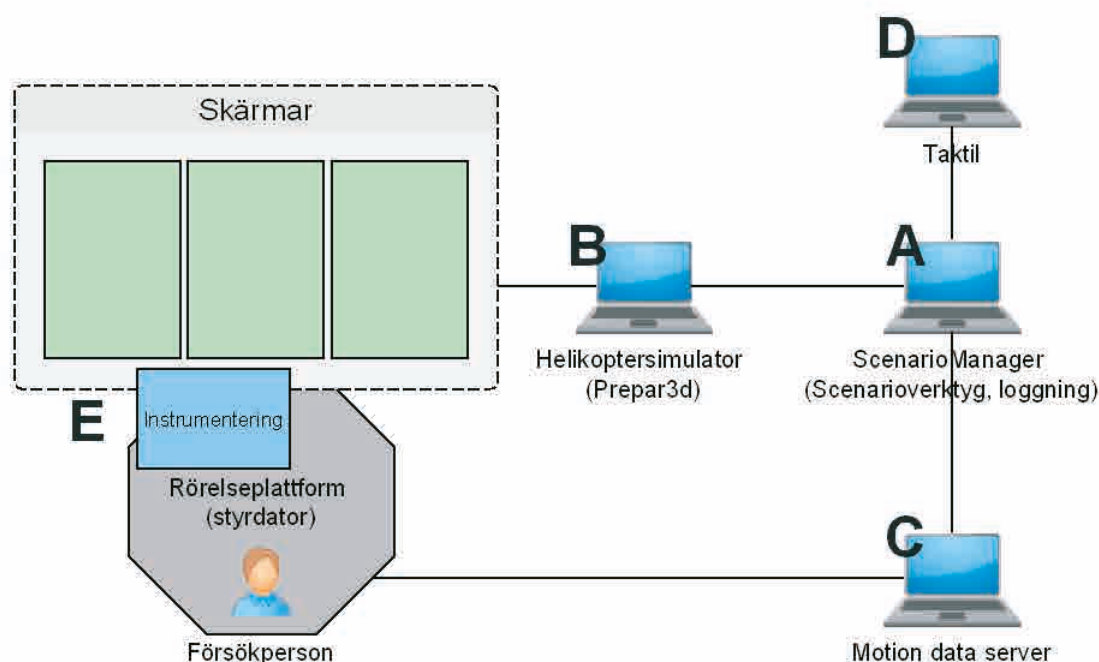
Det finns minst tre tänkbara alternativ på passiva elektrooptiska system: ljuskänsliga kameror, värmesensorer och passiv millimetervågssensor. Ljuskänsliga kameror kan inte se genom virvlande sand men om de monteras under helikoptern kan piloten eller annan medlem i besättningen få en del information om markens beskaffenhet i samband med landningen och därmed öka säkerheten. För ytterligare information se Albery (2012).

1.4 Möjliga systemlösningar

Även om det finns teknologi som kan se genom dammoln så finns det idag inte någon färdig lösning som kan implementeras och användas operativt i helikoptern. Kraven på ett operativt system är höga både avseende spatial och temporal upplösning. De mest mogna teknologierna är TV kameror, värmekameror och huvudmonterade system och de används redan i många flygande system. Eftersom dessa system redan finns kan de användas även i brownout situationer, men dessvärre är deras användning vid brownout begränsad. Symbolik är ofta inte framtagen för landning, då drift- och höjdinformation ofta inte presenteras på ett sätt som kan tolkas eller processas intuitivt, men det pågår en utveckling på detta område för att motverka spatial desorientering (Albery, 2012). Även om system som LADAR och aktiva millimetervågradarsystem är väl fungerande inom vissa tillämpningsområden innebär det inte att de enkelt kan monteras på en helikopter och direkt fungera i brownout situationer. Det är troligt att både de tekniska systemen i sig och framför allt presentationen av data till piloten måste anpassas för att fungera på ett önskvärt sätt. Taktila displayer är ett lovande alternativ och flygtester har genomförts med goda resultat men det finns fortfarande en rad frågor att besvara/lösa. På kort sikt är troligen lösningen att kombinera befintliga landningsprocedurer med förbättrad information om helikopterns position där en del av lösningen är förbättrad visuell presentation av drift.

1.5 Laboratorieresurser inklusive helikoptersimulering

Forskare inom enheten för Människa-Teknik-Organisation (MTO) har en lång erfarenhet av att genomföra studier i laboratorium. Eftersom verksamheten förändras över tid är det viktigt att bygga upp en resurs som enkelt kan anpassas för att möta de FM behov som finns för tillfället. Verksamhet har tidigare bl.a. inriktats mot flyg (JAS 39 Gripen) och stridsfordon, men projektet *Intuitiva gränssnitt* som har arbetat med helikoptrar har anpassat laboratoriet till att passa till denna verksamhet. Nedan följer en kort beskrivning av laboratoriet och försöksplattformen (Figur 1) som det fungerat 2011-2014.



Figur 1. Schematisk bild av utformningen av försöksplattformen.

1.5.1 Rörelseplattform

Rörelseplattformen som försökspersonen placeras på under försöken förmedlade i de genomförda försöken helikopterns rörelse till försökspersonen.

Rörelseplattformen är en Moog 6 DOF2000E (version 170-E131) vilket är en elektronisk rörelseplattform som kan bära en last på max 1000kg och har sex frihetsgrader. Runt varje axel kan vridning ske upp till ungefär ± 22 grader. För mer utförlig teknisk information hänvisas läsaren till tekniska specifikationen på tillverkarens hemsida (MOOG, 2014). På rörelseplattformen sitter en styrdator till vilken rörelseinformation skickas för hur rörelseplattformen ska röra sig.

Styrdatorn på rörelseplattformen använder i sin tur en algoritm (Motion Drive Algorithm, MDA) som tillverkaren tillhandahåller för att översätta helikopterns orientering, hastighet och acceleration till en rörelse som ska simulera de givna parametrarna på bästa sätt. För att kontrollera rörelseplattformen har en mjukvara utvecklats som körs på en fristående dator, se C i Figur 1. Denna mjukvara kommunicerar med den styrdator som sitter på rörelseplattformen. Av säkerhetsskäl kräver rörelseplattformen att rörelseinformation erhålls 60 gånger i sekunden. Om inte detta kan upprätthållas stänger plattformen automatiskt av sig och återgår till utgångsläget. För att upprätthålla denna överföringshastighet krävs att mjukvaran körs på en separat dator. All kommunikation mellan de olika delarna i försöksplattformen utgörs av TCP/IP-trafik över ett lokalt nätverk sammankopplat med en switch.

1.5.2 Datorer och mjukvara

Datorutrustningen som används är COTS (commercial of the shelf) PC-datorer med operativsystemet Microsoft Windows 7. För att styra försöken så används en kombination av egenutvecklad och kommersiell programvara.

SimScenarioManager är en egenutvecklad mjukvara som med hjälp av API:et till Prepar3d, SimConnect, hämtar ut samt skickar in kommandon till Prepar3d.

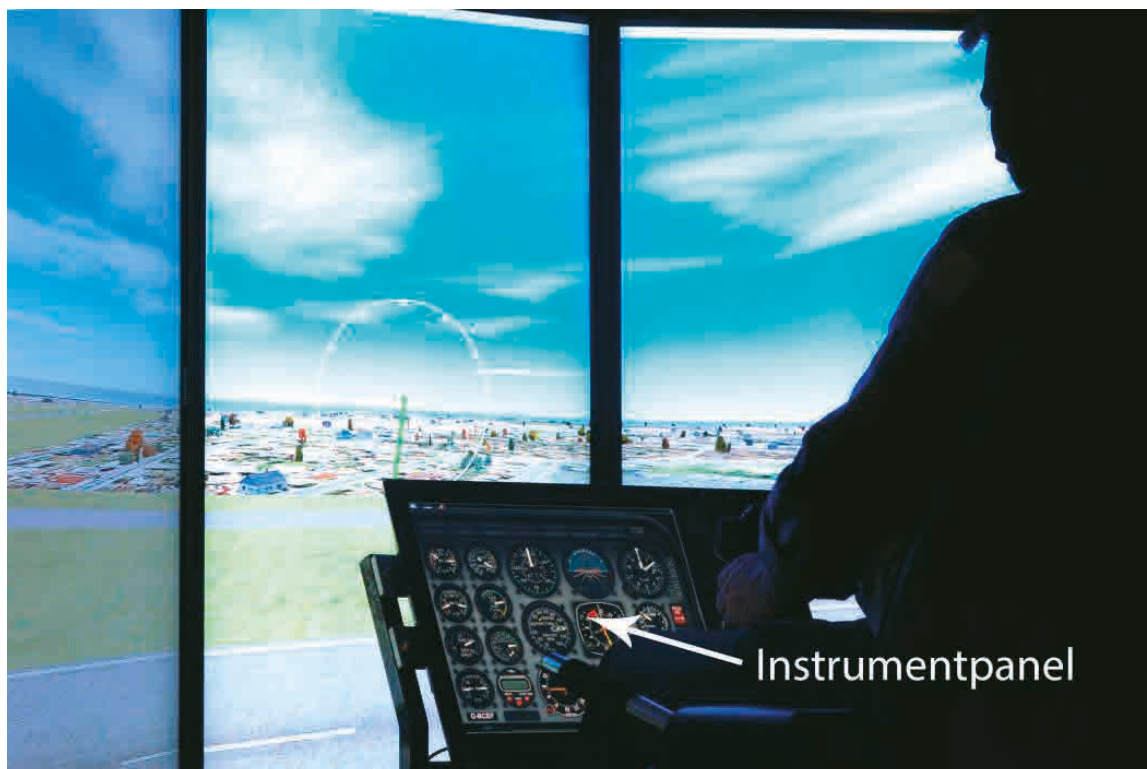
Denna mjukvara är central för försöken och ansvarar för en rad olika funktioner:

- Starta och stoppa försökskörningarna.
- Ange ingångsvärden för försöken, såsom scenario/omvärld, startposition mm.
- Logga prestationsrelaterad information.
- Skicka rörelseinformation till servern som kommunicerar med rörelseplattformen.
- Skicka information till datorn som skapar den taktila presentationen.

SimScenarioManager loggar information om försökspersonernas prestation som används vid dataanalys efter att försöket genomförts. I den genomförda försöksserien handlar det om positions- och hastighetsinformation för helikoptern, hur lång tid försöksomgången tagit mm. För utförlig genomgång av vilken information som loggats samt på vilket sätt informationen använts vid dataanalys hänvisas läsaren till Kapitel 2 där respektive experiment redovisas. Loggningen sker med en frekvens på ca 10 Hz.

1.5.3 Helikoptersimulator

Mjukvaran som används för att driva helikoptersimuleringen utgörs av Lockheed Martin-utvecklad simulatorprogramvara (Prepar3D, version 1.4.4747.0) (Oskarsson et al., 2013). Helikoptersimuleringen körs på en separat dator och har tre skärmar placerade framför deltagaren som presenterar omvärldsvisualiseringen samt viss displayinformation från cockpit, samt en mindre fjärde skärm placerad strax ovan knähöjd framför deltagaren där viss instrumentering visas, se E i Figur 1, samt Figur 2.



Figur 2. Helikoptersimulator med tre skärmar för omvärldsvisualisering och en skärm för instrumentering.

För att manövrera helikoptern används stigspak, joystick (G-stick III) och pedaler av märket Flight Link Aviation training devices. För utförlig teknisk beskrivning av dessa se tillverkarens hemsida (Flightlink, 2014). Dessa är inkopplade på den dator som styr helikoptersimuleringen, dator B i Figur 1. För visualiseringen av helikoptersimuleringen som skapas av Prepar3d används tre stycken Samsung 46” UE46D6507-skärmar med 60 Hz och en upplösning på 1920x1080 pixlar vilka är placerade framför försökspersonen. Dessutom används en skärm (Acer T231H) med 60 Hz och en upplösning på 1920x1080 pixlar placerade strax ovan knähöjd framför försökspersonerna som visar helikopterns instrumentering.

1.5.3.1 Beskrivning av helikoptrar som används i experimenten

Vid genomförandet av studierna användes två olika helikoptermodeller, Sikorski Seahawk och Bell JetRanger 206B. Sikorski Seahawk är en tvåmotorig helikopter som bl.a. kan användas för räddningsuppdrag och bekämpning av sjömål (Figur 3). Helikoptertypen finns i flera versioner, och den som används i simuleringen är en version som innehåller element från flera olika Seahawkmodeller, där den nya varianten av displayer används (Kapitel 2.1). Seahawk helikoptern påminner mycket om Helikopter 16 (Blackhawk) som Försvarsmakten använder. Valet av denna helikoptermodell gjordes för att det fanns en hovringsdisplay integrerad, vilket var avgörande för att jämföra drift med visuell respektive taktill display. Dessutom hade vi inte utvecklat egna visuella driftdisplayer vid tillfället för genomförandet av det första försöket (Kapitel 2.1). Dessutom bedömdes helikoptermodellen vara relativt enkel att flyga, vilket var viktigt för att inlärningsstiden för testpersonerna inte skulle vara för lång.



Figur 3. Seahawk helikopter som används i experiment 1 och vid utvärdering med civila helikopterpiloter (Compfight, 2014a).

Utvecklandet av egna driftdisplayer innebär att vi fritt kunde välja helikoptermodell. Eftersom studenter användes som deltagare i de flesta försöken valdes en Bell 206B JetRanger helikopter eftersom den bedömdes vara relativt

enkel att flyga (enklare än Seahawk). Andra helikoptermodeller var för svåra att lära sig flyga på den korta tid som fanns tillgänglig. Helikoptern kan ha antingen en eller två motorer och togs ursprungligen fram i början av 1960-talet. I Sverige har denna helikoptermodell används av Försvarsmakten med benämningen Hkp 6, men togs ur drift 2004. Även polisen och av flera civila operatörer använder helikoptermodellen (Figur 4).



Figur 4. Bell 206B Jetranger helikoptermodell som används i fem experiment, (Compfight, 2014b).

1.6 FOI taktill väst

Den taktilla västen består av en väst med 36 stycken taktilla vibratorer, så kallade taktorer, och en styrenhet med elektronik som kopplas med ett seriegränssnitt till en dator. Varje taktor är cylinderformad, 27 mm lång med diameter en på 10 mm (Figur 5). I västen är taktorererna monterade med tre ringar med 12 taktorer i varje ring. När västen är påtagen sitter dessa taktorer runt torso, med ringarna fördelade för att täcka ett så stort område av kroppen som möjligt. Detta gör att det går att presentera vibrationer på 36 olika positioner, dvs. presentation i 12 olika riktningar runt kroppen på 3 olika höjder. Västen är sydd i ett stretchmaterial som gör att en storlek passar de flesta. Det är en fördel ur vibrationssynpunkt om den sitter åtsittande. Under fodret sitter taktorererna monterade i fickor och där döljs även alla kablar som kopplas till en kontakt av typen 44 polig high density D-sub.

En taktor består av en liten likströmsmotor med en excentrisk vikt på axeln som skapar en vibration när den roterar. På engelska benämns den "pager motor" eller ERM motor där ERM står för Eccentric Rotating Mass. Motorerna används för taktil återkoppling i olika typer av produkter som mobiltelefoner och surfplattor. De motorer som används i den taktila västen drivs med 5 volts spänning och ger då en vibration som känns tydligt mot kroppen och vibrerar med en frekvens på ungefär 120 Hz. Motorerna är monterade i ett kort rör av hårdplast för att kunna rotera fritt när de monteras i västen. Den runda formen på röret gör att taktorn blir behaglig att bära mot kroppen. Taktornerna kan sedan slås på och av för att skapa olika vibrerande signaler. Man kan till exempel skapa vibrationer som indikerar riktning eller låta vibrationerna flytta runt mellan taktornerna och därmed ge en känsla av rörelse, eller rörelsemönster, över kroppen. De enda begränsningarna är att taktorn måste hinna komma upp i varv för att man skall få en kännbar vibration, samt att styrelektroniken är begränsad i drivförmåga till 4 taktorer samtidigt. De taktorer som används i västen behöver ungefär 50-100 millisekunder för att ge en tydlig vibration. Taktornerna styrs av en enkel enkortsdator av typen BasicMicro Atom Pro. Den innehåller en 8 bitars mikroprocessor av typen H8/3664 från Renesas och buffertkretsar för att kunna driva taktornerna. Mjukvaran utvecklad till enkortsdatorn tillåter en enkel styrning av taktornerna via ett seriellt gränssnitt och styrs i sin tur av mjukvara på en PC där man kan skapa olika typer av taktila signaler. Det seriella gränssnittet är av typen RS-232.

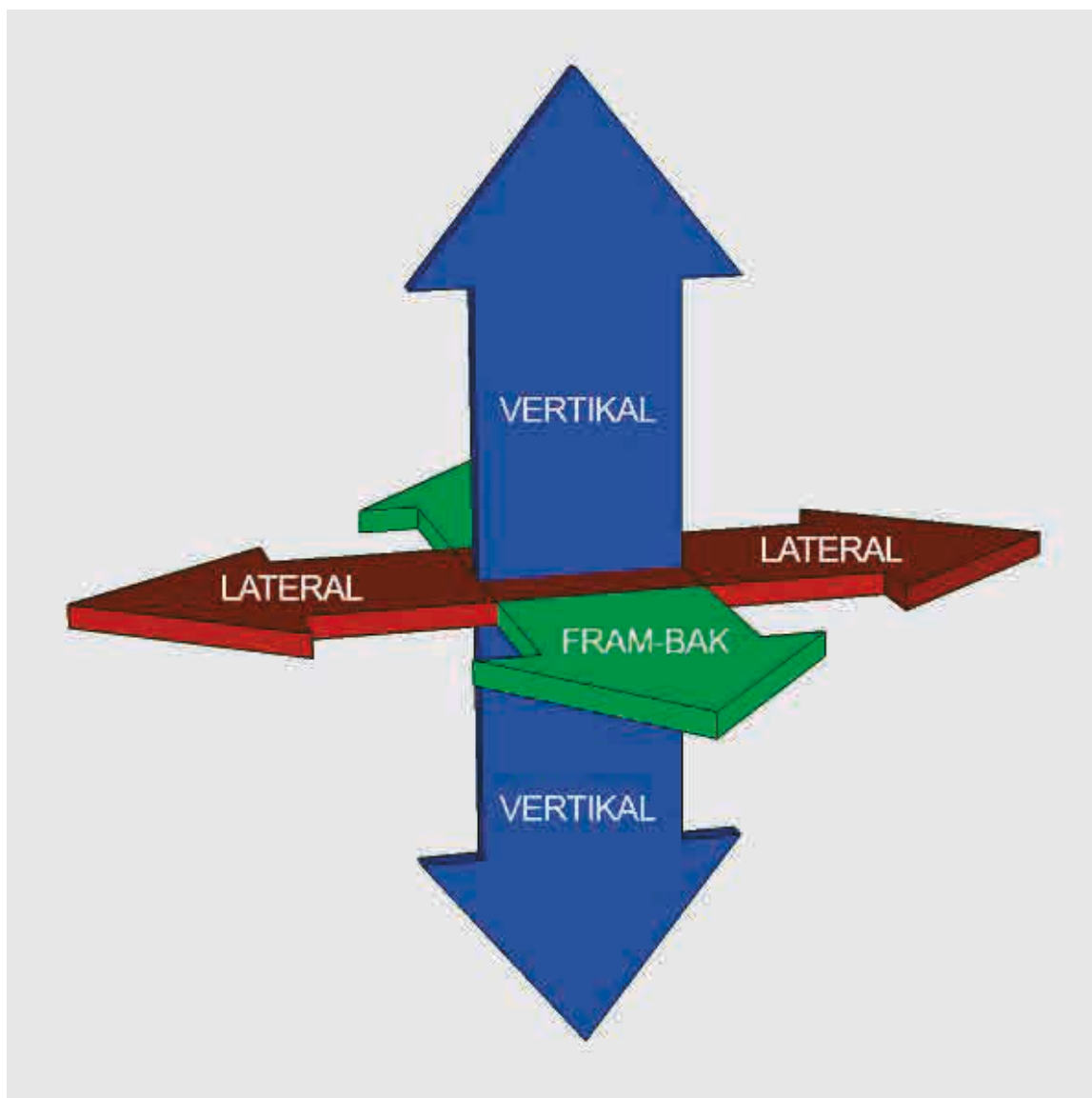


Figur 5. Väst med tre ringar, 12 taktorer i respektive ring ger sammanlagt 36 taktorer. Till höger visas en taktor (längd 27 mm) som normalt är insydd i västen.

2 Genomförda experiment

Projektet har under tre års tid utvärderat olika displayalternativ för presentation av drift i helikopter. Detta har gjorts genom experimentella studier med objektiva mätningar av prestation, vilka har kompletterats genom deltagarnas subjektiva skattningar av att använda de olika displayerna. Nedan följer en kortfattad redovisning av respektive experiment. För att resultaten ska kunna redovisas kortfattat ges endast hänvisningar med fotnoter till statistiska analyser, vilka redovisas separat sist i rapportens bilaga. I de fall de redovisade experimenten har rapporterats i tidigare FOI rapporter och/eller som konferensbidrag ges hänvisning till denna utförligare rapportering. Experimenten syftade till att utvärdera möjligheten att öka pilotens förmåga att kontrollera drift lateralt och vertikalt genom användning med flera olika typer av driftdisplayer. Riktningar och begrepp som används är *lateral* som syftar på drift till höger-vänster (röd pil), fram-bak (grön pil), *horisontell* som syftar på höger-vänster plus fram-bak (röd och grön pil) och *vertikal* driftinformation (blå pil) (Figur 6).

Försöken har genomförts med deltagare utan tidigare erfarenheter av helikopterflygning. Det innebär att prestationsmåttene generellt visar större avvikelser än vad som skulle ha varit fallet om professionella piloter hade använts. Det är dock inte nivån på deras generella prestation som har testats utan den relativa skillnaden i hur de responderar på information från respektive driftdisplay. Eftersom svårigheten på själva flyguppgiften knappast påverkats av vilken driftdisplay de har använt bör därför den relativa skillnaden mellan displayerna vara ett relativt reliabelt mått. Ett problem är dock att bristerna i deltagarnas flygförmåga medfört relativt stor variabilitet i prestationsmåttene. Måttene har därför relativt stor varians, vilket innebär att det krävs relativt stora skillnader mellan jämförda mätpunkter för att resultaten ska bli statistiskt signifikanta. Det finns därför anledning till viss försiktighet med att förkasta skillnader som inte är statistiskt signifikanta, i synnerhet när medelvärdesskillnaderna är stora.



Figur 6. Pilar som åskådliggör olika riktningar och begrepp som används i rapporten. Vänster-höger (röd) benämns lateralt, fram-bak (grön) benämns fram-bak, upp-ner (blå) benämns vertikalt och fram-bak + höger vänster benämns horisontellt.

Sammanlagt har sju försök genomförts i projektet. I Tabell 1 presenteras en sammanställning för att ge en övergripande bild och frågeställningar för respektive försök.

Tabell 1. Översikt av genomförda försök.

Frågeställning	Displaytyper	Beskrivning
Kan kontroll av lateral drift reduceras med driftdisplay?	Grund, visuell, taktil & bimodal.	Kapitel 2.1
Vilken driftdisplay ger bäst kontroll av lateral drift vid flygning rakt fram respektive hovring?	Visuell lateral & 360°, taktil lateral & 360° och 4 bimodala konfigurationer.	Kapitel 2.2
Hur påverkar typ av taktil kodning kontroll av lateral drift?	Visuell och 6 taktila konfigurationer.	Kapitel 2.3
Hur påverkar träning förmågan att flyga simulerad helikopter?	Visuell och taktil.	Kapitel 2.4
Vilket stöd ger en driftdisplay vid hovring för kontroll av horisontell och vertikal drift?	Standard (utan driftinfo.), visuell, taktil & bimodal.	Kapitel 2.5
Hur påverkar typ av taktil kodning kontroll av lateral och vertikal drift?	Visuell och 3 olika taktila konfigurationer.	Kapitel 2.6
Vilka styrkor och svagheter har helikoptersimulatorens?	Standarddisplay (utan driftinfo.) och 2 visuella driftdisplayer.	Kapitel 2.7

2.1 Utvärdering visuell-, taktil- och bimodal lateral display

Syftet med detta försök var att undersöka om lateral drift i helikopter kan reduceras genom användande av en driftdisplay. Tre typer av driftdisplayer testades (visuell, taktil och bimodal) och jämfördes med den visuella standarddisplayen som inte visar lateral drift. Hypoteser var (a) samtliga tre driftdisplayer leder till reducerad lateral drift och (b) användning av visuell- och bimodal display ger större reduktion av lateral drift än användning av taktil display.

2.1.1 Metod

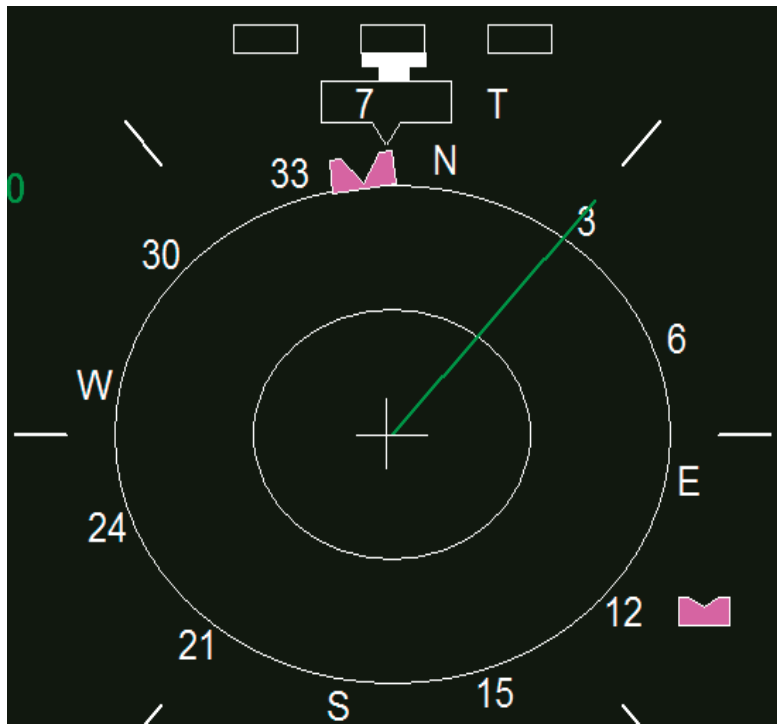
12 deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga helikopter deltog i försöket. Försöket genomfördes med en PC-baserad simulering av en Seahawk helikopter i Microsoft Simulator X Acceleration Expansion (Microsoft, 2013). Joysticks användes för att styra helikoptern och reglera gaspådraget. Grafiken presenterades på tre stycken 23-tums LCD-displayer placerade på högkant 80 centimeter framför deltagaren.

Den visuella standarddisplayen visade standardinstrumenteringen i Seahawk och presenterades på den nedre delen av den mellersta LCD-displayen. De instrument som deltagarna använde var kompass, altitud (höjd), hastighet (airspeed) och attityd (Figur 7).



Figur 7. Den visuella standarddisplayen. Nederst i mitten kompassen, bokstaven E överst anger att helikoptern färdas österut.

Den visuella driftdisplayen var en hovringsdisplay som finns i Seahawk-simuleringen (Figur 8). Vid hovring visas hastighet och riktning med en vektor vars längd ökar när driften ökar. Vid drift noll försvinner vektorn helt, vid drift på 10 knop når vektorn den inre ringen och vid drift på 20 knop eller mer når vektorn den yttre ringen. Vid flygning rakt fram visar vektorn resultanten av hastighetens komponent rakt fram och komponenten av den laterala hastigheten. Eftersom deltagarna i detta försök flög rakt framåt med hastigheten 40 knop nådde vektorn alltid den yttre ringen. Den visuella driftdisplayen överlagrades över kompassen i grunddisplayen (Figur 8).



Figur 8. Visuellt driftdisplay överlagrad över kompassen i standarddisplayen.

Den taktila displayen var en FOI-utvecklad taktill väst med 12 taktorer i ett band runt torso (se kapitel 1.6 för mer detaljerad beskrivning). I detta försök användes endast två taktorer i västen, en under respektive armhåla för att indikera drift i sidled. Driften indikerades genom pulsvisa vibrationer (varaktighet 100 ms) på den sida åt vilken helikoptern drev. När helikoptern började driva hade pulserna sin lägsta frekvens på 0,5 Hz och de nådde sitt maximum på 5 Hz när driften i sidled var 10 m/s. Om driften bytte riktning användes inte intervallet mellan pulserna, utan taktorn på motsatt sida gav omedelbart en puls.

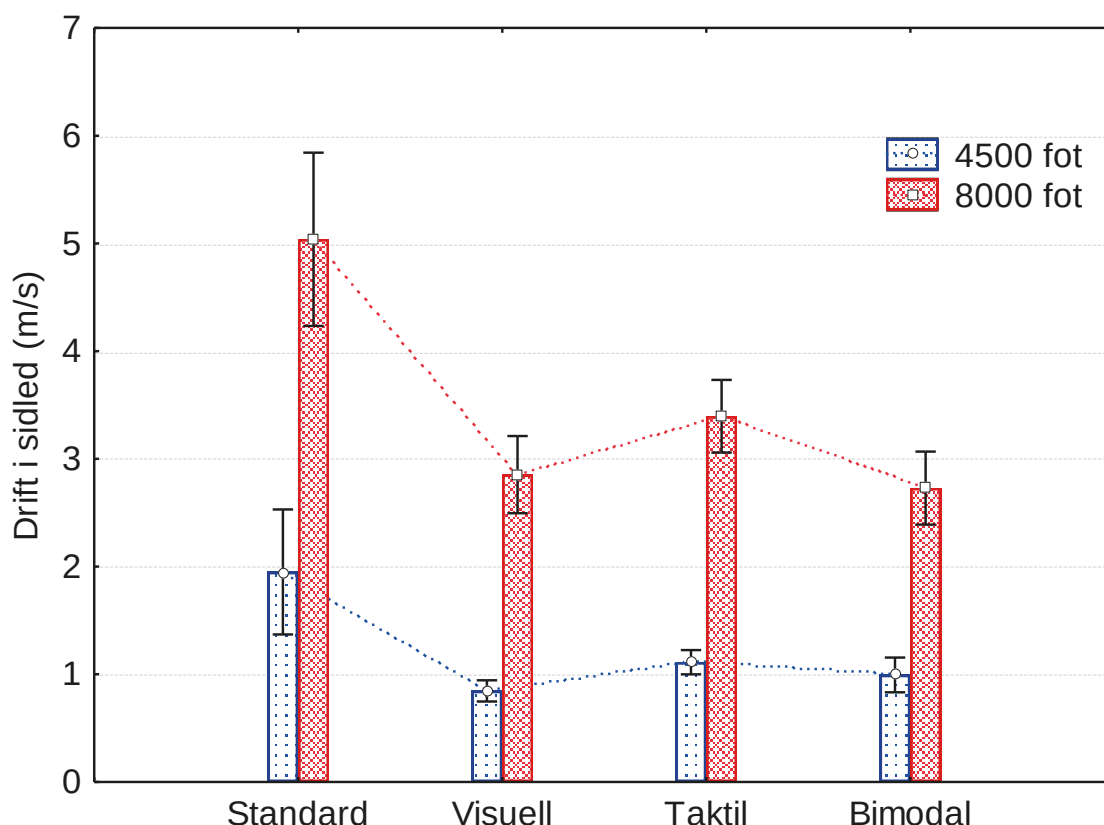
Den bimodala displayen utgjordes av att de visuella och taktila driftdisplayerna användes tillsammans.

Deltagarnas uppgift var att flyga rakt fram och undvika drift i sidled. De skulle också hålla konstant höjd (4500 respektive 8000 fot), hastighet (40 knop) och riktning (öster). Dvs. testet utfördes under flygning på två olika höjder, 4500 respektive 8000 fot. Försöket genomfördes med inomgruppsdesign, dvs. samtliga deltagare testade samtliga 4 displayer på båda höjderna.

Prestation mättes som genomsnittlig drift i sidled i m/s, genomsnittlig avvikelse från angiven höjd (4500 respektive 8000 fot) i meter, avvikelse från angiven hastighet (40 knop) i meter per sekund och avvikelse från angiven riktning (öster) i grader. Deltagarna besvarade också enkäter (bl.a. uppfattning om drift och mental arbetsbelastning), som huvudsakligen innehöll skattningsfrågor på skalan 1-7.

2.1.2 Resultat

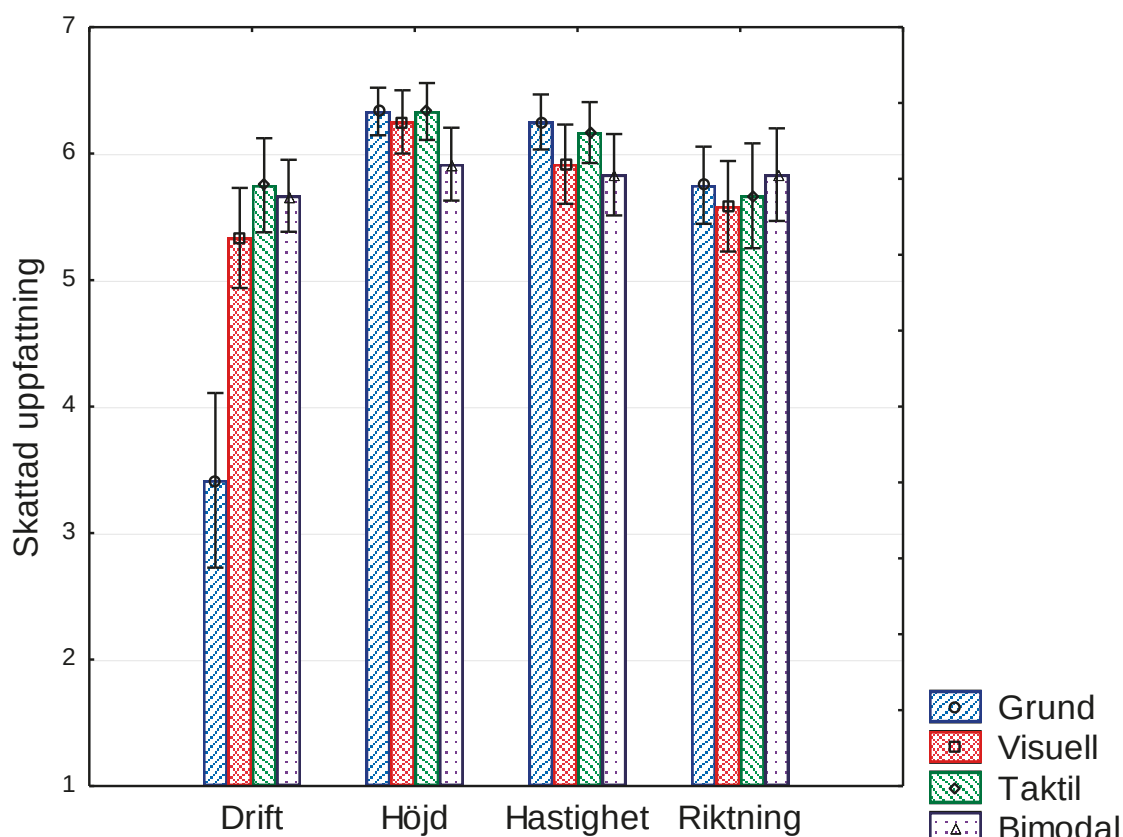
Lateral drift var signifikant högre med standarddisplayen, som inte visar drift i sidled, jämfört med samtliga tre driftdisplayer ($p < 0,05$). Det var också signifikant högre lateral drift vid flygning på 8000 fot jämfört med vid flygning på 4500 fot ($p < 0,001$)ⁱ.



Figur 9. Genomsnittlig lateral drift (m/s) för respektive displaykonfiguration. Felstaplar ± 1 standardfel.

När det gäller att hålla korrekt höjdⁱⁱ, hastighetⁱⁱⁱ och riktning^{iv} var det inte någon signifikant skillnad mellan displayerna. Däremot var avvikelserna från korrekt höjd och riktning större vid flygning på hög höjd ($p < 0,05$).

Deltagarna skattade att det var signifikant svårare att uppfatta information om lateral drift med standarddisplayen jämfört med samtliga övriga displayer. Att uppfatta information om drift avseende höjd, hastighet och kurs upplevdes däremot som enkelt med samtliga displayer^v (Figur 10).



Figur 10. Deltagarnas skattningar om hur svårt/lätt det var att uppfatta information om drift i sidled, höjd, hastighet och riktning med respektive display (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt)

Mental arbetsbelastning skattades som medelhög och det var inte någon skillnad mellan displayerna ($4,8 \pm 0,5$ medelvärde av standardfelet för respektive display)^{vi} (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög).

Deltagarna besvarade två frågor om huruvida det upplevdes som obehagligt eller störande att använda displayerna (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Det var inte några signifikanta skillnader mellan displayerna och skattningarna var mycket låga ($1,6 \pm 0,3$; medelvärde av standardfelet för respektive display)^{vii}.

2.1.3 Diskussion och slutsatser

Prestationen avseende kontroll av lateral drift var bättre vid användning av samtliga tre driftdisplayer jämfört med standarddisplayen som inte ger information om lateral drift. Detta stöds också av de subjektiva skattningarna som visade att det var svårare att uppfatta information om lateral drift när standarddisplayen användes. Hypotes (a) att samtliga tre driftdisplayer leder till bättre kontroll av lateral drift kunde därmed bekräftas. Det var dock inte någon skillnad i kontroll av lateral drift mellan de tre driftdisplayerna, vilket också stöds av deltagarnas

subjektiva skattningar som visar att det upplevdes som enkelt att uppfatta lateral drift med samtliga tre driftdisplayer. Hypotes (b) att bimodal och taktil display skulle ge större reduktion av lateral drift än taktil display kunde därmed inte bekräftas. Att deltagarna lyckades lika bra med den taktila displayen stöder dock möjligheterna att använda en taktil driftdisplay. Det bör dock noteras att i detta experiment fanns det inte någon sekundäruppgift som tvingade deltagarna att ta blicken från den visuella instrumenteringen. Det är främst när synsinnet är överbelastat, eller piloten måste observera annan information än visuella displayer, som taktila och bimodala displayer förväntas ha störst effekt.

Att det inte fanns någon signifikant skillnad mellan displayerna avseende förmågan att hålla höjd, hastighet och riktning tyder på att deltagarna klarade av att hålla koll på dessa instrument samtidigt som de hanterade informationen från driftdisplayen. Detta stöds också av skattningarna av mental arbetsbelastning, som visserligen låg på en medelhög nivå men inte var högre när driftdisplayerna användes jämfört med när standarddisplayen användes.

De viktigaste slutsatserna av detta experiment är (1) användning av en driftdisplay medför bättre kontroll av lateral drift, och (2) att kontroll av lateral drift var lika bra med samtliga tre driftdisplayer visar på möjligheterna att använda taktil och bimodal information som komplement till visuell information, vilket kan utnyttjas för att avlasta synsinnet för andra parallella uppgifter under flygning, t.ex. att fokusera på referenspunkter på marken vid landning eller att söka efter hot.

2.2 Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som indikerar lateral drift

Syftet med detta försök var att vidare undersöka vilka typer av displayer för indikering av lateral drift som är bäst lämpade vid flygning rakt fram respektive vid hovring. Eftersom tidigare försök visat att kontroll av lateral drift är lika effektiv med en taktil som med en visuell driftdisplay (Avsnitt 2.1) var det av intresse att undersöka om detta resultat kunde verifieras i detta försök. Syftet var dessutom att undersöka om kontroll av drift kunde ökas genom användning av en lateral display vid flygning framåt jämfört med den 360° display som användes i det tidigare försöket. Ett andra syfte var att undersöka betydelsen av kongruent kodning mellan modaliteter vid design av bimodala displayer, dvs. att kodning mellan modaliteter överensstämmer med varandra för att undvika motstridig information till användaren. Antagandet gjordes att kontroll av drift kommer att vara högre med en kongruent kodad bimodal display, vilket bygger på teorier om visuell momentum (Kapitel 3). Därför testades både bimodala displayer med överensstämmande och med icke överensstämmande information. Följande hypoteser formulerades: (a) Vid flygning rakt fram ger en lateral driftdisplay störst reduktion av lateral drift. (b) Vid hovring ger en 360-graders display störst

reduktion av lateral drift. (c) Kontroll av lateral drift är ungefär likvärdig med visuell och taktil display. (d) En bimodal display med kongruent kodning ger bättre kontroll av lateral drift än en bimodal display med icke kongruent kodning.

2.2.1 Metod

Försöket genomfördes med 18 deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga helikopter eller helikoptersimulator. Experimentet genomfördes i helikoptersimulatorens i FOI MSI labb (Kapitel 1.5). Den helikoptermodell som simulerades var Bell 206B Jet Ranger (Kapitel 1.5.3.1).

För de taktila displaykonfigurationerna som testades användes FOI:s taktila väst (Kapitel 1.6). Som kontrollbetingelse användes en visuell head-down (HDD) driftdisplay överlagrad över kompassen i helikopterns standardinstrumentering (Figur 8), dock med skillnaden att vid flygning framåt var den konfigurerad som en lateral display. Den visuella driftdisplay som testades i försöket var placerad head-up (HUD) (Figur 11). Syftet med att placera den head-up var att optimera användningen av visuell information genom att piloten inte ska behöva titta ner på instrumenteringen för att använda den visuella driftinformationen, utan i stället ska kunna behålla blicken på marken, vilket kan vara av stor vikt vid situationer där lateral drift är kritiskt, t.ex. landning och hovring.



Figur 11. Visuell lateral display med den gröna linjen som indikerar drift till vänster.

Sammanfattningsvis testades följande nio displaykonfigurationer:

- Visuell HDD (head-down) – var placerad head-down på instrumentpanelen. Vid flygning framåt visades motsvarande information som visuell lateral (HUD). Vid hovring visades motsvarande display som Visuell 360° (HUD). Denna display användes som kontrollbetingelse.
- Visuell lateral (HUD) - presenterade information om sidodrift (åt vänster respektive höger) med en vektor, dvs. vektorn visade komponenten av helikopterns laterala hastighet. Vektorns längd ökade med sidodriftens hastighet och nådde ringens yttersta kant när sidodriftens hastighet var 10 m/s (Figur 11).
- Visuell 360°(HUD) - presenterade drift i alla riktningar, dvs. resultanten av helikopterns hastighet. Vektorn ökade med driftens hastighet och nådde ringens yttersta kant när resultanten av helikopterns hastighet var 10 m/s. Vid flygning framåt färdades helikoptern framåt i 30 knop (15,4 m/s), vilket innebär att vektorn under flygning alltid nådde fram till ringens yttersta kant (Figur 11).
- Taktill lateral – presenterade information om sidodrift (åt vänster respektive höger) med pulser under respektive armhåla. Det var endast två taktorer i västen som användes, och displayen gav på motsvarande sätt som visuell lateral display information om komponenten av helikopterns laterala hastighet. Drift indikerades med pulser med varaktigheten 100 ms. När drift i sidled började var det en paus på 2000 ms mellan pulserna och pausen minskade med driftens hastighet till 200 ms vilket uppnåddes då sidodriften nådde 10 m/s.
- Taktill 360° - presenterade information om drift i alla riktningar. Den taktor vars position motsvarade riktningen av driften pulserade, och displayen gav därmed information om driftens riktning på motsvarande sätt som visuell 360° dvs. den visade komponenten av helikopterns hastighet. Drift indikerades med pulser med varaktigheten 100 ms. När drift började var det en paus på 2000 ms mellan pulserna och pausen minskade med driftens hastighet till 200 ms vilket uppnåddes då sidodriften nådde 10 m/s. Vid flygning framåt färdades helikoptern framåt i 30 knop (15,4 m/s), vilket innebär att drift vid flygning alltid indikerades med den kortaste pausen på 200 ms.
- Bimodal lateral kongruent – bestod av en kombination av visuell lateral och taktill lateral.
- Bimodal 360° kongruent – bestod av en kombination av visuell 360° och lateral 360°.
- Bimodal inkongruent I – bestod av en kombination av visuell lateral och taktill 360°.

- Bimodal inkongruent II – bestod av en kombination av visuell 360° och taktil lateral.

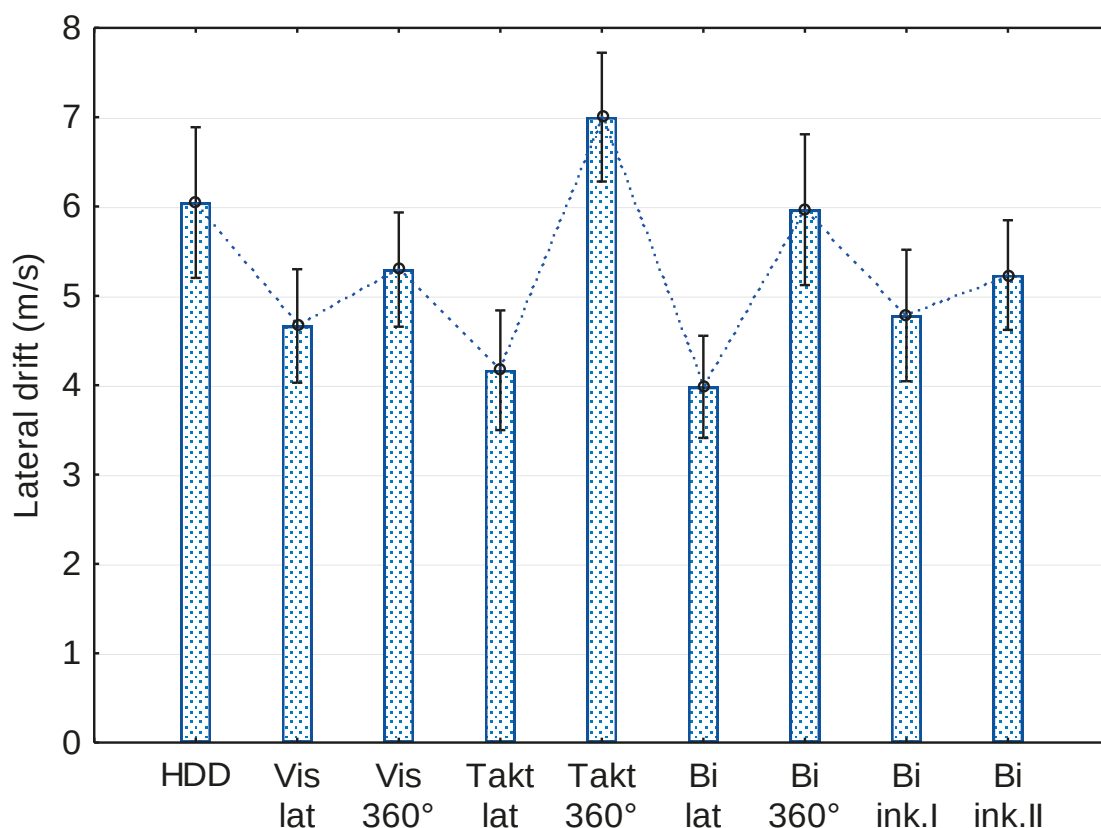
Deltagarnas uppgift var att först flyga rakt framåt under 2 minuter. Efter detta skulle de hovra under 1,5 minuter. Under båda uppgifterna var deltagarnas huvuduppgift att undvika drift i sidled. Under flygningen framåt skulle de dessutom hålla konstant fart (30 knop), konstant höjd (8000 fot) samt flyga mot ett bestämt väderstreck (syd, nord, väst, öst). Under hovring skulle de dessutom fortsätta att hålla konstant höjd (8000 fot) samt hålla helikopterns nos mot det angivna väderstrecket. Försöket genomfördes med inomgruppsdesign, dvs. samtliga deltagare testade samtliga 9 displayer. Ordningen mellan displayerna balanserades över deltagarna. Innan försöket fick deltagarna träna på att flyga helikoptern tills de klarade att utföra uppgifterna i försöket, vilket tog mellan 40 till 60 minuter.

Prestation mättes som genomsnittlig drift i sidled i m/s, genomsnittlig avvikelse från angiven höjd (8000 fot) i meter, avvikelse från angiven hastighet (30 knop vid flygning rakt fram och från 0 knop vid hovring) i m/s och avvikelse från angiven riktning i grader.

Deltagarna klarade inte hovringsuppgiften tillräckligt bra för att data skulle vara reliabla. Prestationsdata analyserades därför endast för flygning rakt fram. Pga. tekniska problem kunde avvikelse från korrekt riktning inte analyseras. Vid analys av avvikelse från korrekt höjd ströks en deltagare med extremt stora avvikelser, vilket uppenbart berodde på oförmåga att hantera helikoptern. Deltagarna besvarade också enkäter, som huvudsakligen innehöll skattningsfrågor på skalan 1-7. Deltagarnas skattningar analyserades för både flygning rakt fram och för hovring.

2.2.1.1 Resultat

Lateral drift vid flygning rakt fram var signifikant högre med taktil 360° display jämfört med bimodal lateral display ($p < 0,05$), samt tendens till högre drift jämfört med taktil lateral display ($p = 0,060$)^{viii} (Figur 12).

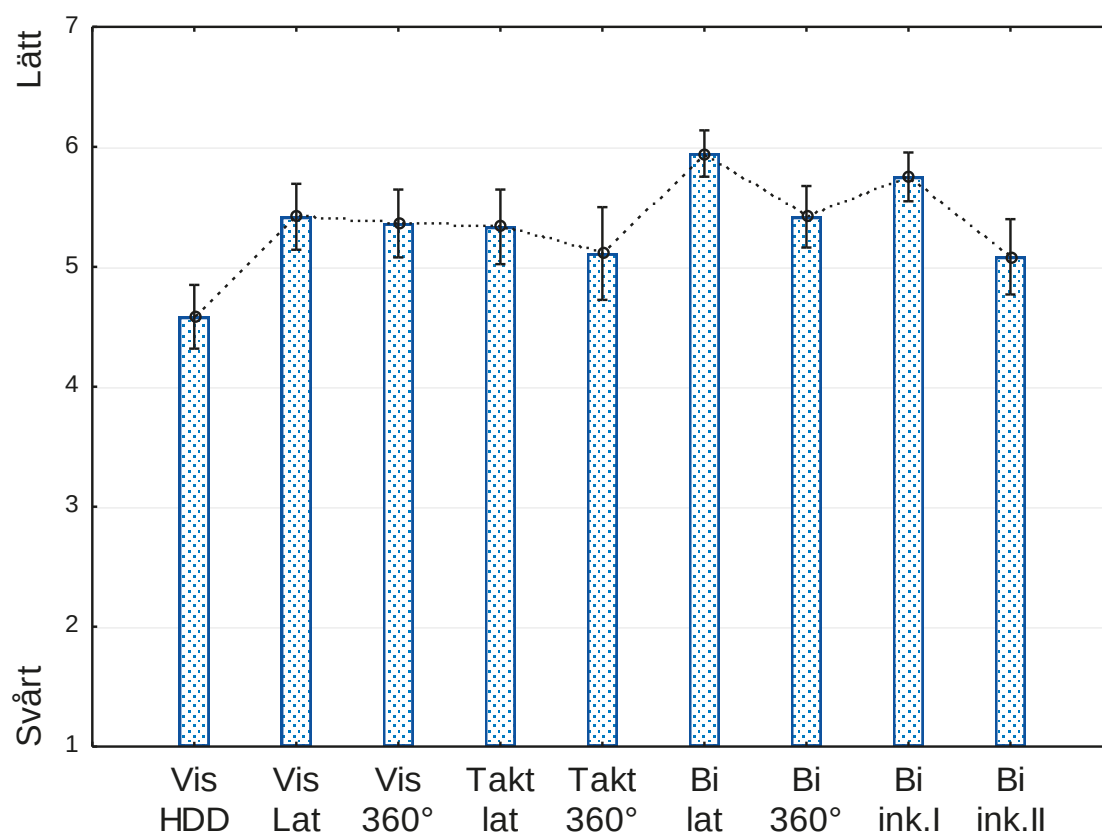


Figur 12. Medelvärden av lateral drift för de nio displayerna vid flygning framåt.

Det fanns inte någon skillnad mellan displayerna avseende avvikelse från angiven höjd (8000 fot) vid flygning rakt fram^{ix}. Den genomsnittliga avvikelsen för respektive display och uppgift var $169,3 \pm 45,2$ m, dvs. deltagarnas förmåga att hålla korrekt höjd var synnerligen begränsad.

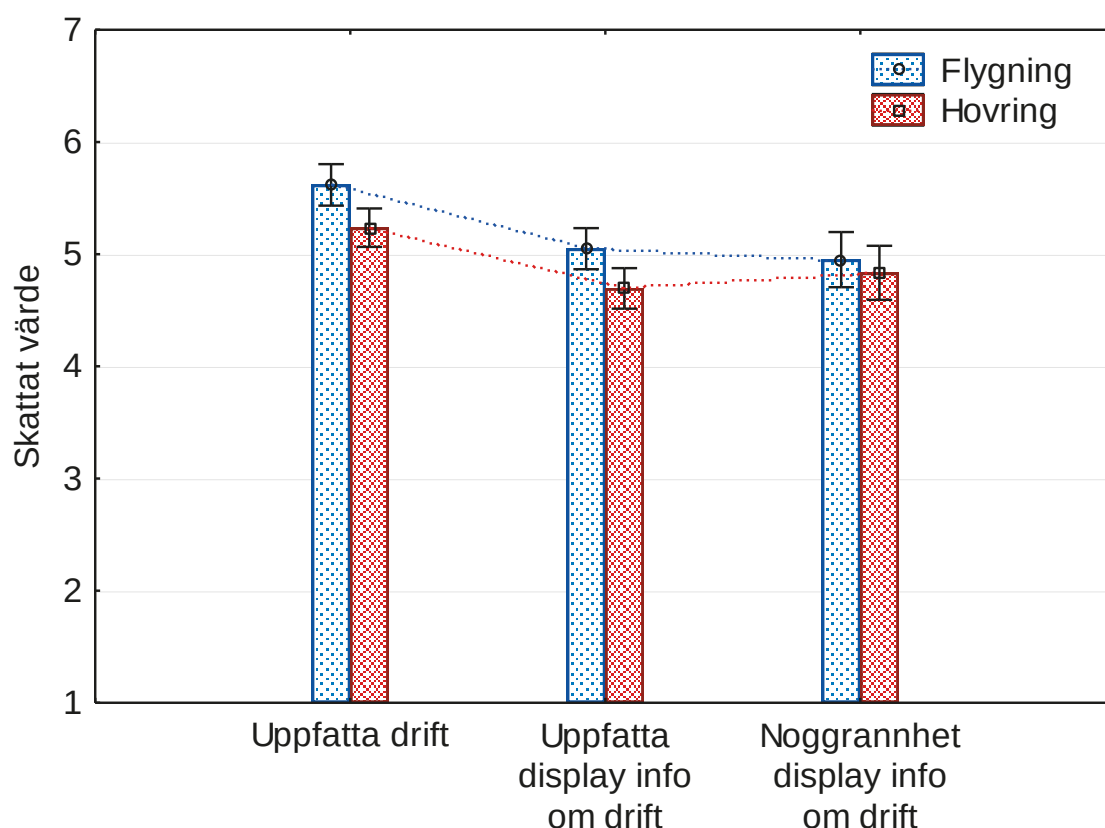
Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna avseende avvikelse från angiven hastighet (30 knop) vid flygning rakt fram^x. Den genomsnittliga avvikelsen från angiven hastighet för respektive display var $7,2 \pm 1,1$ m/s.

Deltagarna skattade hur det var att uppfatta drift i sidled med respektive display vid hovring och flygning (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Deras skattningar visade att det var generellt lätt att uppfatta drift i sidled, men det var signifikant mindre lätt att uppfatta drift i sidled med Visuellt HD display jämfört med både bimodal lateral ($p < 0,01$) och bimodal inkompatibel I ($p < 0,05$)^{xi} (Figur 13).



Figur 13. Deltagarnas skattningar av hur svårt/lätt det var att uppfatta drift i sidled vid användning av respektive display.

För samtliga displayer utom visuell head-down skattade deltagarna förutom hur svårt/lätt det var att uppfatta drift i sidled också hur svårt/lätt det var att uppfatta displayens information om drift i sidled (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt), samt hur noggrann de uppfattade att displayens information om drift i sidled var (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Det var inte några signifikanta skillnader mellan displayerna, men både att uppfatta drift och att uppfatta displayernas information om drift skattades som signifikant lättare vid flygning än vid hovring (båda $p < 0,01$). Skattningarna för att uppfatta drift var också både vid flygning och hovring signifikant högre (lättare) för att uppfatta drift i sidled jämfört med både att uppfatta display information om drift i sidled och för hur noggrann displayinformationen uppfattades (samtliga $p < 0,01$)^{xii}. Trots skillnaderna var dock samtliga skattningar generellt höga (Figur 14).



Figur 14. Deltagarnas skattningar av hur svårt/lätt det var att uppfatta drift i sidled, att uppfatta displayernas information om drift i sidled (1 = Mycket lätt – 7 Mycket svårt), samt hur noggrann displayernas information om drift i sidled uppfattades (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Obs, grafen visar medelvärden för samtliga displayer utom visuell HDD.

Deltagarna skattade hur svårt/lätt det var att uppfatta displayinformationen avseende att hålla hastighet, höjd och riktning med respektive display (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Det var inte någon skillnad mellan displayerna, men deltagarna skattade att det var signifikant lättare att uppfatta informationen under flygning ($4,8 \pm 0,3$) jämfört med vid hovring ($4,5 \pm 0,3$) ($p < 0,01$)^{xiii}. Dvs. det uppfattades som relativt enkelt att uppfatta displayernas information om hastighet, höjd och riktning och skillnaden mellan flygning och hovring var i praktiken liten.

Deltagarna skattade hur svårt/lätt det var att undvika drift i sidled med respektive display vid flygning och hovring (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Det var inte någon skillnad mellan displayerna, men det skattades som signifikant svårare att undvika drift vid hovring ($2,8 \pm 0,2$) jämfört vid flygning ($4,0 \pm 0,3$) ($p < 0,001$)^{xiv}.

Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning vid användning av respektive display vid flygning och hovring (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna, men den mentala

arbetsbelastningen skattades signifikant högre vid hovring ($5,2 \pm 0,33$) jämfört med vid flygning ($4,8 \pm 0,3$) ($p < 0,05$)^{xv}.

Deltagarna skattade huruvida de upplevde informationen som störande med samtliga displayer utom visuell HDD (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Skillnaden mellan visuell 360° display ($2,0 \pm 0,2$) som skattades minst störande och bimodal 360° display ($3,6 \pm 0,4$) som skattades som mest störande var signifikant ($p < 0,05$)^{xvi}. Torts att denna skillnad var signifikant var samtliga skattningar låga, vilket innebär att inte någon display upplevdes som speciellt störande.

Deltagarna skattade huruvida de upplevde informationen som obehaglig (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Frågan ställdes om de taktila och bimodala displayerna, dvs. de displayer där det taktila bältet användes. Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna och skattningarna var mycket låga ($2,2 \pm 0,3$)^{xvii}. Dvs. informationen från den taktila displayen upplevdes inte som obehagligt.

Deltagarna skattade hur de upplevde samstämmigheten av visuell och taktil information i de bimodala displayerna (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Det fanns inte någon skillnad mellan de bimodala displayerna och skattningarna var något över medel på skalan ($4,5 \pm 0,4$)^{xviii}.

2.2.1.2 Diskussion

Hypotes (a) att en lateral driftdisplay ger störst reduktion av lateral drift vid flygning framåt kunde inte bekräftas för visuell display. För den taktila driftdisplayen ger dock tendensen till lägre drift med lateral jämfört med 360° displayen visst stöd för hypotesen. Det som talar för att den laterala taktila displayen bör ge generellt lägre lateral drift än den 360° taktila displayen som användes är att 360° displayen ger information om riktningen på resultanten av hastighetens komponenter framåt och åt sidan, vilket innebär att när helikoptern färdas framåt i hög hastighet (dvs. 30 knop vid flygning) blir resultantens avvikelse endast några få grader från framriktningen, och detta gäller även om driften i sidled är relativt hög. Detta innebär att en taktil display som har en separation på 30 grader mellan taktorerna endast ger stegvis information och med en upplösning som är för låg för att överföra reliabel information om lateral drift. En visuell 360° driftdisplay med den design som användes i försöket ger däremot även vid flygning framåt kontinuerlig information av driftens storlek, och även om vektorns utslag endast är litet så medför synsinnets höga upplösning god möjlighet att upptäcka små förändringar i vektorns utslag. Detta tyder på att om en taktil display ska användas så är en lateral taktil display att föredra vid flygning rakt fram. Ska en visuell display användas kontrolleras drift lika bra med visuell lateral display och visuell 360° display. Det finns dessutom fördelar om en 360° display kan användas både vid flygning rakt framåt och vid hovring, eftersom då eventuella problem med så kallad "mode awareness" kan undvikas (risk för sammanblandning av vilken mode systemet befinner sig i), vilket kan

uppstå om displayen byter från lateral till 360° indikering när helikoptern saktar ner och börjar hovra.

Hypotes (b) att en 360° display ger störst reduktion av drift vid hovring kunde inte undersökas eftersom deltagarna inte klarade att genomföra hovringsuppgiften tillräckligt bra för att mätdata skulle ge reliabla resultat. En erfarenhet från försöket är därför att det krävs betydligt mer träning om deltagare utan tidigare erfarenhet av helikopterflygning ska genomföra en hovringsuppgift. Svårigheten att klara hovringsuppgiften återspeglas också av deltagarnas subjektiva skattningar som visar att de ansåg att det var svårt att klara hovringsuppgiften utan drift. Oavsett detta, vid hovring ska drift i samtliga riktningar kontrolleras, och eftersom en lateral display endast ger information om drift i sidled är det rimligtvis nödvändigt med en 360° display för att hantera detta. Det krävs dock vidare studier för att utreda detta.

Hypotes (c) att kontroll av lateral drift är ungefär likvärdig med taktil och visuell display kunde endast bekräftas för lateral display. Att hypotes (c) inte kunde bekräftas för 360° displayerna beror sannolikt på, vilket diskuterats ovan, att en taktil 360° inte är lämpad för indikering av drift vid flygning framåt med relativt hög fart. Att en taktil lateral display ger lika bra kontroll av drift vid flygning framåt som en visuell display visar dock att det finns goda möjligheter att använda taktil information för indikering av lateral drift.

Hypotes (d) att en bimodal display med kongruent kodning ger bättre kontroll av drift än en med icke kongruent kodning kunde endast indirekt bekräftas genom att bimodal lateral display var den display som gav signifikant bäst kontroll av lateral drift. Att en kongruent bimodal display med lateral kodning ger bäst kontroll av lateral drift är naturligt eftersom kontroll av drift var bättre med både de visuella och taktila unimodala laterala displayerna än med motsvarande 360° displayer, även om detta endast statistiskt kunde påvisas genom tendens för den taktila displayen. Det bör dock observeras att det inte fanns någon signifikant skillnad avseende kontroll av lateral drift mellan de bimodala displayerna och att de subjektiva skattningarna inte heller visade några skillnader mellan dem. Inkongruent kodning orsakade därmed inte den typ av problem som hade förutsetts. Att en kombination av visuell 360° och taktil lateral (här inkongruent II) inte gav signifikant sämre drift kan till och med vara ett positivt resultat eftersom om en visuell 360° kan användas tillsammans med en lateral taktil display så behöver den bimodala displayen endast ändra mode för den taktila displayen (från lateral till 360°) när helikoptern bromsas upp inför landning. Att den bimodala laterala displayen var den display som gav bäst kontroll av lateral drift visar på möjligheterna att kombinera visuell och taktil information.

Att deltagarna inte uppfattade de taktila eller bimodala displayerna som störande eller obehagliga är ett positivt resultat för användning av taktil information. Visserligen upplevdes den bimodala 360° displayen som något mer störande, men eftersom skattningarna trots skillnaden var låga och den inte upplevdes som

obehaglig var detta troligen främst en effekt av att 360° taktil informationspresentation är mer svårtolkad vid flygning rakt framåt.

Kontroll av lateral drift förbättrades inte signifikant genom att den visuella head-down display som användes i föregående försök (Avsnitt 2.1) ersattes med en visuell HUD. Det är troligt att detta berodde på att flyguppgiften inte ställde några större krav på att titta ut genom cockpit, vilket gjorde att det var relativt enkelt att hålla ögonen på instrumenteringen. De subjektiva skattningarna visar dock att det upplevdes som signifikant svårare att uppfatta lateral drift när den visuella head-down displayen användes jämfört med två av de bimodala displayutformningarna. Att denna skillnad inte fanns för visuell HUD tyder på att det var enklare att kontrollera lateral drift när en visuell HUD användes.

De viktigaste slutsatserna är att vid flygning rakt framåt ger en visuell driftdisplay ungefär lika bra kontroll av drift vare sig en 360° eller en lateral display används. Om däremot en taktil driftdisplay används vid flygning framåt ges visst stöd för att en lateral display bör användas. Vid flygning framåt ger en taktil lateral display eller en lateral bimodal display ungefär lika bra kontroll av drift som en visuell display, vilket visar på möjligheterna att komplettera visuell information med taktil information, vilket är synnerligen viktigt i situationer då piloten har hög visuell belastning eller inte har tid att hålla ögonen på visuella displayer.

2.3 Utvärdering av taktila laterala displayer

Syftet med detta försök var att undersöka hur olika typer av kodning av en taktil driftdisplay i helikopter påverkar förmågan att kontrollera drift i sidled. Sex olika taktila displayer testades och jämfördes med en visuell driftdisplay. Tidigare studier (Kapitel 2.1 och 2.2) har visat att användande av taktil driftdisplay är ett alternativ till att använda visuell driftdisplay, vilket vi i denna studie utvärderade vidare genom att jämföra en visuell driftdisplay med flera olika taktila driftdisplayer. Även om taktil driftdisplay kan användas så är det inte självklart hur den ska kodas, t.ex. vilka taktila mönster som reducerar drift mest. Grunden var att ta fram intuitiva taktila mönster, men det är inte givet vad det innebär och hur komplexa mönster kan uppfattas av en användare. För att undersöka detta togs två huvudalternativ fram. Det första alternativet grundade sig på tidigare försök och fick en enkel kodning, medan det andra alternativet fick en mer komplex kodning. Eftersom information om både driftens riktning och hastighet kan ha betydelse undersöktes dessutom ytterligare displayalternativ för att koda drifthastighet i den enkla respektive komplexa taktila driftdisplayen.

Hypoteser var: (a) Den visuella och de taktila driftdisplayerna ger lika bra kontroll av lateral drift. (b) Enkel taktil driftdisplay ger bättre kontroll av lateral drift än komplex taktil driftdisplay. (c) Enkel taktil display med långsam ökning

av frekvenspåslag (högre upplösning) ger bättre kontroll av lateral drift än vid både snabbt (lägre upplösning) och konstant (ingen upplösning) frekvenspåslag.

2.3.1 Metod

14 deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga helikopter eller helikoptersimulator deltog i försöket. Experimentet genomfördes i helikoptersimulatorn i FOI MSI labb (Kapitel 1.5). Den helikoptermodell som simulerades var Bell 206B JetRanger (Kapitel 1.5.3.1).

En visuell standarddisplay som visade standardinstrumenteringen i Bell 206B JetRanger och presenterades på 23-tums LCD-skärmen och användes under samtliga displaybetingelser i försöket (Figur 15). De instrument som deltagarna använde var (1) hastighetsmätare, (2) horisontgyro, (3) höjdmätare och (4) kompass.



Figur 15. Standarddisplay med den svarta T-formade ramen som benämns "Basic T" med (1) hastighetsmätaren (vänster), (2) horisontgyro (mitten), (3) höjdmätare (höger) och (4) kompass (nere i mitten).

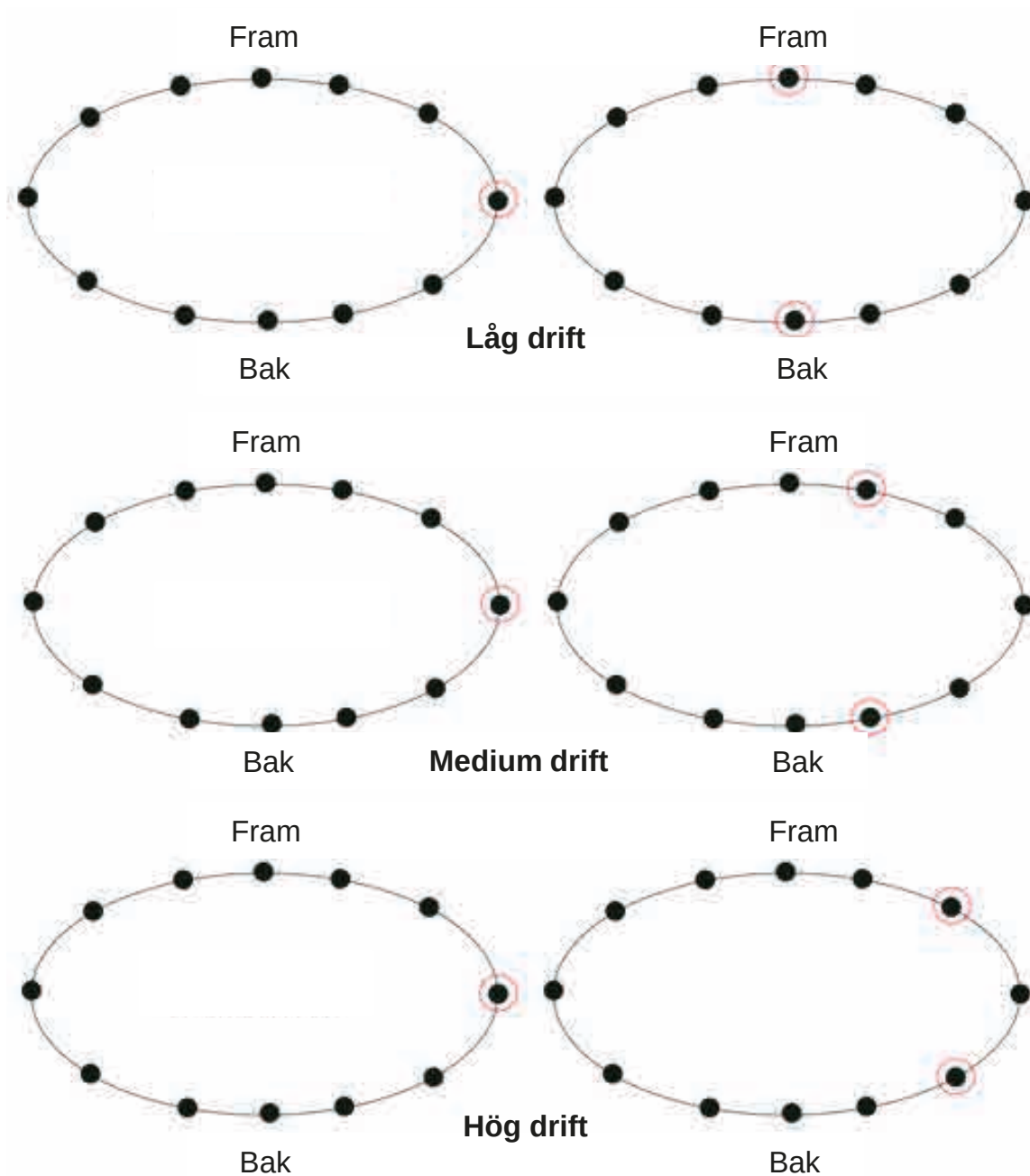
Den visuella driftdisplayen presenterades head-up, överlagrad på helikopterns simulerade vindruta. Denna display har utvecklats på FOI och är en lateral driftdisplay, vilket innebär att den endast visar drift i sidled. Den bestod av en grön vektor som pekade i sidodriftens riktning, dvs. antingen till höger eller vänster. Vektorns längd ökade med sidodriftens hastighet och när sidodriften var

10 m/s eller högre nådde vektorn den vita cirkelns yttersta kant. Om driften var mindre än 0,4 m/s visades vektorn inte (Figur 11).

Den taktila displayen bestod av den FOI utvecklade taktila västen (Kapitel 1.6). I detta försök användes endast västens mittersta band. Pulsernas längd var alltid 100 ms. Avståndet mellan pulserna berodde på vilket frekvenspåslag som användes (se nedan).

Det var sex olika taktila displayer som testades, vilket kan uppdelas i två typer av taktila driftdisplayer (enkel och komplex) som vardera presenterade drift i sidled med tre olika typer av frekvenspåslag (konstant, långsam och snabb).

Den enkla taktila displayen använde endast två taktorer, en under respektive armhåla för att indikera drift i sidled i respektive riktning. Den komplexa taktila displayen använde ett alternerande mönster där samtliga 12 taktorer användes. Pulserna alternerade mellan taktorn under respektive armhåla och två andra taktorer som gav en samtidig puls. Här ges en beskrivning med taktorer numrerade enligt en klockas urtavla av hur drift till höger presenterades. När drift åt höger nådde 0,4 m/s (långsam drift) började pulser alternera mellan taktorn under höger armhåla (klockan 3) och de mittersta taktorer (klockan 12 och 6). När driften nådde 1/3 av displayens maximala indikering (medium drift) alternerade pulserna mellan taktorn under höger armhåla och taktorer klockan 1 och 5. När driften nådde 2/3 av displayens maximala indikering (snabb drift) alternerade pulserna mellan taktorn under höger armhåla och taktorer klockan 2 och 4 (se illustration i Figur 16). Drift till vänster indikerades på motsvarande sätt. Designen av dessa displayer gjordes i en iterativ process där olika alternativ testades och dessa valdes eftersom de upplevdes vara bäst vid förförsök.



Figur 16. Illustration av drift till höger vid långsam, medium och snabb drift till höger. Pulsen alternerar alltid mellan taktorn under höger armhåla och två andra taktorer.

De tre olika frekvenspåslag som användes för att indikera hastigheten på den laterala driften var enligt följande. Konstant – alltid konstant paus mellan pulssekvenserna på 2000 ms. Långsam – pausen mellan pulserna minskade från 2000 ms när drift i sidled började till 200 ms när driften nådde 10 m/s. Snabb – pausen mellan pulserna minskade från 2000 ms när drift i sidled började till 200 ms när driften nådde 5 m/s.

När konstant frekvenspåslag användes gav den enkla taktila displayen endast information om driftens riktning, medan den komplexa displayen gav information

om både riktning och hastighet. När långsamt och snabbt frekvenspåslag användes gav den grundläggande taktila displayen information om både riktning och hastighet, och den komplexa displayen gav då information om driftens hastighet på två sätt, både genom det taktila mönstret och genom intervallet mellan pulserna. Detta innebär att vid långsamt frekvenspåslag indikerade både den enkla och komplexa displayen driftens förändring i intervallet 0-10 m/s, vilket också var fallet för den komplexa displayen med konstant frekvenspåslag, medan när långsamt frekvenspåslag användes så indikerade displayerna endast driftens förändring i intervallet 0-5 m/s (Tabell 2).

Tabell 2. Sammanfattning av hur riktning och hastighet på lateral drift presenterades med respektive taktil display.

	Riktning	Hastighet med frekvenspåslag	Hastighet med mönster	Intervall förändring
Enkel konstant	x			-
Enkel långsam	x	x		0-10 m/s
Enkel snabb	x	x		0-5 m/s
Komplex konstant	x	x		0-10 m/s
Komplex långsam	x	x	x	0-10 m/s
Komplex snabb	x	x	x	0-5 m/s

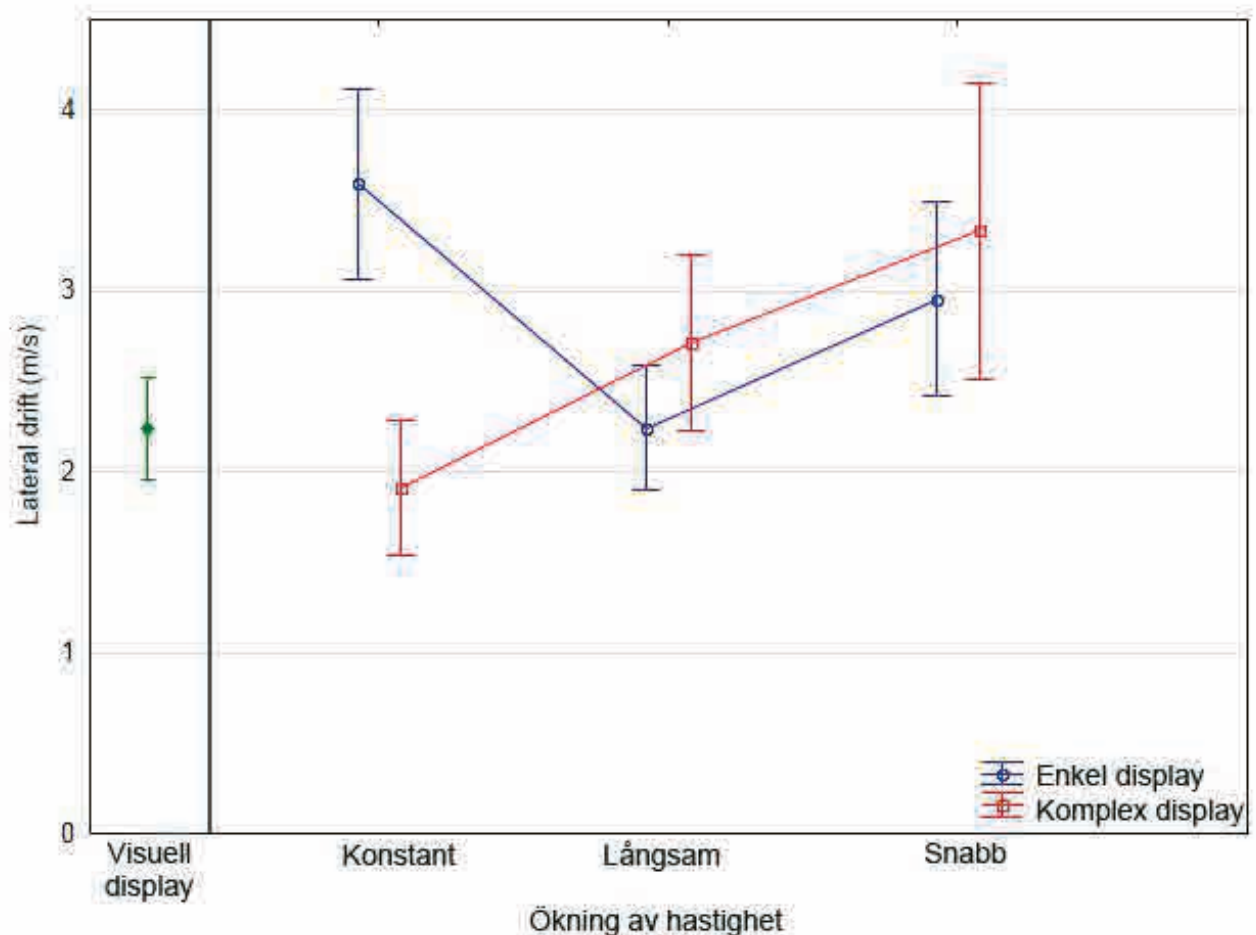
Deltagarnas uppgift var att flyga rakt fram och undvika drift i sidled. De skulle också hålla konstant höjd (3000 fot), hastighet (30 knop) och flyga i ett angivet väderstreck. Försöket genomfördes med inomgruppsdesign, dvs. samtliga deltagare testade samtliga 7 displayer.

Prestation mättes som genomsnittlig drift i sidled i m/s, genomsnittlig avvikelse från angiven höjd (3000 fot) i meter, avvikelse från angiven hastighet (30 knop) i meter per sekund och avvikelse från angiven riktning i grader. Deltagarna besvarade också enkäter (bl.a. upplevelse av drift, arbetsbelastning och om någon display upplevdes störande), som huvudsakligen innehöll skattningsfrågor på skalan 1-7.

2.3.2 Resultat

Lateral drift var signifikant större med enkel taktil display vid konstant frekvenspåslag både jämfört med enkel display med långsamt frekvenspåslag ($p < 0,05$) och med komplex display vid konstant frekvenspåslag ($p < 0,01$)^{xix}. Det var dock inte någon signifikant skillnad i lateral drift mellan den visuella displayen

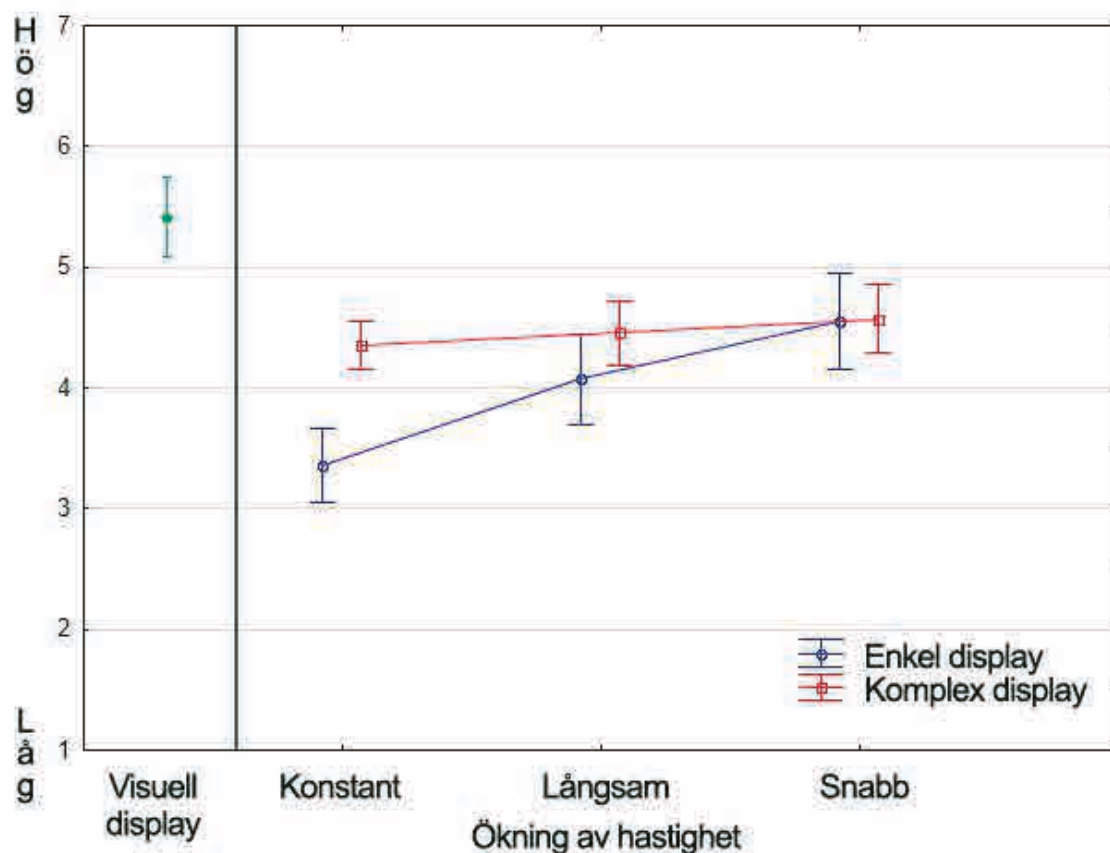
och någon av de taktila displayerna, dvs. skillnaden mellan visuell display och enkel taktil display var inte signifikant (Figur 17)^{xx}.



Figur 17. Genomsnittlig lateral drift för den visuella och de sex taktila drift displayerna.

Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna när det gäller avvikelse från korrekt hastighet (medelavvikelse $7,1 \pm 4,5$ m/s)^{xxi}, höjd (medelavvikelse $71,2 \pm 17,0$ m), eller riktning (medelavvikelse $15,6 \pm 3,8$ grader)^{xxii}.

Deltagarna skattade sin upplevelse av displayernas information om drift i sidled med tre frågor: hur det var att uppfatta informationen (se och känna), informationens noggrannhet och förståelsen av informationen (1 = Låg – 7 = Hög). Vid användning av taktil display var skattningarna generellt högre vid snabbt frekvenspåslag ($4,6 \pm 0,3$) jämfört med vid långsamt frekvenspåslag ($3,9 \pm 0,2$) ($p < 0,05$)^{xxiii}. Skattningarna för den visuella displayen var signifikant högre än för den enkla taktila displayen när konstant och långsamt frekvenspåslag användes ($p < 0,001$). Det var även lägre skattningar för den enkla taktila displayen vid konstant frekvenspåslag jämfört med den komplexa taktila displayen vid snabbt frekvenspåslag ($p = 0,047$)^{xxiv}.



Figur 18. Deltagarnas skattningar av hur informationen om lateral drift upplevdes med respektive display (1 = Låg – 7 = Hög).

Mental arbetsbelastning skattades som medelhög ($4,8 \pm 0,4$; medel och genomsnittligt standardfel för respektive display) och det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög)^{xxv}.

Deltagarna skattade om det var störande eller obehagligt att använda displayerna (1 = Inte alls – 7 = Världigt mycket). Det var inte några signifikanta skillnader mellan displayerna^{xxvi} och skattningarna var mycket låga ($2,1 \pm 0,4$; medel och genomsnittligt standardfel för respektive display), dvs. det var varken störande eller obehagligt att använda displayerna.

2.3.3 Diskussion och slutsatser

Hypotes (a) att de visuella och taktila displayerna ger lika bra kontroll av lateral drift stöds av att det inte var någon signifikant skillnad i lateral drift mellan den tidigare validerade visuella displayen och de taktila displaykonfigurationerna. Detta visar att det är möjligt att använda taktil information avseende lateral drift med bibehållen precision. Detta stöds dessutom av att höjd, hastighet och riktning kontrollerades lika bra med de taktila displayerna som med den visuella, samt att skattningarna av mental arbetsbelastning var likvärdiga för displayerna. Ett

förbehåll är dock taktil display med konstant frekvenspåslag. Dels var skattningarna om hur informationen uppfattades med denna lägre än för den visuella displayen och dessutom var lateral drift med denna signifikant högre än för både enkel display med långsamt frekvenspåslag och för komplex display med konstant frekvenspåslag

Hypotes (b) att en enkel taktil driftdisplay ger bättre kontroll av lateral drift än en komplex taktil driftdisplay kunde inte bekräftas. Vid långsamt och snabbt frekvenspåslag var lateral drift med denna likvärdig med den komplexa displayen, medan den vid konstant frekvenspåslag medförde sämre kontroll av lateral drift jämfört med den komplexa displayen.

Hypotes (c) att en enkel taktil display med långsam ökning av frekvenspåslag ger bättre kontroll av lateral drift än vid både snabbt och konstant frekvenspåslag kunde bekräftas. Anledningen till att lateral drift var högre vid konstant frekvenspåslag är sannolikt att denna displaykonfiguration inte gav någon information om driftens hastighet. Att kontroll av lateral drift var bäst med långsamt frekvenspåslag (snabbt frekvenspåslag var inte signifikant bättre än konstant) beror sannolikt på att långsamt frekvenspåslag hade högst upplösning (långsamt frekvenspåslag indikerade driftens hastighetsökning från 0,4 – 10 m/s medan snabbt frekvenspåslag endast indikerade hastighetsökning från 0,4 – 5 m/s).

Med komplex taktil display kontrollerades lateral drift bäst vid konstant frekvenspåslag. Anledningen är sannolikt att själva dynamiken i det taktila mönstret gav information om driftens hastighet, varför komplettering med långsamt respektive snabbt frekvenspåslag innebar att information om driftens hastighet gavs på två sätt, vilket kan ha gjort informationen svårare att tolka.

Det är intressant att prestationen med den komplexa taktila displayen med konstant frekvenspåslag, vilken endast indikerade driftens hastighet med tre nivåer, var likvärdig med den enkla taktila displayen med långsamt frekvenspåslag, vilken gav kontinuerlig information om driftens hastighet. Detta tyder på att om driftens hastighet är optimalt kodad så är det möjligt uppnå bra prestation med endast ett fåtal nivåskillnader.

Det viktigaste resultatet avseende de utformningar av displayer som testades i försöket är att en taktil enkel display bör ha ett långsamt frekvenspåslag och att en taktil komplex display bör ha ett konstant frekvenspåslag; dvs. en enkel taktil display bör inte ha ett konstant frekvenspåslag och ett snabbt frekvenspåslag bör inte användas för någon av displayerna. Särskilt intressant är att prestationen med de bästa taktila displayerna (enkel med långsamt frekvenspåslag och komplex med konstant frekvenspåslag) var likvärdig med den visuella displayen. Det är dock sannolikt att en taktil display kommer att användas bimodalt tillsammans med en visuell display, varför ytterligare försök krävs för att undersöka bimodala konfigurationer av dessa displayer.

2.4 Inlärnings effekter av träning i helikoptersimulator

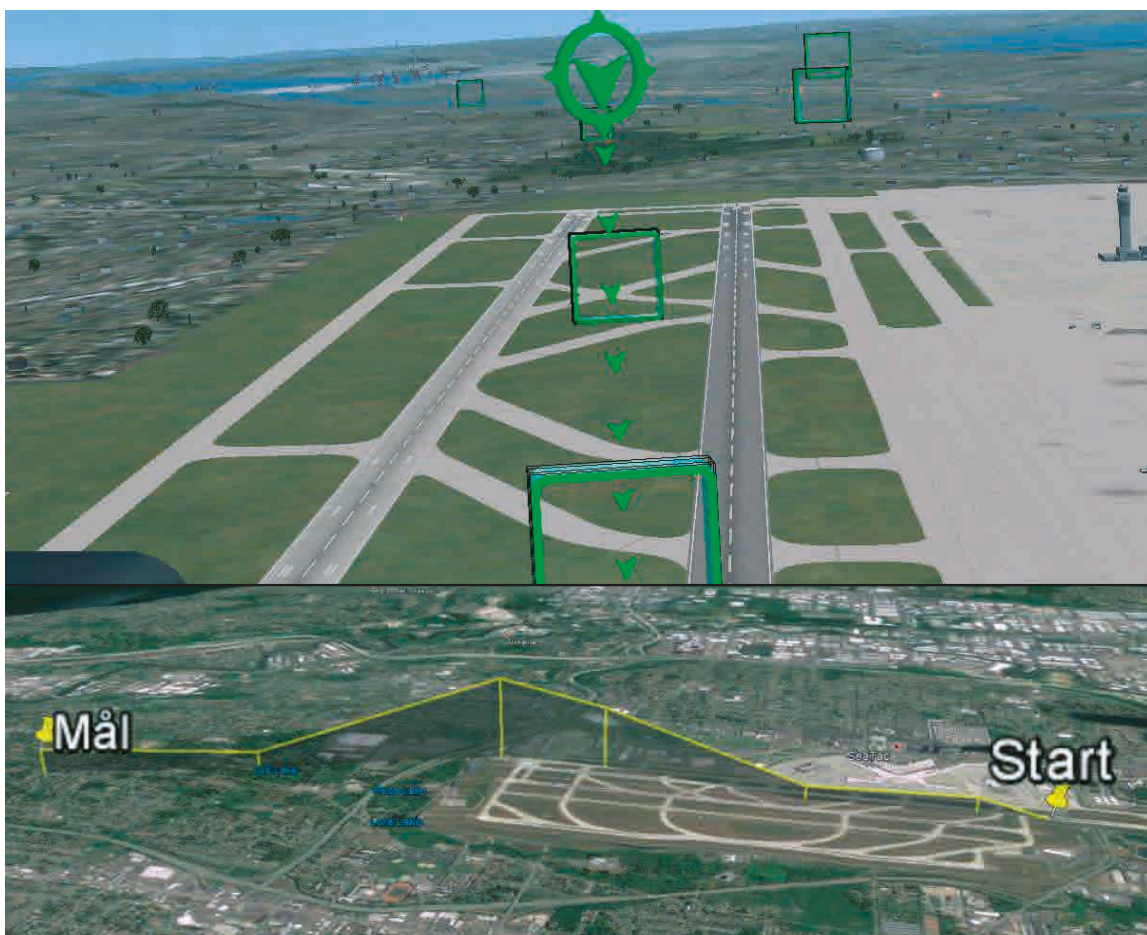
Syftet med detta försök var att undersöka effekter av träning i helikoptersimulatorn. Huvudfokus var att undersöka hur mycket träning deltagare utan tidigare erfarenhet av helikopterflygning (simulerad eller verklig) behöver för att klara av att kontrollera den simulerade helikoptern tillräckligt bra för att tester av olika displaykonfigurationer ska kunna genomföras på ett reliabelt sätt. Syftet med detta är att på ett reliabelt sätt kunna optimera träningstiden inför försök. Sekundärt fokus var att undersöka om det fanns någon skillnad i deltagarnas kontroll av lateral drift vid användning av en visuell och en taktill driftdisplay.

2.4.1 Metod

Försöket genomfördes med 12 deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga. Av dessa fick dock 4 strykas pga. tekniska problem under försöket. Experimentet genomfördes i helikoptersimulatorn i FOI MSI labb (Kapitel 1.5). Den helikoptermodell som simulerades var Bell 206B JetRanger (Kapitel 1.5.3.1).

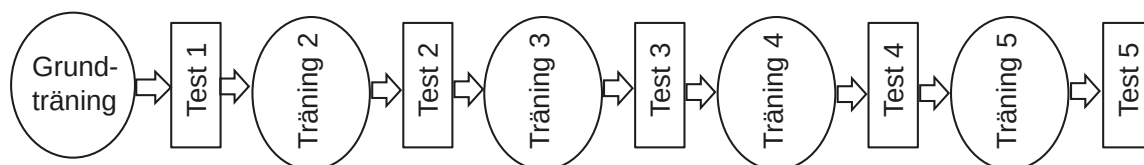
Två driftdisplayer testades, en visuell och en taktill driftdisplay. Den visuella var samma som i föregående försök och den taktila var samma som den som i föregående försök benämns enkel med långsamt frekvenspåslag (Avsnitt 2.3)

Försöket bestod av träning och av testning i samband med flygning av en bana. Banan hade sex brytpunkter som deltagarna skulle flyga igenom. Varje brytpunkt var markerad med en rektangel. Avstånd från start till mål var horisontellt 6,3 km och banans höjd varierade från 0 – 350 meter (Figur 19).



Figur 19. Överst vy från helikopterns cockpit som visar banans brytpunkter. Underst banans utsträckning sedd från ovan.

Deltagarnas genomförde fem träningspass och fem test då de flög en bana. Deras prestation mättes vid samtliga träningstillfällen utom det första och vid samtliga testtillfällen. Proceduren för detta illustreras i Figur 20.



Figur 20. Illustration av försökets experimentella procedur med fem tränings- och testtillfällen.

Träningen vid det första tillfället inleddes med grundläggande information om helikopterns instrumentering. Detta följdes av 10 minuters fri flygning. Under de sista minuterna av den fria flygningen fick deltagarna bekanta sig med de visuella och taktila driftdisplayerna. Vid de resterande träningstillfällena (träning 2-5) fick deltagarna först träna på att hålla höjd 1000 fot, sedan på att hålla hastigheten 30 knop och slutligen träna på att hålla kurs mot ett angivet väderstreck (norr, väst, syd eller öst). Vart och ett av dessa träningsmoment pågick under 40 sekunder.

Prestationsdata loggades under de sista 30 sekunderna, dvs. deltagarna hade 10 sekunder på sig att manövrera helikoptern med avseende angivet kriterium för hastighet, kurs, eller höjd innan loggning av prestation inleddes. Vid varje träningstillfälle genomfördes denna träning för både den visuella och taktila displayen.

Vid testtillfällena var deltagarnas uppgift att flyga banan. De skulle i första hand flyga banan så snabbt som möjligt och i andra hand undvika drift i sidled. Vid varje testtillfälle testades både den visuella och taktila driftdisplayen.

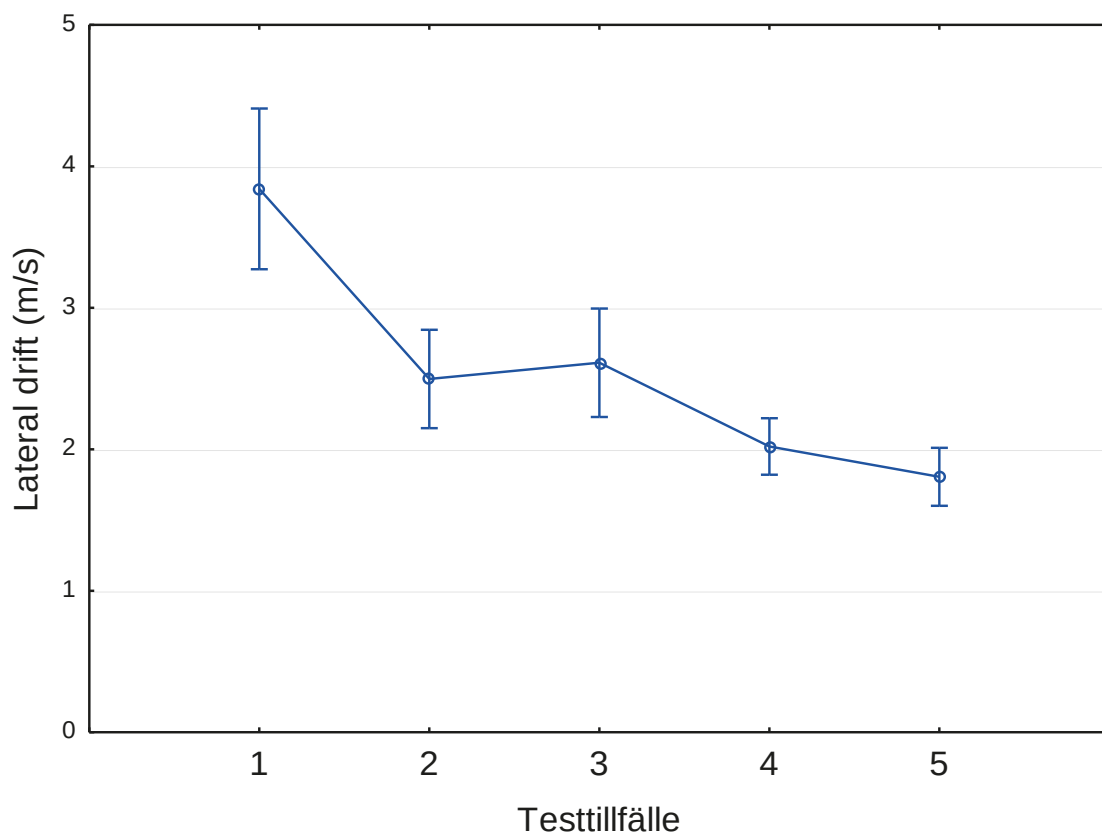
Både vid träning och under körning av banan balanserades ordningen mellan displayerna över försökspersoner, dvs. lika många började med taktil respektive visuell driftdisplay.

Vid testning (flygning av banan) mättes prestation som genomsnittlig drift i sidled i m/s och genomförandetid i sekunder. Maxtiden för att klara banan var satt till 300 sekunder. Deltagare som inte hunnit banan klar vid en viss betingelse fick därför maxtiden 300 sekunder, vilket hände vid 10 av de 90 testtillfällena. Eftersom det var 9 deltagare som testade 2 displayer vid 5 testtillfällen för respektive display var det sammanlagt 90 testtillfällen. Under träning på att hålla höjd mättes prestation som genomsnittlig avvikelse från angiven höjd (1000 fot) i meter. Under träning på att hålla hastighet mättes prestation som genomsnittlig avvikelse från angiven hastighet (30 knop) i m/s. Under träning på att hålla kurs mättes prestation som genomsnittlig avvikelse från angiven kurs i grader.

Deltagarna besvarade också en enkät innan försöket, en modalitetsenkät efter varje körning av banan och en avslutande enkät efter försöket (bl.a. upplevelse av mental arbetsbelastning, uppgiftens svårighet, upplevd effekt av träning och om displayerna upplevdes som obehagliga eller störande). Enkäterna innehöll huvudsakligen skattningsfrågor på skalan 1-7.

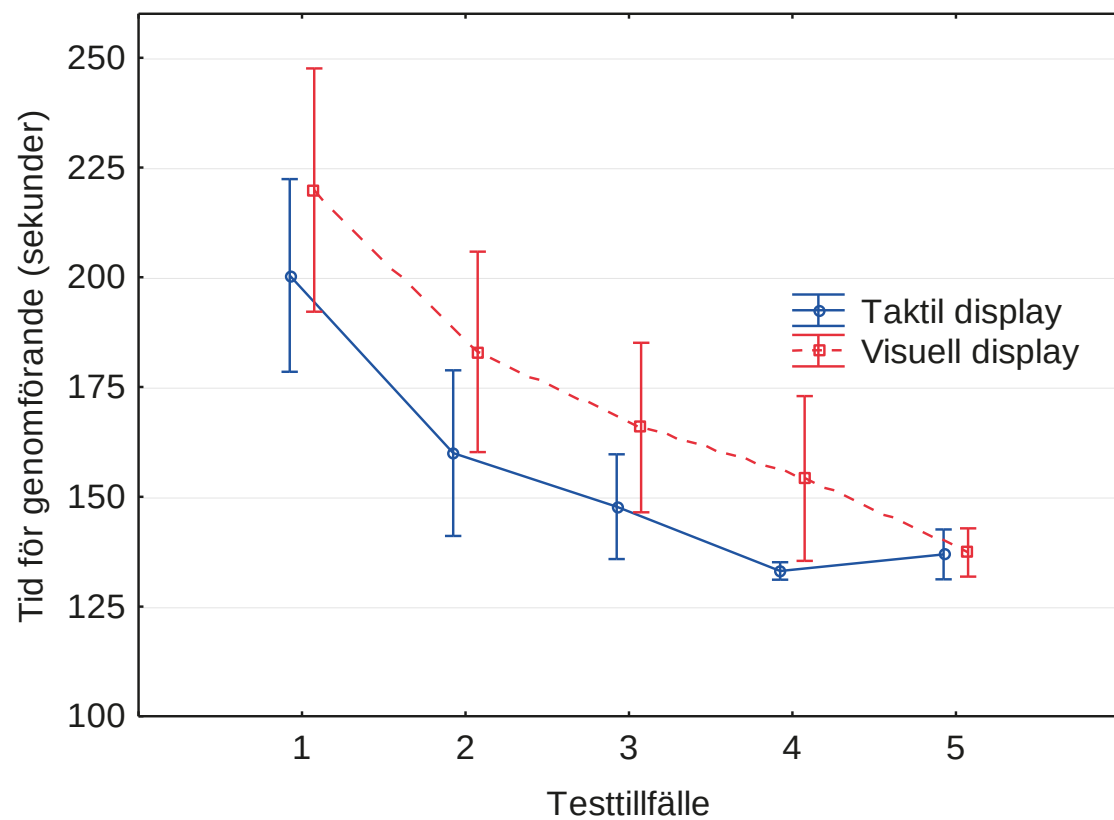
2.4.2 Resultat

Lateral drift var signifikant högre vid det första testtillfället jämfört med samtliga följande testtillfällen^{xxvii} ($p < 0,01$) (Figur 21).



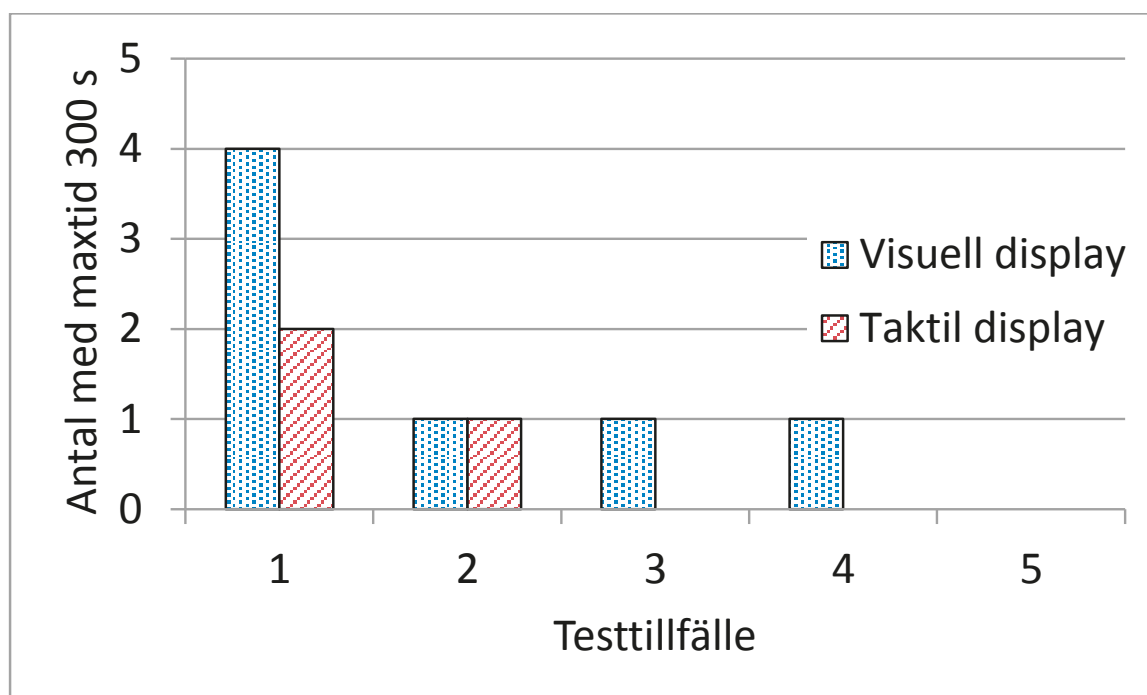
Figur 21. Medelvärden av lateral drift vid respektive testtillfälle.

Det tog signifikant längre tid att flyga banan vid testtillfälle 1 jämfört med testtillfälle 3-5 (samtliga $p < 0,01$) (Figur 22).



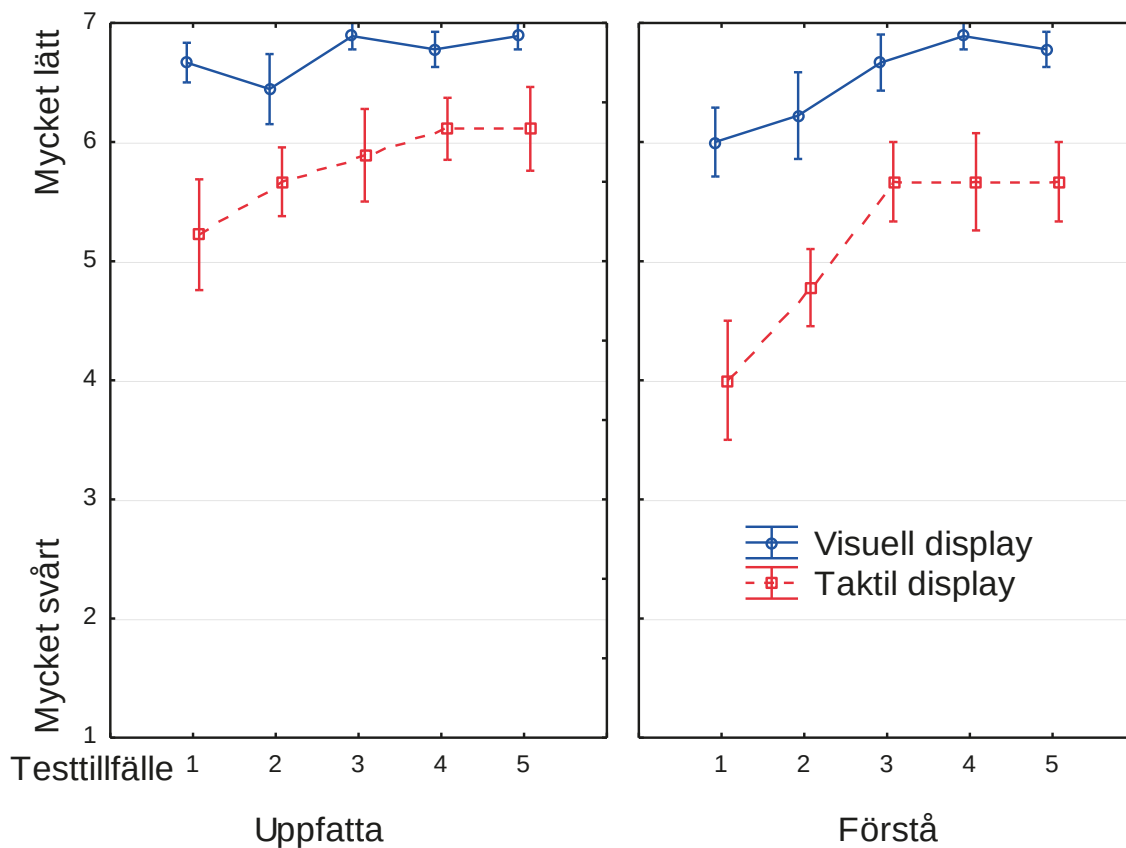
Figur 22. Medelvärden av genomförandetid (s) för att flyga banan med de två displayerna vid respektive testtillfälle.

Andelen deltagare som inte hade hunnit genomföra banan vid maxtiden 300 sekunder var större vid testtillfälle 1 än vid övriga testtillfällen (Figur 23).



Figur 23. Antal deltagare vid respektive testtillfälle och display som inte hade klarat banan vid maxtiden 300 sekunder.

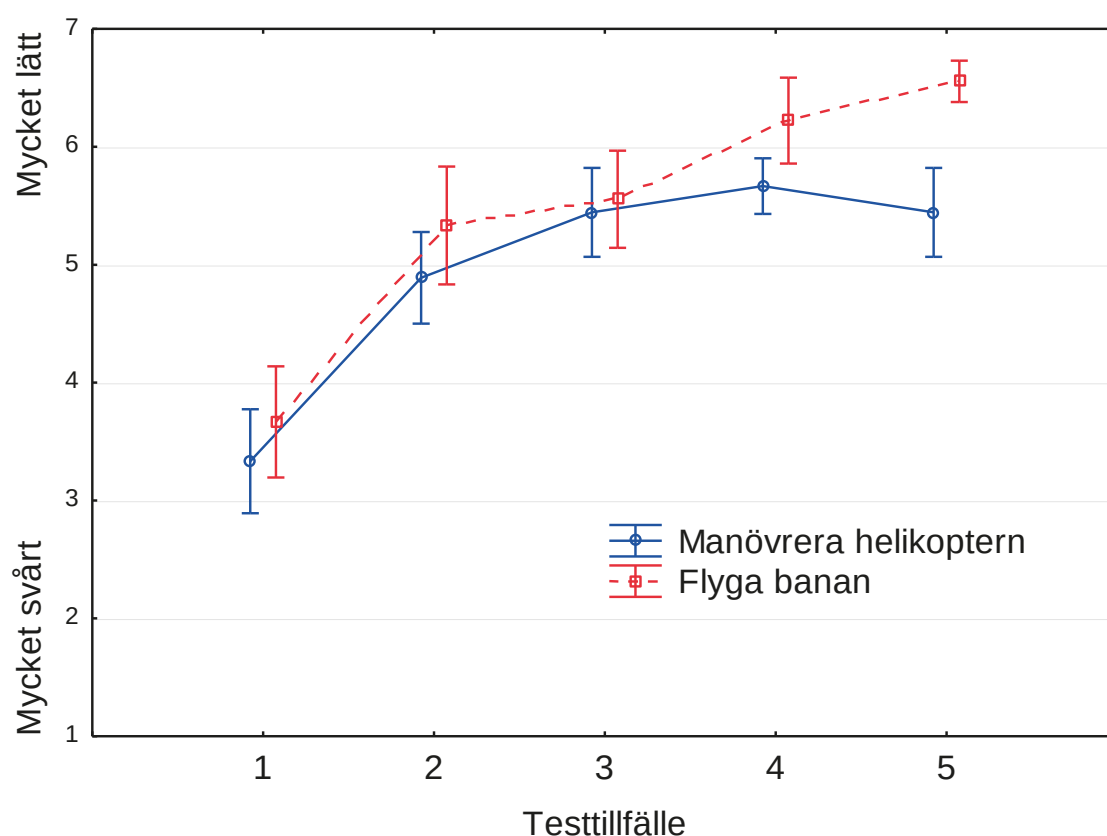
Deltagarna skattade sin upplevelse av driftdisplayernas information med två enkätfrågor, hur det var att uppfatta (se/känna) driftinformationen och hur det var att förstå driftinformationen. Upplevelsen (uppfattning och förståelse) av den visuella driftdisplayen ($6,6 \pm 0,1$) skattades som signifikant högre än den taktila ($5,5 \pm 0,2$) ($p < 0,01$). Det skattades också som signifikant lättare att uppfatta ($6,3 \pm 0,1$) än att förstå informationen ($5,8 \pm 0,1$) ($p < 0,05$). Dessutom var skattningarna av upplevelsen signifikant lägre vid testtillfälle 1 ($5,5 \pm 0,1$) jämfört med testtillfälle 3-5 ($6,3 \pm 0,2$; $6,4 \pm 0,2$; $6,4 \pm 0,2$) (samtliga $p < 0,001$) (Figur 24)^{xxviii}. Sammanfattningsvis var samtliga skattningar för den visuella driftdisplayen höga, och något lägre för den taktila driftdisplayen. Att upplevelsen av displayerna ökade över tiden beror främst på att förståelsen för den taktila displayen var lägre i början, men eftersom det inte finns någon signifikant interaktionseffekt är detta problematiskt att diskutera.



Figur 24. Deltagarnas skattningar av hur de upplevde informationen från displayerna avseende hur det var att uppfatta (se/höra) och förstå informationen (1 = mycket svårt – 7 = mycket lätt)

Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög) efter varje testtillfälle. Det var inte någon signifikant skillnad mellan testtillfällena och skattningarna låg på en måttligt hög nivå ($4,6 \pm 0,5$; medel av standardfelet vid respektive testtillfälle)^{xxix}.

Deltagarna skattade hur lätt/svår uppgiften var att manövrera helikoptern och att flyga banan (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Uppgiften skattades som signifikant svårare vid det första testtillfället jämfört med samtliga följande testtillfällen (samtliga $p < 0,001$). Det fanns en tendens till att det upplevdes som svårare att manövrera helikoptern ($5,0 \pm 0,3$) jämfört med att flyga banan ($5,5 \pm 0,3$) ($p = 0,062$)^{xxx} (Figur 25).



Figur 25. Deltagarnas skattningar av hur det lätt/svårt det var att utföra uppgiften att manövrera helikoptern och att flyga banan.

Deltagarna skattade vid varje testtillfälle hur mycket träningen som föregick testtillfället hjälpte dem att klara av att flyga banan (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). Nyttan av träningen skattades som relativt hög ($5,0 \pm 0,5$), men det var inte någon signifikant skillnad mellan testtillfällena^{xxxii}.

Deltagarna skattade också hur lärorik de ansåg att träningen var (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). De skattade träningen som mycket lärorik ($5,7 \pm 0,4$).

Deltagarna skattade om driftdisplayerna upplevdes som obehagliga eller störande (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). Det var inte någon skillnad mellan displayerna och skattningarna var generellt låga ($2,8 \pm 0,6$). Det fanns dock en tendens till att driftdisplayernas information upplevdes som något mer störande ($3,1 \pm 0,3$) än obehaglig ($2,5 \pm 0,4$) ($p = 0,074$).^{xxxii} Det bör dock påpekas att även om skattningarna var generellt låga så skattade ett par deltagare både den visuella och taktila displayen som obehagliga och störande.

2.4.3 Diskussion

Resultaten visar att både prestationen och subjektiva skattningar av prestationen ökar för varje träningsomgång. När det gäller den tid som deltagarna behövde för att genomföra banan var det först från och med vid testtillfälle 3 som det gick

signifikant fortare än vid testtillfälle 1. Svårigheten att flyga banan skattades dock som signifikant lägre redan vid testtillfälle 2. Det var dock först vid testtillfälle 5 som samtliga deltagare klarade banan på maxtiden 300 sekunder. När det gäller kontroll av drift var prestationen signifikant bättre redan efter testtillfälle 2, medan det först var vid testtillfälle 3 som upplevelsen av driften skattades signifikant högre än vid testtillfälle 1.

Sammanfattningsvis tyder resultaten på att det för samtliga prestationsmått finns en signifikant förbättring vid det tredje träningstillfället, vilket skulle tyda på att ca 40 minuters träning¹ skulle kunna användas som en undre gräns för att deltagare utan tidigare erfarenhet av helikopterflygning ska uppnå tillräcklig stabilitet i sin flygförmåga för att det ska vara meningsfullt att studera prestation avseende respons på olika displaykonfigurationer utan att brister i förmågan att flyga helikoptern bidrar med allt för mycket felaktig information. Visuellt inspektion av graferna visar dock att det sker en ytterligare viss förbättring fram till testtillfälle fem. Detta i kombination med att det först var vid femte tillfället som samtliga deltagare klarade banan på maxgränsen 300 sekunder skulle därför tala för ett något mer konservativt kriterium. Det är dock stora individuella skillnader mellan hur fort olika deltagare lär sig att behärska helikoptersimulatorens. Att använda ett fast kriterium för träningsmängd är därför inte praktiskt tillämpbart, utan försöksledaren måste alltid göra en bedömning av respektive individs prestation innan ett experiment kan inledas.

Hur mycket träning som krävs är också uppgiftsspecifikt. I detta experiment var uppgiften att flyga en bana så snabbt som möjligt. Om däremot uppgiften är att hovra, vilket är en mycket svårare uppgift, krävs betydligt mer träning.

Att prestationen avseende kontroll av drift i sidled var ungefär likvärdig vare sig en visuell eller taktill display användes bekräftar tidigare resultat som också har visat på möjligheterna med att använda en taktill display för att indikera lateral drift (Avsnitt 2.1 och 2.3).

2.5 Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som indikerar horisontell och vertikal drift

Tidigare genomförda försök har visat att både visuella och taktila driftdisplayer ger ökad kontroll av lateral drift vid flygning framåt. Det var därför av intresse att även undersöka vilket stöd en driftdisplay ger vid hovring. Stöd av driftdisplayer för hovring testades visserligen i studien utvärdering av taktila laterala displayer

¹ Grundträning 10 min + träningstillfälle (2-3) 8 minuter (2 träningstillfällen × 40 sekunder × 2 displayer × 3 uppgifter = 480 min = 8 minuter) + testtillfälle (1-2) 20 min (2 testtillfällen × maxtiden 300 sekunder × 2 displayer = 1200 sekunder = 20 min) = 38 min

som beskrivs i Avsnitt 2.2, men eftersom deltagarna inte klarade hovringsuppgiften kunde inte någon information om vilket stöd en driftdisplay ger utvinnas. En erfarenhet från den studien var därför att träningsmängden måste ökas för att deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga helikopter ska kunna klara en hovringsuppgift. Dessutom utvidgades syftet i detta försök till att omfatta samtidig presentation av horisontell och vertikal drift. Motivationen till detta var att pilotens uppgift vid hovring är att hålla helikoptern stilla i luftrummet, dvs. både horisontellt och vertikalt. För att undersöka hur detta kan stödjas genom användning av en driftdisplay designades en visuell, en taktill och en bimodal (visuell och taktill kombinerat) display för samtidig presentation av horisontell och vertikal drift. För att undersöka huruvida kontroll av drift förbättrades vid användning av en driftdisplay testades även kontroll av drift då endast standardinstrumentering som inte ger information om drift användes. De hypoteser som uppställdes var:

- a) Kontroll av drift (lateralt och vertikalt) vid hovring förbättras då en driftdisplay används.
- b) Kontroll av drift (lateralt och vertikalt) vid hovring är lika bra med en taktill som en visuell driftdisplay.
- c) Kontroll av drift (lateralt och vertikalt) vid hovring är lika bra med en bimodal som en unimodal visuell driftdisplay.

2.5.1 Metod

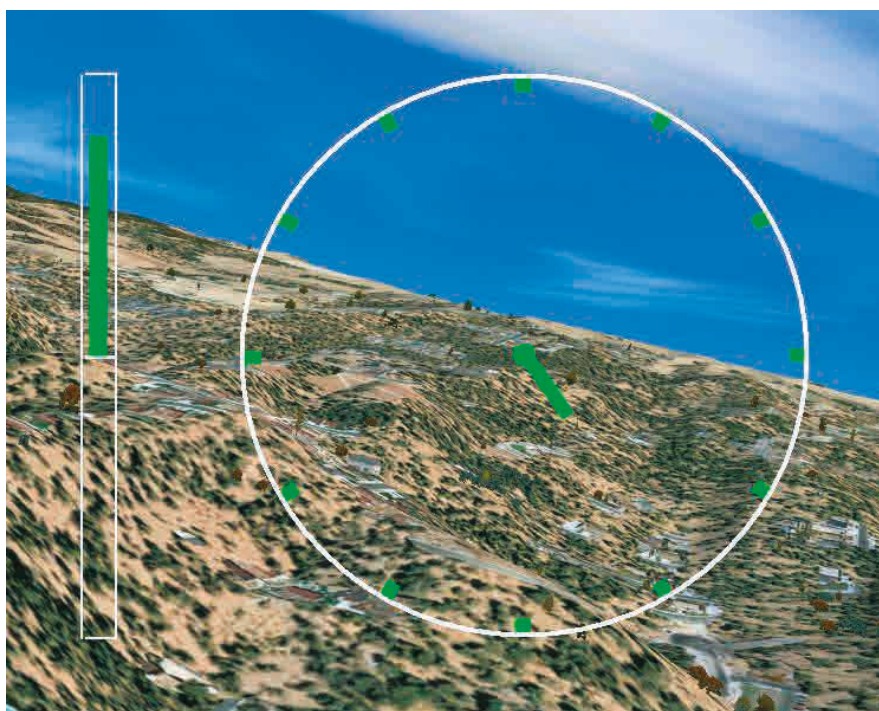
Försöket genomfördes med 12 deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga helikopter, men 6 av deltagarna hade deltagit i tidigare försök med helikoptersimulatorn. Experimentet genomfördes i helikoptersimulatorn i FOI MSI labb (Kapitel 1.5). Den helikoptermodell som simulerades var Bell 206B JetRanger (Kapitel 1.5.3.1).

I försöket användes fyra displayer: visuell standarddisplay som inte visar drift, visuell driftdisplay, taktill driftdisplay och bimodal driftdisplay (visuell och taktill kombinerat).

Den visuella standarddisplayen visade standardinstrumenteringen i Bell 206B JetRanger och presenterades på 23-tums LCD-skärmen. De instrument som deltagarna använde var hastighetsmätare, horisontgyro, höjdmätare och kompass. (Figur 15). Standarddisplayen användes under samtliga displaybetingelser i försöket.

Den visuella driftdisplayen presenterades head-up, överlagrad på helikopterns simulerade vindruta. Denna display har utvecklats på FOI och visar samtidigt både horisontell och vertikal drift. I princip är det en utveckling av den 360° display som använts i tidigare försök, vilken visar driftens riktning i horisontalplanet (Kapitel 2.2, Figur 11). Denna display kompletterades i detta

försök med indikering av vertikal drift. Upplösningen på indikering av horisontell och vertikal drift var densamma, dvs. när pilen i cirkeln nådde cirkelns ytterkant var den horisontella driften 10 m/s eller högre och när den vertikala pilen nådde rektangelns topp eller botten så var den vertikala driften 10 m/s eller högre (uppåt eller nedåt). I Figur 26 indikerar displayen vertikal drift uppåt med ca 8 m/s (ca 80 % av vektorns maximala indikering på 10 m/s) och horisontell drift snett bakåt med ca 3 m/s (ca 30 % av vektorns maximala indikering på 10 m/s).



Figur 26. Visuell driftdisplay som här indikerar horisontell drift snett bakåt med vektorn i cirkeln och vertikal drift uppåt med den uppåtriktade vektorn i rektangeln.

Den taktila driftdisplayen var en utveckling av den display som i försöket ”utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som visar lateral information” kallas för taktil 360° (Kapitel 2.2). Horisontell drift indikerades genom att den taktor som befinner sig närmast i driftens riktning vibrerar. Avståndet mellan pulserna minskades från 2000 ms när horisontell drift började till 400 ms när horisontell drift nådde displayens maximala indikering på 10 m/s. Att det minimala avståndet mellan pulserna hade ökat från 200 till 400 ms för det kortaste intervallet berodde på att detta intervall ansågs mer lämpad för en taktil driftdisplay med rinnande vertikal indikering som nu var under konstruktion (se experiment Utvärdering av taktila displayer som visar horisontell och vertikal information, Avsnitt 2.6), och det ansågs lämpligt att använda samma intervall mellan pulserna vid horisontell indikering för samtliga taktila displaykonfigurationer. En annan skillnad mot den tidigare testade 360° var att denna display även indikerade vertikal drift genom att den använde samtliga 3 band med 12 taktorer i respektive band (Kapitel 1.6 och Figur 5). Vertikal drift indikerades genom att den horisontella driften indikerades med taktorer i det övre

bandet när helikoptern drev uppåt, med det nedre bandet när den drev neråt och med det mellersta bandet när det inte fanns någon vertikal drift. För både horisontell och vertikal drift användes tröskelvärde 0,4 m/s, dvs. drift under 0,4 m/s indikerades inte. Om det endast fanns vertikal drift och inte någon horisontell drift pulserade taktorn rakt fram med maximal paus på 2000 ms mellan pulserna, i det övre eller undre bandet beroende på den vertikala driftens riktning. I praktiken inträffade detta inte eftersom deltagarna i stort sett alltid hade horisontell drift som översteg tröskelvärde på 0,4 m/s. Sammanfattningsvis, avseende horisontell drift gav den taktila displayen information om både driftens riktning och hastighet medan den avseende vertikal drift endast gav information om driftens riktning (Figur 27).



Figur 27. Illustration framifrån på en deltagare som bär den taktila driftdisplayen, som här indikerar drift snett uppåt till vänster (uppåt till höger i bild) genom att pulsering sker i displayens övre band till vänster.

Den bimodala displayen bestod av en kombination av de visuella och taktila driftdisplayerna. Den bimodala displayen använde i princip kongruent kodning (jämför studie Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som visar lateral information, Kapitel 2.2) så till vida att den visuella och taktila displayen indikerade drift på samma sätt, dock med skillnaden att den visuella displayen visade både riktning och hastighet på vertikal drift, medan den taktila displayen endast visade den vertikala driftens riktning.

Deltagarnas uppgift var att hovra på höjden 7000 fot och undvika drift, både horisontellt och vertikalt. De skulle inte hovra på en speciell position i luftrummet, dvs. om de drev iväg i någon riktning skulle de så fort som möjlig

stabilisera helikoptern där de befann sig och inte försöka att ta sig tillbaka till föregående position. Längden på hovringsuppgiften var 2 minuter.

Försöket genomfördes med inomgruppsdesign, dvs. samtliga deltagare testade samtliga 4 displayer. Ordningen mellan displayerna balanserades över deltagare. Innan försöket fick deltagarna träna på att flyga helikoptern. Först fick de muntlig information om helikopterns grundläggande funktioner och om de displayer som de skulle använda. Sedan fick de träna på att hovra och under denna träning lades följande uppgifter till en och en: att hålla helikoptern stilla horisontellt, hålla riktning och slutligen att hålla höjd. När de klarade var och en av uppgifterna separat fick de göra samtliga deluppgifter samtidigt. Träningen fortsatte tills de klarade att hovra på höjden 8000 fot med drift lägre än 10 m/s (lateralt och vertikalt) under 10 sekunder. I genomsnitt tog träningsfasen cirka 1 timma, det var dock stor variation mellan deltagarna.

Prestation mättes som genomsnittlig lateral drift (m/s), genomsnittlig drift i riktning fram-bak (m/s) och genomsnittlig vertikal drift (m/s). Deltagarna besvarade också enkäter (bl.a. upplevelse av drift, samstämmighet mellan displayer, mental arbetsbelastning respektive eventuellt upplevt obehag), vilka huvudsakligen innehöll skattningsfrågor på skalan 1-7. Anledningen till att lateral drift och drift i riktning fram-bak mättes separat var dels att kontroll av lateral drift är huvudfokus för den brownout problematik som projektet söker lösningar för, samt att deltagarna som saknade tidigare erfarenhet av flygning hade större problem att hålla helikoptern stilla riktning fram-bak under hovring, vilket medför att ett mått på horisontell drift skulle bli oproportionerligt påverkat av drift i riktning fram-bak i förhållande till lateral drift.

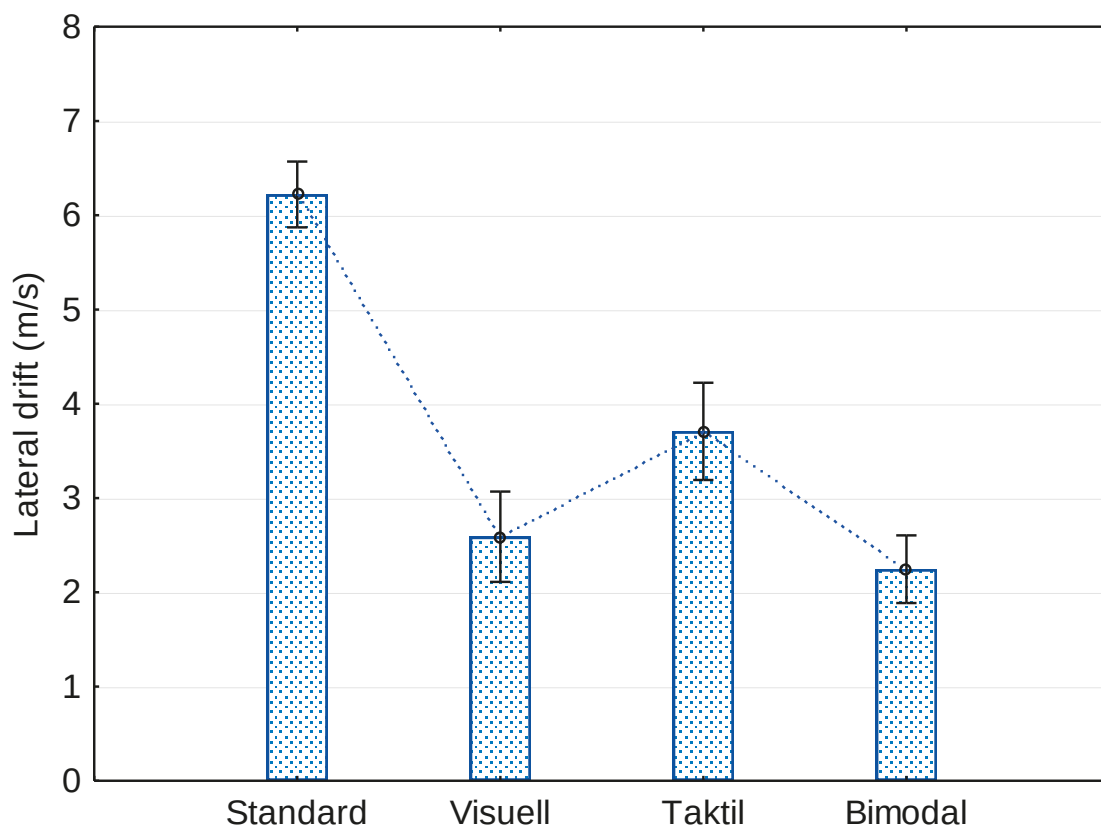
Trots träningen hade vissa deltagare under vissa sekvenser av försöket problem att kontrollera helikoptern. En deltagare extrem avvikelse fram-bak med standarddisplayen (80 % av loggdata över 12,5 m/s) och en deltagare i längdled med taktil display (70 % av loggdata över 12,5 m/s). Detta berodde de i dessa fall under största delen av testet drev framåt med en hastighet över 10 m/s, vilket innebär att deras resultat för dessa displayer inte var relevant eftersom de inte lyckades genomföra hovringsuppgiften. Samtliga prestationsdata och subjektiva skattningar för dessa deltagare för dessa displayer ströks därför och ersattes med gruppens medelvärde². För vissa av de övriga deltagarna förekom extremt hög drift under kortare sekvenser. Eftersom detta berodde på oförmåga att hantera helikoptern och inte på bristande förståelse för displayernas information gjordes en filtrering av rådata. Och eftersom syftet med försöket var att studera hur deltagaren responderade på displayernas information och inte deras förmåga att hantera helikoptern ger extrema avvikelser som beror på bristande flygförmåga

² Vid variansanalys med upprepade mätningar stryks samtliga data (här resultat från samtliga displayer) om data från en mätning stryks. Metoden att ersätta ett strukturerat värde med gruppens medelvärde för betingelsen kan under sådana omständigheter användas eftersom det inte förändrar medelvärdet för betingelsen.

felaktiga resultat. Loggdata med avvikelse större än 25 procent från displayens maximala indikering filtrerades därför bort innan analys. Det innebär att loggdata vid drift i sidled, fram-bak och höjddled över 12,5 m/s filtrerades bort. För respektive display filtrerades för respektive deltagare i genomsnitt följande andel av loggdata: lateral drift: 1,6 procent drift riktning fram-bak: 9 procent och vertikal drift: 0,1 procent.

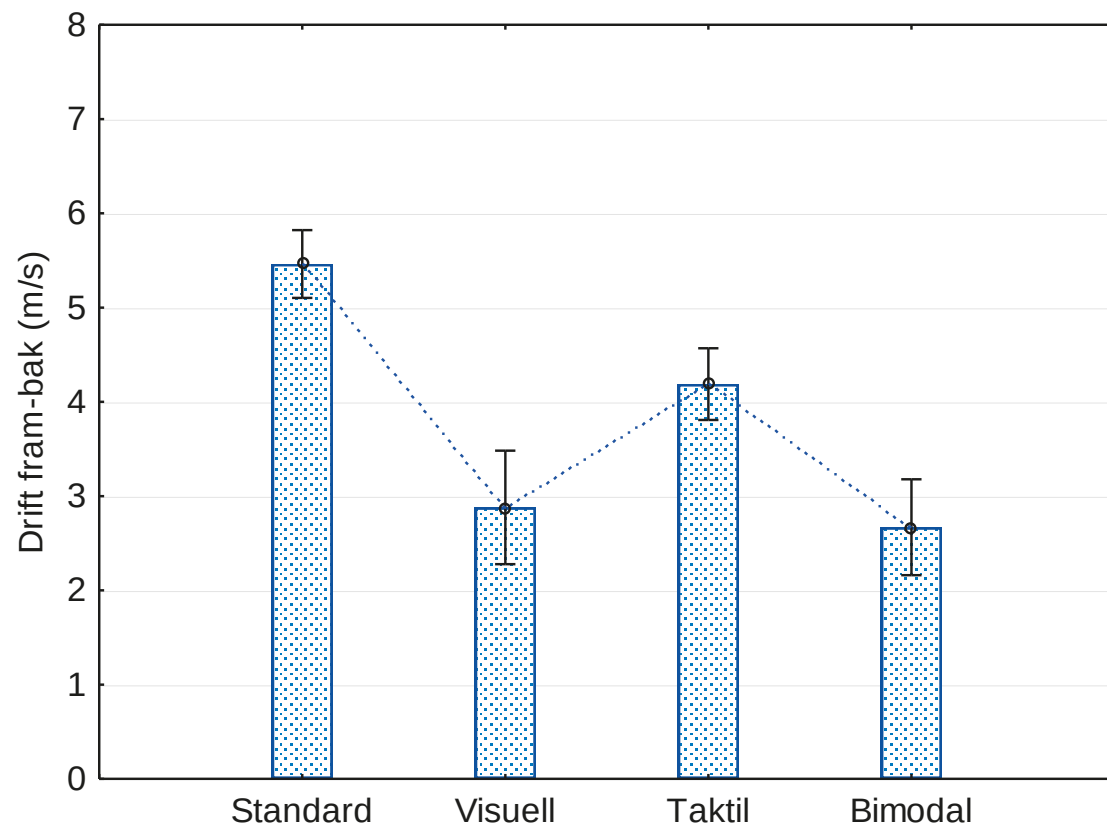
2.5.2 Resultat

Lateral drift var signifikant högre med standarddisplayen jämfört med samtliga tre driftdisplayer (samtliga $p < 0,001$). Dessutom var lateral drift med taktil display signifikant högre än med bimodal display ($p < 0,05$), men inte jämfört med visuell display^{xxxiii} (Figur 7).



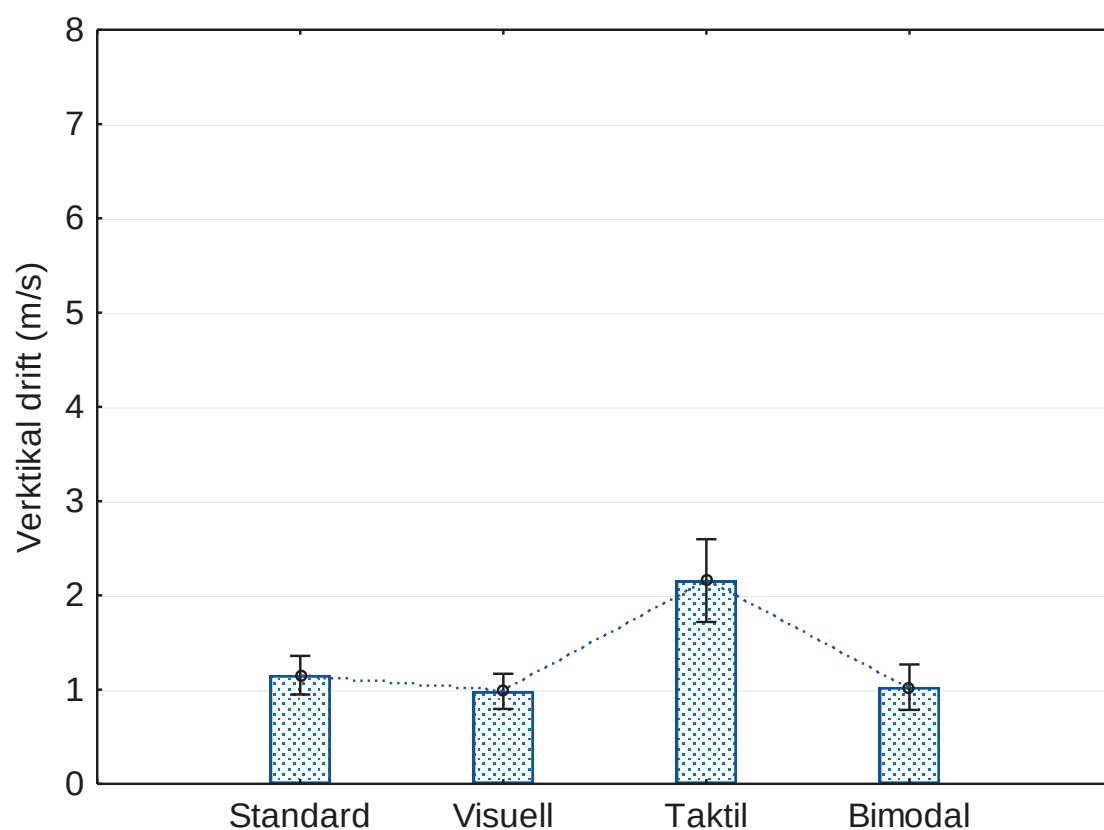
Figur 28. Medelvärde för lateral drift i m/s med standarddisplayen och de tre driftdisplayerna.

Drift i riktningen fram-bak var signifikant högre med standarddisplayen jämfört med både den visuella och bimodala driftdisplayen (båda $p < 0,01$), men inte jämfört med den taktila driftdisplayen. När det gäller den taktila displayen var inte skillnaden mot de andra driftdisplayerna signifikant, men det fanns tendens till högre drift jämfört med den bimodala displayen ($p = 0,085$)^{xxxiv} (Figur 29).



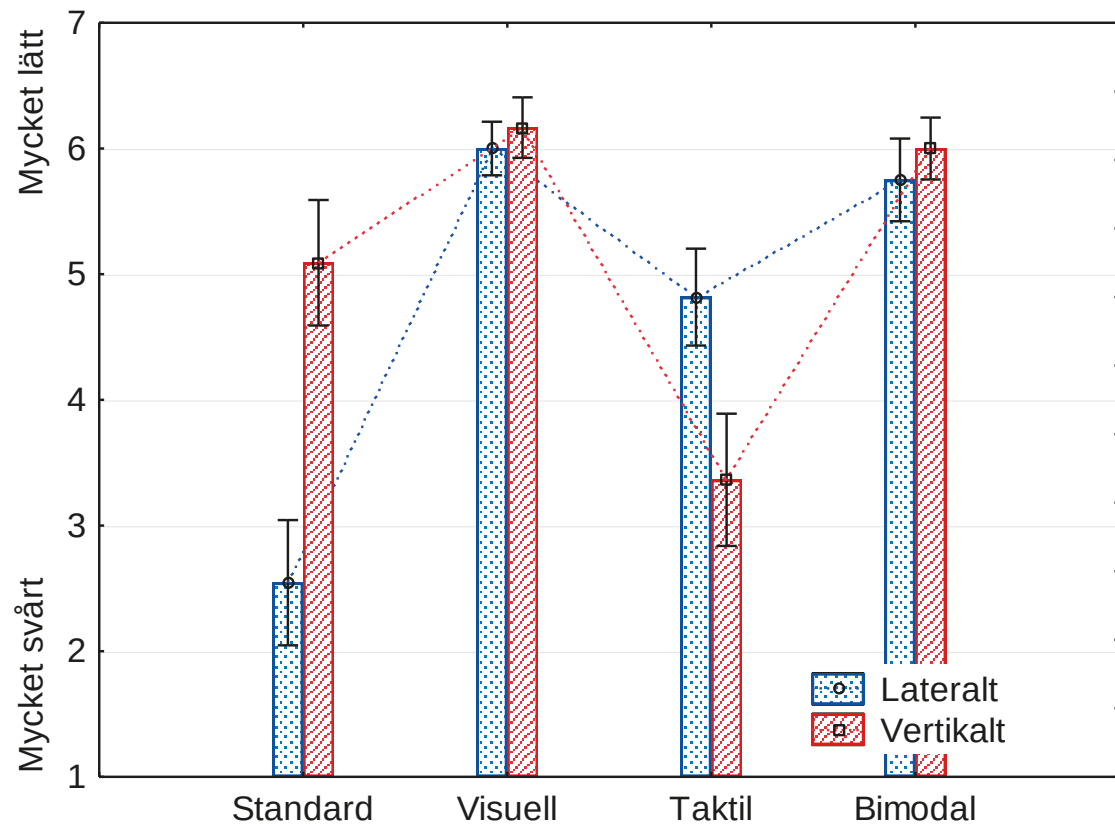
Figur 29. Medelvärde för drift i fram-bak riktningen i m/s med standarddisplayen och de tre driftdisplayerna.

Vertikal drift var signifikant högre med den taktila driftdisplayen både jämfört standarddisplayen och de två andra driftdisplayerna (samtliga $p < 0,05$)^{xxxv} (Figur 30).



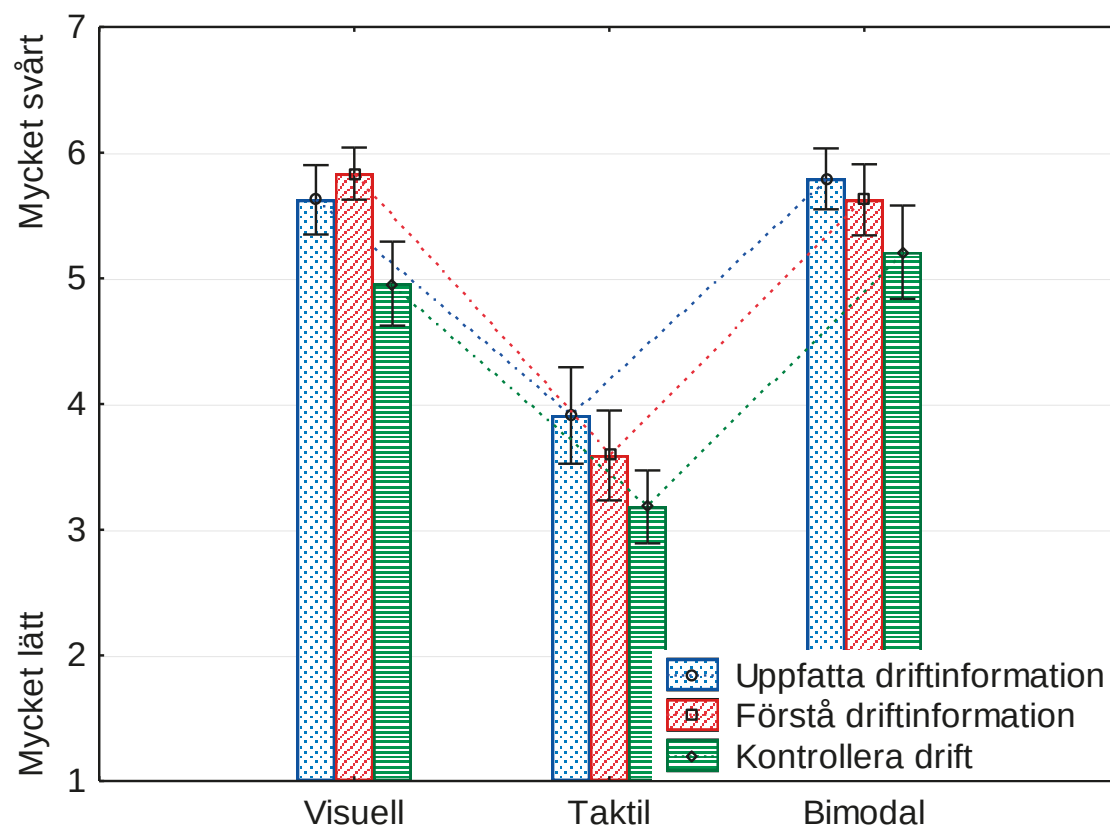
Figur 30. Medelvärde för vertikal drift i m/s med standarddisplayen och de tre driftdisplayerna.

Deltagarna skattade hur det var att uppfatta helikopterns drift, lateralt respektive vertikalt, vid användning av var och en av displayerna (1 = Mycket lätt – 7 = Mycket svårt). Lateral drift skattades som signifikant svårare att uppfatta när grunddisplayen användes jämfört med samtliga tre driftdisplayer (samtliga $p < 0,01$). Vertikal drift skattades som svårare att uppfatta när taktill display användes jämfört med samtliga övriga displayer (samtliga $p < 0,05$). När standarddisplayen användes skattades det som signifikant svårare att uppfatta lateral jämfört med vertikal drift ($p < 0,001$). Vid användning av taktill display var däremot inte skillnaden mellan att uppfatta lateral och vertikal drift signifikant^{xxxvi} (Figur 31).



Figur 31. Deltagarnas skattningar av hur det var att uppfatta helikopterns drift, lateral respektive vertikal, vid användning av var och en av displayerna.

Deltagarna skattade hur det var att med de tre driftdisplayerna, uppfatta informationspresentationen om drift, förstå informationspresentationen om drift, samt att kontrollera drift, för lateral respektive vertikal drift (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Det skattades generellt som signifikant svårare att kontrollera drift (4,4) både jämfört med att uppfatta (5,1) och förstå (5,0) driftinformationen (medelvärden i parenteserna är för samtliga driftdisplayer och båda driftriktningarna) (båda $p < 0,001$). Skattningarna var också högre för visuell (5,5) och bimodal (5,5) display jämfört med taktill (3,6) display (båda $p < 0,001$). Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan skattningarna av lateral och vertikal drift (Figur 32).^{xxxvii}



Figur 32. Deltagarnas skattningar av hur det var med respektive driftdisplay att uppfatta driftinformation, förstå driftinformation och att kontrollera drift. Grafen visar medelvärden för frågorna om lateral och vertikal drift.

Deltagarna skattade hur noggrann de uppfattade informationspresentationen med de tre driftdisplayerna, för lateral respektive vertikal drift (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). Informationspresentationen skattades som signifikant noggrannare för både visuell (5,4) och bimodal (5,8) display jämfört med taktill (3,1) display (båda $p < 0,001$). Det var inte någon signifikant skillnad på skattningarna av noggrannheten avseende presentation av lateral och vertikal drift^{xxxviii}.

Deltagarna skattade hur de som helhet upplevde informationspresentationen från driftdisplayerna (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra). Som helhet skattades presentation av drift med den bimodala displayen (5,7) signifikant bättre än med den taktila displayen (4,0) ($p < 0,01$), medan det inte var någon skillnad mellan den visuella displayen (4,9) och de två andra displayerna^{xxxix}.

Deltagarna skattade huruvida informationspresentationen från driftdisplayerna var obehaglig eller störande (1 = Inte alls – 7 = Våldigt mycket). Informationspresentationen med den taktila displayen (3,4) upplevdes som signifikant mer obehaglig och störande jämfört med den visuella displayen (2,2), medan det inte var någon skillnad mellan den bimodala (2,7) och de övriga

displayerna. I praktiken var dock samtliga skattningar låga, dvs. inte någon av driftdisplayerna upplevdes som speciellt obehaglig eller störande och det var inte heller någon signifikant skillnad mellan skattningarna på obehag och störande^{xl}.

Deltagarna skattade hur de upplevde samstämmigheten mellan visuell och taktill information i den bimodala displayen. Medelvärde var 4,8 och standardavvikelsen 1,6. Dvs. även om samstämmigheten skattades som måttligt hög, visar den relativt höga standardavvikelsen att åsikterna gick isär. Det var t.ex. 7 deltagare som skattade 5-7, medan 3 deltagare skattade 2-3.

Deltagarna skattade hur det var att utföra hovringsuppgiften och manövrera helikoptern med respektive display (1 = Mycket lätt – 7 = Mycket svårt). Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna, men det skattades som signifikant svårare att utföra hovringsuppgiften (3,9) än att manövrera helikoptern (4,3) ($p < 0,05$)^{xli}.

Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning vid användning av respektive display (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Det var inte någon signifikant skillnad i skattningarna mellan displayerna och medelvärdet var 5,1 vilket är relativt högt^{xlii}.

2.5.3 Diskussion

Samtliga driftdisplayer gav bättre kontroll av lateral drift, och skattades också som lättare att uppfatta, jämfört med standarddisplayen som inte visade någon driftinformation. Även drift i riktningen fram-bak kontrollerades signifikant bättre när en driftdisplay användes, dock endast med den visuella och bimodala driftdisplayen. Det innebär att det krävdes visuell driftinformation för att kontroll av drift i riktningen fram-bak skulle förbättras. När det gäller kontroll av vertikal drift var däremot de två driftdisplayer som gav bäst kontroll, visuell och bimodal display, endast likvärdiga med standarddisplayen, medan den taktila driftdisplayen till och med gav sämre kontroll av drift. Hypotes (a) att kontroll av drift förbättras då en driftdisplay används kunde därmed bekräftas för lateral drift, för drift i riktning fram-bak med förbehåll för taktil display och inte alls för vertikal drift.

Med den taktila driftdisplayen var kontroll av lateral drift, och drift i riktningen fram-bak, visserligen inte signifikant sämre jämfört med den visuella driftdisplayen. Resultaten ger dock indirekta indikationer på att kontroll av drift i horisontalplanet var sämre med den taktila än den visuella displayen. Det var endast den taktila displayen som gav sämre kontroll av lateral drift än den bimodala, medan det inte var någon skillnad mellan den visuella och bimodala displayen. Det var endast den visuella och bimodala displayen som gav signifikant bättre kontroll av drift i riktningen fram-bak än standarddisplayen, medan det inte var någon signifikant skillnad mellan den taktila displayen och standarddisplayen. När det gäller kontroll av vertikal drift var kontroll av drift

med den taktila displayen t.o.m. sämre än med samtliga andra displayer, inklusive standarddisplayen som inte visar vertikal drift. Dessutom skattades det som signifikant svårare att uppfatta vertikal drift med den taktila displayen jämfört med samtliga andra displayer. Övriga subjektiva skattningar var också genomgående signifikant lägre för den taktila displayen. Hypotes b) att en taktil driftdisplay ger lika bra kontroll av drift som en visuell driftdisplay kunde därmed inte bekräftas.

Med den bimodala driftdisplayen var kontroll av drift i samtliga riktningar likvärdig med den visuella driftdisplayen. Dessutom var de subjektiva skattningarna avseende att uppfatta driftinformationen, förstå driftinformationen, kontrollera drift, informationens noggrannhet, hovringsuppgiftens svårighet och den mentala arbetsbelastningen likvärdig mellan de två displayerna. När det gäller de subjektiva skattningarna avseende helhetsuppfattningen av displayen finns det t.o.m. en indirekt fördel för den bimodala displayen, eftersom helhetsuppfattningen av den bimodala displayen skattades som signifikant högre än för den taktila displayen, medan det inte fanns någon signifikant skillnad mellan den visuella och den taktila displayen. Hypotes c) att en bimodal driftdisplay ger lika bra kontroll av drift som en visuell driftdisplay kunde därmed bekräftas.

Att kontroll av lateral drift med den taktila displayen var sämre än med den visuella displayen (indirekt empiriskt stöd och lägre subjektiva skattningar) motsäger resultat från tidigare försök där kontroll av lateral drift med de båda displayerna har varit likvärdig (Avsnitt 2.1). Visserligen var kontroll av lateral drift med en taktil 360° driftdisplay även problematisk (Avsnitt 2.2). Men i det tidigare försöket användes den taktila 360° displayen vid flygning framåt i hög fart, där den sannolikt är mindre lämpad, medan den i detta försök användes vid hovring, en situation där taktil information i samtliga riktningar bör vara lämplig. En möjlig anledning till problemen med den taktila displayen i detta försök är att den samtidigt gav information om både horisontell och vertikal drift. Det är möjligt att uppgiften att uppfatta och svara på taktil information i två riktningar är för komplicerad för deltagare som redan är tungt belastade av själva flyguppgiften eftersom de saknar vana vid helikopterflygning. Syftet med taktil information är dock att den ska vara intuitiv, dvs. ge minimal mental belastning och vara enkel att förstå. Det bör därför vidare utredas om den kodning för vertikal information som den taktila displayen gav kan förbättras.

Att prestationen var likvärdig med den visuella och bimodala displayen visar dock att befintlig taktil kodning kan användas i kombination med den visuella. Skattningarna av samstämmighet mellan visuell och taktil kodning i den bimodala displayen var dessutom relativt höga, även om spridningen visar att det finns potential för förbättringar. Några direkta bimodala fördelar kunde visserligen inte observeras i försöket. Detta var dock inte heller att förvänta eftersom det först är då piloten utför en sekundäruppgift som kräver att blicken inte kan hållas kvar på

den visuella displayen, eller då den mentala arbetsbelastningen är mycket hög, som bimodala fördelar med taktil presentation kan förväntas.

2.6 Utvärdering av taktila displayer som indikerar horisontell och vertikal drift

Tidigare försök har visade på problem med att använda en taktil driftdisplay för samtidig presentation av horisontell och vertikal drift (Avsnitt 2.5). Syftet med detta försök var därför att undersöka om förändrad kodning av taktil indikering av vertikal drift kan ge förbättrad kontroll av vertikal drift. Därför utvecklades två ytterligare taktila displayer, taktil rinnande och taktil komplex, som jämfördes med den visuella och taktila displayen som användes i det föregående försöket. Följande hypoteser formulerades:

- a) Kontroll av lateral drift vid hovring är lika bra med samtliga taktila displayer som med den visuella driftdisplayen.
- b) Kontroll av vertikal drift vid hovring är lika bra med taktil rinnande och taktil komplex driftdisplay som med den visuella driftdisplayen.

2.6.1 Metod

Försöket genomfördes med 12 deltagare utan tidigare erfarenhet av att flyga helikopter, men samtliga hade varit med i tidigare försök med helikoptersimulatorn. Experimentet genomfördes i helikoptersimulatorn i FOI MSI labb (Kapitel 1.5). Den helikoptermodell som simulerades var Bell 206B JetRanger (Kapitel 1.5.3.1).

I försöket testades fyra driftdisplayer som samtliga indikerade både horisontell och vertikal drift: visuell display, taktil enkel display, taktil rinnande display och taktil komplex display.

Den visuella displayen presenterades head-up på helikopterns simulerade vindruta och var identisk med den visuella display som användes i föregående försök (Avsnitt 2.5, Figur 26)

Taktil enkel display var identisk med den taktila driftdisplay som användes i föregående försök (Avsnitt 2.5, Figur 27).

Taktil rinnande display var en utveckling av taktil enkel display. Horisontell drift visades på samma sätt som med taktil enkel display, men vertikal drift visades genom ett rinnande mönster som vid drift nedåt börjar i det översta bandet och vid drift uppåt börjar i det nedersta bandet. Indikering av drift neråt sker i ett upprepat mönster enligt följande: (1) en puls i översta bandet på 100 ms följt av en paus på 100 ms, (2) en puls i mittenbandet på 100 ms följt av en paus på 100 ms, (3) en puls i det nedersta bandet på 100 ms följt av en paus på mellan 400 ms och 2000

ms beroende på drifthastigheten i horisontalplanet och sedan åter en puls i det översta bandet osv. Indikering av vertikal drift gjordes med taktorer i den laterala driftens riktning. Om det inte fanns någon lateral drift gjordes vertikal indikering med taktorer i riktning framåt. I praktiken indikerade dock displayen alltid lateral drift eftersom deltagarna i princip aldrig kom under tröskelvärdet på 0,4 m/s.

Taktil komplex display var en utveckling av den taktila display som benämns taktil komplex konstant display (Avsnitt 2.3). Lateral drift (väster och höger) indikerades på exakt samma sätt som i komplex konstant display, genom att drift åt vänster alternerade mellan taktorn under vänster armhåla och två andra taktorer (vilka två andra beroende på driftens hastighet), och åt höger på motsvarande sätt. Skillnaden i horisontalplanet var att denna display även indikerade drift i samtliga riktningar, vilket gjordes genom att den taktor som närmast motsvarade driftens riktning indikerade driftens riktning genom att på motsvarande sätt som vid lateral drift alternera mellan två andra taktorer. Vertikal drift indikerades genom att pulserna i driftens riktning i stället gavs med motsvarande taktor i displayens övre eller undre ring (vilken beroende på om det var vertikal drift var uppåt eller nedåt). På samma sätt som för taktil rinnande display gavs vertikal information med taktorer i riktning rakt fram om deltagaren kom under tröskelvärdet 0,4 m/s i lateral drift.

Deltagarnas uppgift var att hovra på höjden 8000 fot och undvika drift, både horisontellt och vertikalt. De skulle inte hovra på en speciell position i luftrummet, dvs. om de drev iväg i någon riktning skulle de så fort som möjlig stabilisera helikoptern där de befann sig och inte försöka att ta sig tillbaka till föregående position. Längden på hovringsuppgiften var 2 minuter.

Försöket genomfördes med inomgruppsdesign, dvs. samtliga deltagare testade samtliga 4 displayer. Ordningen mellan displayerna balanserades över deltagare. Innan försöket fick deltagarna, på motsvarande sätt som i föregående försök, träning på att flyga helikoptern (Avsnitt 2.5).

Prestation mättes som genomsnittlig lateral drift (m/s), genomsnittlig drift i riktning fram-bak (m/s) och genomsnittlig vertikal drift (m/s). Deltagarna besvarade också enkäter (bl.a. upplevelse av drift, displayerna, eventuellt obehag och mental arbetsbelastning), vilka huvudsakligen innehöll skattningsfrågor på skalan 1-7.

Trots träningen, och tidigare erfarenheter av helikoptersimulatorn, hade vissa deltagare under vissa sekvenser av försöket problem att kontrollera helikoptern. Filtrering av loggdata som översteg 12,5 m/s i riktning fram-bak gjordes därför på motsvarande sätt som i föregående försök (Avsnitt 2.5). Sex deltagare hade extrem avvikelse i riktning fram-bak på en display (63 – 88 % av data filtrerat). Resultat från 3 deltagare ströks för visuell display, från 1 deltagare för taktil enkel display och från 2 deltagare för taktil rinnande display. Deras resultat ströks för samtliga resultat för displayen i fråga, dvs. både för prestationsdata och subjektiva

skattningar och ersattes med gruppens medelvärde (för utförligare beskrivning av förfarandet se Avsnitt 2.5)

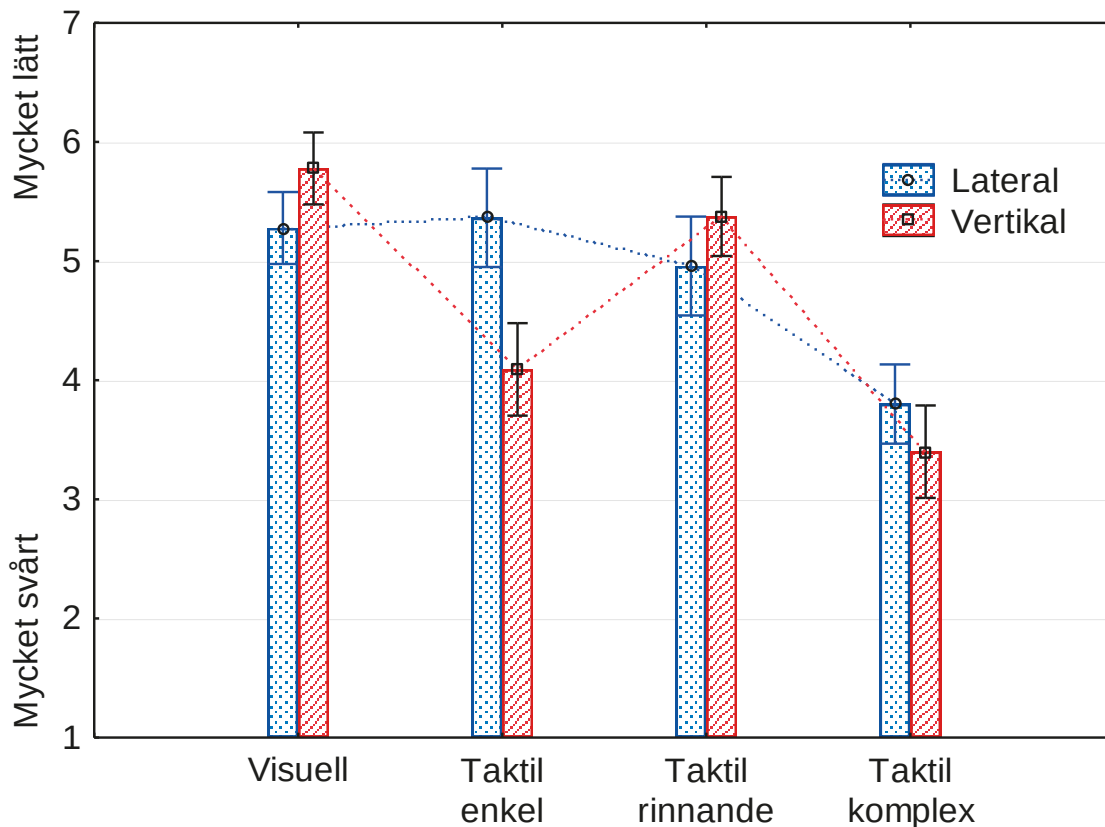
2.6.2 Resultat

Det var inte någon signifikant skillnad i lateral drift mellan displayerna. Genomsnittlig lateral drift var 4,7 m/s^{xliii}.

Det var inte någon signifikant skillnad i drift i riktning fram-bak mellan displayerna. Genomsnittlig drift i riktning fram-bak var 5,3 m/s^{xliv}.

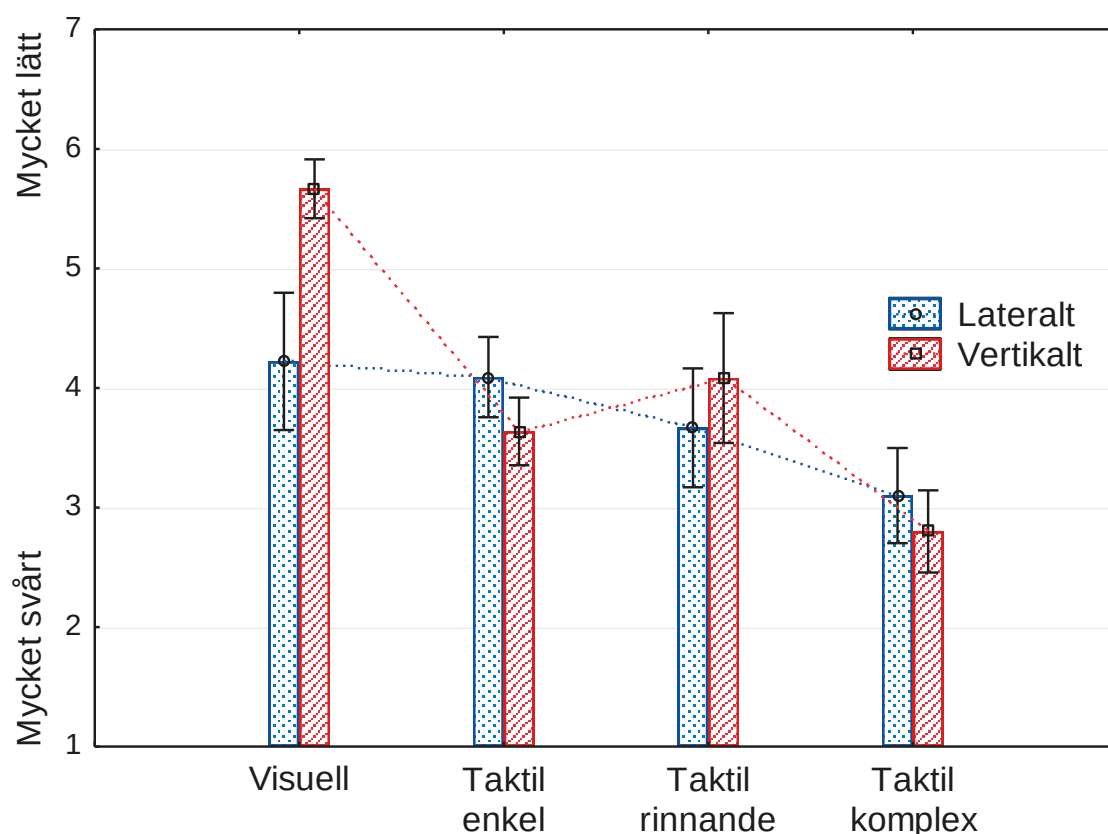
Det var inte någon signifikant skillnad i vertikal drift mellan displayerna. Genomsnittlig vertikal drift var 2,7 m/s^{xlv}.

Deltagarna skattade hur det var med var att med de fyra driftdisplayerna uppfatta (se respektive känna) och förstå informationspresentationen om lateral respektive vertikal drift (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Det var inte någon signifikant skillnad mellan hur det var att uppfatta och förstå drift. Lateral driftinformation skattades som signifikant svårare att uppfatta och förstå med taktil komplex display jämfört med samtliga övriga displayer (samtliga $p < 0,01$). Vertikal driftinformation skattades som signifikant lättare att uppfatta och förstå med både visuell och taktil rinnande jämfört med både taktil enkel och taktil komplex display (samtliga $p < 0,01$). Med taktil enkel display skattades det också som signifikant lättare att uppfatta och förstå lateral driftinformation jämfört med vertikal driftinformation ($p < 0,01$)^{xlvi} (Figur 33).



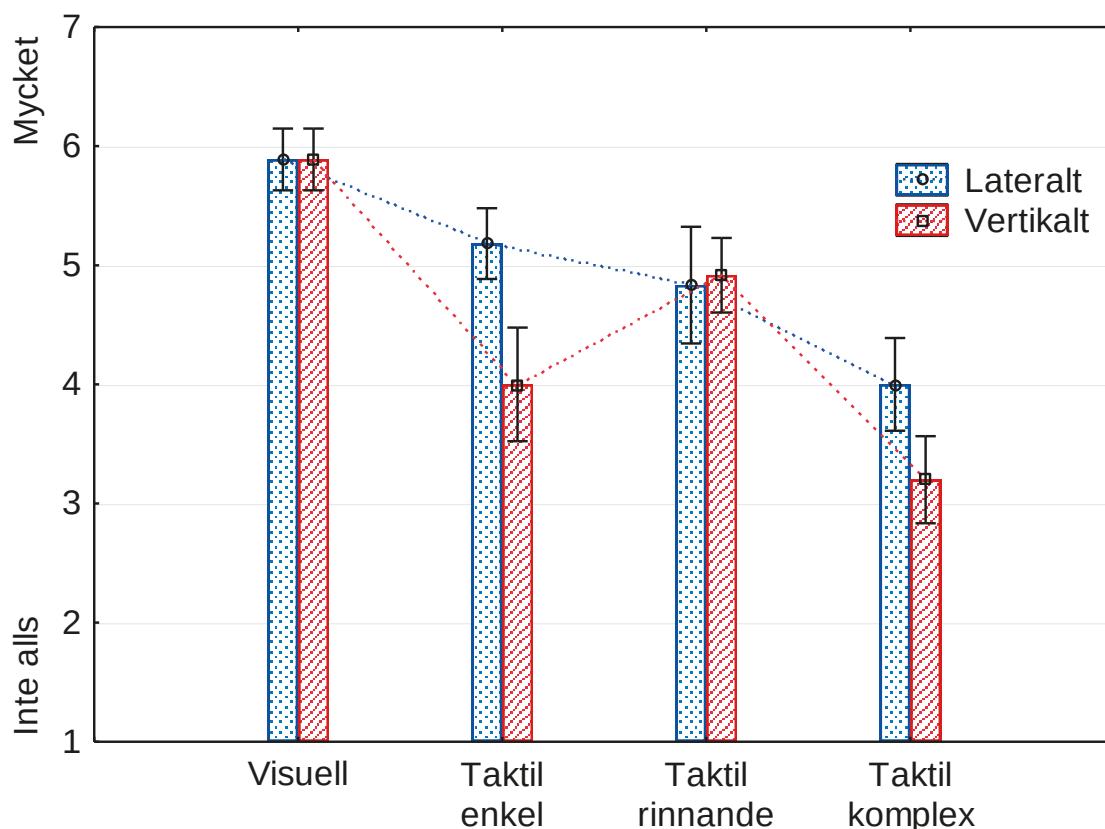
Figur 33. Deltagarnas skattning av hur det var att uppfatta och förstå lateral respektive vertikal driftinformation med var och en av de fyra driftdisplayerna.

Deltagarna skattade hur det var att med hjälp av de fyra driftdisplayerna att kontrollera drift, lateralt respektive vertikalt (7 = Mycket svårt – 1 = Mycket lätt). Lateral drift skattades som signifikant lättare att kontrollera med visuell jämfört med taktil komplex display ($p < 0,05$). Vertikal drift skattades som signifikant lättare att kontrollera med visuell jämfört med samtliga övriga displayer, och dessutom lättare att kontrollera med taktil rinnande jämfört med taktil komplex display (samtliga $p < 0,01$). Med visuell display skattades det dessutom som signifikant lättare att kontrollera vertikal jämfört med lateral drift ($p < 0,01$)^{xlvi} (Figur 34).



Figur 34. Deltagarnas skattning av hur det var att kontrollera lateral respektive vertikal drift med var och en av de fyra driftdisplayerna.

Deltagarna skattade hur noggrann de uppfattade driftinformationen, lateral respektive vertikal, med var och en av driftdisplayerna (1 = Inte alls noggrann – 7 = Mycket noggrann). Lateral driftinformation skattades som signifikant mer noggrann med både visuell och taktill enkel jämfört med taktill komplex display ($p < 0,001$; $p < 0,05$). Vertikal driftinformation skattades som signifikant mer noggrann med både visuell och taktill rinnande jämfört med taktill komplex (båda $p < 0,001$) display, samt signifikant noggrannare för visuell jämfört med taktill enkel display ($p < 0,001$). Med taktill enkel display skattades dessutom lateral driftinformation som signifikant mer noggrann jämfört med vertikal driftinformation ($p < 0,05$). (Figur 35)^{xlvi}.



Figur 35. Deltagarnas skattningar av hur noggrann de uppfattade lateral respektive vertikal driftinformation med de fyra driftdisplayerna.

Deltagarna skattade hur de som helhet upplevde informationspresentationen från driftdisplayerna (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra). Deltagarna skattade sin helhetsuppfattning av displayerna som medelhög (4,6) och det var inte någon skillnad mellan displayerna^{xlix}.

Deltagarna skattade hur det var att utföra hovringsuppgiften och manövrera helikoptern med respektive display (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna, men det skattades som signifikant lättare att manövrera helikoptern (4,2) jämfört med att utföra hovringsuppgiften (3,9) ($p < 0,01$)^l.

Deltagarna skattade huruvida informationspresentationen från driftdisplayerna var obehaglig eller störande (1 = Inte alls – 7 = Världigt mycket).

Informationspresentationen skattades som signifikant mindre obehaglig (2,3) än störande (3,0) ($p < 0,001$). Båda skattningarna var dock låga, vilket i praktiken innebär att informationspresentationen varken uppfattades som speciellt obehaglig eller störande, och det var inte någon skillnad mellan displayerna^{li}.

Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning vid användning av respektive display (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Det var inte någon signifikant

skillnad i skattningarna mellan displayerna och medelvärdet var 5,5 vilket är relativt högt^{lii}.

2.6.3 Diskussion

Deltagarnas förmåga att kontrollera lateral drift var likvärdig med samtliga displayer. Med avseende på prestation kunde således hypotes (a) att kontroll av drift lateralt vid hovring är lika bra med samtliga taktila displayer som med den visuella driftdisplayen bekräftas. De subjektiva skattningarna visar dock att det uppfattades som lättare att kontrollera lateral drift när driftinformationen presenterades från den visuella displayen. En rangordning av displayerna med utgångspunkt från de subjektiva skattningarna om att uppfatta/förstå lateral driftinformation, kontrollera lateral drift och den laterala informationens noggrannhet ger: (1) Visuell display (signifikant bättre än någon av de andra displayerna på samtliga tre frågor), (2) Taktil enkel (signifikant bättre än någon av de andra displayerna på att uppfatta/förstå driftinformationen och driftinformationens noggrannhet), (3) Taktil rinnande (signifikant bättre än någon av de andra displayerna på att uppfatta/förstå drift), (4) Taktil komplex (signifikant sämre än någon av de andra displayerna på samtliga tre frågor)

Deltagarnas förmåga att kontrollera vertikal drift var likvärdig med samtliga displayer. Med avseende på prestation kunde således hypotes (b) att kontroll av drift vertikalt vid hovring är lika bra med taktil rinnande och taktil komplex driftdisplay som med den visuella driftdisplayen bekräftas. Även i detta fall tyder dock de subjektiva skattningarna på att det var generellt lättare hantera vertikal driftinformation när den gavs med den visuella displayen. En rangordning av displayerna med utgångspunkt från de subjektiva skattningarna om att uppfatta/förstå vertikal driftinformation, kontrollera vertikal drift och den vertikala informationens noggrannhet ger: (1) Visuell display (signifikant bättre än någon annan display på samtliga tre frågor), (2) Taktil rinnande (signifikant bättre än någon annan display på samtliga tre frågor, men signifikant sämre än visuell display på att kontrollera vertikal drift) och (3) på delad sista plats taktil enkel och taktil komplex display (signifikant sämre än någon annan display på samtliga tre frågor).

Sammanfattningsvis var, enligt de subjektiva skattningarna, den taktila rinnande displayen den taktila display som lyckades bäst med integreringen av samtidig lateral och vertikal driftinformation. Även om deltagarna ansåg att uppfatta/förstå vertikal information och noggrannheten på vertikal var ungefär likvärdig med taktil rinnande display som med den visuella displayen, ansåg de dock att det var svårare att kontrollera vertikal drift med samtliga taktila displayer. Anledningen till att detta inte avspeglade sig i prestationen är sannolikt att uppgiften att kontrollera vertikal drift är ställer lägre krav på piloten än vid kontroll av vertikal drift, vilket i sin tur sannolikt innebär mindre behov av stöd från en driftdisplay. Detta stöds av resultat från föregående försök (Avsnitt 2.5) där kontroll av

vertikal drift var lika bra med standarddisplayen, som inte ger driftinformation, och med de visuella och bimodala driftdisplayerna, och till och med bättre med standarddisplayen jämfört med den taktila displayen. Visserligen uppfattades vertikal information i detta försök med den taktila rinnande displayen som lättare att uppfatta och förstå och som mer noggrann än med de båda andra taktila displayerna, vilket är logiskt eftersom själva syftet med det rinnande taktila mönstret var att öka tydligheten på den vertikala informationen. Men eftersom detta inte avspeglades i prestationen så krävs sannolikt en ytterligare ökning av tydligheten på information om vertikal drift. En möjlig anledning till problemet är att ringarna med taktorer sitter relativt nära varandra (8 cm). Större separation, eller användning av fler band med taktorer är därför en möjlig lösning. Fler band har dock nackdelen att den taktila västen kan bli mer otymplig och obekvämt att bära. En annan lösning är att placera taktorer på axlar och skinkor vilket på ett intuitivt sätt skulle indikera riktningen upp respektive ner. Det är också möjligt att hantering av samtlig taktil information om lateral och vertikal drift är en så komplex uppgift att det krävs mer träning för att detta ska uppfattas lika tydligt som vid visuell presentation. Själva tanken med taktil information är dock att den ska vara så intuitiv att användaren omedvetet utan att behöva tänka efter uppfattar informationen och därmed med minimal mental belastning kan agera på informationen samtidigt som andra uppgifter utförs. Oavsett dessa invändningar är det dock viktigt att notera att både kontroll av lateral och vertikal drift var likvärdig med de taktila och den visuella displayen. Den mentala arbetsbelastningen skattades inte heller som högre när de taktila displayerna användes och de upplevdes inte heller som obehagliga eller störande.

2.7 Flygtest i simulator och intervju med civila helikopterpiloter

Syftet var i första hand att låta riktiga piloter testa simulatören för att få deras synpunkter på styrkor och svagheter med simulatören (Kapitel 1.5), men även få deras upplevelser av nyttan med visuell driftdisplay vid hovring. En hovringsdisplay används ibland av piloter i samband med landning och i situationer där sikten är begränsad (muntlig kommunikation med FM-piloter) eftersom det inte finns annan specialiserad display att tillgå för t.ex. white- och brownout. Fyra professionella civila helikopterpiloter genomförde flygtester med grunddisplay och två typer av visuella driftdisplayer.

2.7.1 Metod

Helikoptermodellen som användes var Seahawk (Kapitel 1.5.3.1) med befintlig driftdisplay för hovring (Figur 8) kompletterad med en alternativ driftdisplay (Figur 36). Eftersom deltagarna var utbildade helikopterpiloter (men inte flugit

denna helikoptermodell) uppmanades de att arbeta som vanligt och använda motsvarande displayer som de vanligen använder under flygning (Figur 7).

Den alternativa driftdisplayen (Figur 36) framtogs för att undersöka om den kan vara ett alternativ till den befintliga driftdisplayen. Denna display har fyra gröna symboler, ett plustecken (+) i mitten, en cirkel (○), en fylld cirkel (●) och en diamant (◇). Plustecknet indikerar mitten, dit övriga symboler ska placeras om helikoptern befinner sig stilla i hovring. Diamanten indikerar riktningen som helikopter driver, dvs. motsvarande information som finns i den inbyggda driftdisplayen. Den fyllda cirkeln indikerar styrspakens position i förhållande till mitten och den icke-fyllda cirkeln indikerar var styrspaken ska placeras för att helikoptern ska uppnå hovring. Den stora skillnaden mellan denna display och den inbyggda driftdisplayen (Figur 8) är att denna ger information till piloten hur han/hon ska agera (föra styrspaken) för att uppnå hovring, medan den befintliga driftdisplayen endast ger information om helikopterns drift. Denna driftdisplay presenterade dessutom höjdinformation på sidorna och en del av en kompass på dess övre kant.



Figur 36. Driftdisplay med indikering av hur helikoptern driver (diamant), styrspakens position (fylld cirkel), var styrspaken bör placeras (icke-fylld cirkel) och mitten där symbolerna ska befinna sig för att uppnå hovring.

2.7.2 Resultat intervjuer

Intervjuerna fokuserade på två delar, övergripande subjektiva åsikter om white-out och brownout och styrkor, samt svagheter hos standarddisplayen och de två driftdisplayerna. I normalfallet med god sikt bedömde samtliga fyra piloter att den

mentala arbetsbelastningen var mycket låg vid hovring. En av de fyra piloterna hade upplevt white-out vid flygning medan de andra tre hade provat på white-out under utbildning med instruktör. Trots att de i tre av fyra fall genomförde träningen på ett öppet fält och hade en erfaren instruktör med sig så upplevde samtliga att den mentala arbetsbelastningen och stressen ökade markant och de beskrev det som en riktigt otäck situation. På frågan om vad som var kritisk information svarade samtliga yttre referenser, och vid white-out prioriterade de att återfå kontrollen genom att finna en fast referens i omgivningen. Ingen pilot hade erfarenhet av brownout men en pilot hade upplevt en situation över vatten som påminde om white-out och brownout eftersom vattnet hade rört sig och hans upplevelse var att helikoptern och inte omgivningen hade rört sig i den aktuella situationen.

Vid diskussionen om simulatorm framkom att piloternas upplevelse av styrspakens känslighet inte riktigt överensstämde med verkligheten. Efter försöket med piloterna åtgärdades detta genom att byta styrelektroniken till styrspaken för att öka känsligheten. En "Universal joystick controller BU0836X" enhet installerades och upplösningen ökade därmed från åtta bitar (256 steg) till tolv bitar (4096 steg) vilket avsevärt förbättrade prestandan.

Piloterna tillfrågades om de fick all information de behövde i de displayer som användes (standarddisplayen och de två driftdisplayerna). Svaren varierade något, där ett par av de mindre erfarna piloterna var positiva och ansåg att de hade fått all information medan den mest erfarna piloten inte ansåg att han hade fått all information på ett bra sätt. Även om information fanns i standarddisplayen så fanns den t.ex. inte tydligt att tillgå i driftdisplayerna (troligen ville piloten kombinera en del information från standard- och driftdisplayerna). Åsikterna kring standarddisplayen var positiva och alla piloter använde sig primärt av horisontgyro, och därtill flera andra av dess displayer för att t.ex. se höjd och riktning. Åsikterna om driftdisplayen utan prediktion (Figur 8) var positiva eftersom den gav information om drift, vilket inte var möjligt att få med enbart information från standarddisplayerna. Två av piloterna utgick från horisontgyrot vid hovring och tittade sedan på driftdisplayen som komplement medan de andra två hade primärt fokus på driftdisplayen, men tittade även på standarddisplayen för att få annan information. Eftersom ingen av piloterna hade erfarenhet av att arbeta med denna helikoptermodell och därmed med den standarddisplay som användes, eller de driftdisplayer som testades, kan inte några säkra slutsatser dras om hur ett optimalt arbetssätt mellan standard- och driftdisplay bör vara. Driftdisplayen med prediktion som gav extra information om hur piloten bör agera var den som mottog mest kritik. Flera piloter ansåg att de fastnade i den och glömde bort annan information. Deltagarna var positiva till att driftdisplayen var placerad head-up, men de hade svårt att ta till sig höjdinformation och den information i överkanten från kompassen eftersom endast en del av kompassrosen visades (vilket de inte var vana vid). Flera framförde att driftdisplayen med

prediktion skulle kräva mer träning för att verkligen kunna användas på ett bra sätt.

2.7.3 Diskussion

Intervjuerna med helikopterpiloterna gav information som inte kunde fås genom de studier som genomförts med naiva deltagare (studenter). Bl.a. delgav de sina erfarenheter från verkliga white-out situationer där det var uppenbart att situationen ökar arbetsbelastning mycket när de försöker återfå kontrollen genom att söka efter referenspunkter i omgivningen. Dessutom var det tydligt att känslan upplevdes som riktigt obehaglig när de förlorade kontrollen och inte visste om de drev i sidled eller tappade höjd. Deras subjektiva åsikter om de båda driftdisplayerna visar att de i grunden är positiva till den delgivna informationen, men också att de noterar risker med framför allt driftdisplayen med prediktion. En stor risk med denna display, som angavs, var att man kan tendera att fastna i den information som presenteras och därmed riskera att inte titta på annan information som också är viktig. Placering av displayer head-up kan avhjälpa en del av detta problem eftersom piloten då kan titta ut genom fönstret och snabbt växla till att få information från head-up displayen. De positiva kommentarerna till head-up displayer grundar sig sannolikt i att de är vana att ha all information head-down. En slutsats är att en driftdisplay måste designas på ett sådant sätt att den blir intuitiv och så att man snabbt och enkelt kan växla mellan den och andra displayer när situationen så kräver.

2.8 Övergripande slutsatser från försöksverksamheten

Utvärdering av displayer har övergripande haft som syfte att utvärdera om kontroll av drift kan förbättras genom användande av driftdisplayer istället för att endast använda grunddisplayer som finns i alla helikoptrar. Utgångspunkten har varit en visuell driftdisplay som används för att underlätta vid hovring (Figur 8) och som i vissa fall även används i andra situationer för att minimera drift. Här följer en kort och förenklad beskrivning av några av de frågor som vi försökt besvara inom projektet. Det bör påpekas extra noga att svaren är förenklade för att ge läsaren en övergripande förståelse framför en mer detaljerad vetenskaplig förklaring. För djupare kunskap i respektive frågeställning rekommenderas Kapitel 2, tillhörande statistiska beräkningar i slutet av rapporten (Bilaga) och de olika referenser som inkluderats i denna rapport.

Fråga: Är det någon skillnad i kontroll av drift vid användande av enbart grunddisplayer (hastighetsmätare, horisontgyro, höjdmätare och kompass) och när driftdisplay adderas?

Svar: Ja, kontroll av drift förbättras vid användande av driftdisplay. Kontroll av lateral drift förbättras vid användande av visuell, taktil och bimodal driftdisplay (Kapitel 2.1 och 2.3).

Fråga: *Är det någon skillnad i kontroll av drift vid användande av visuell- och taktil driftdisplay?*

Svar: Nej. Det finns ingen statistisk skillnad i kontroll av lateral drift mellan visuell- och taktil display. Att prestationen är lika bra med en taktil som en visuell driftdisplay stödjer möjligheten att använda taktil display i vissa situationer för att avlasta synsinnet, t.ex. vid brownout (Kapitel 2.1, 2.3 och 2.4).

Fråga: *Hur påverkas kontroll av drift vid användande av visuell- och taktil driftdisplay lateralt och fram-bak?*

Svar: Drift fram-bak är svårare att kontrollera än drift lateralt (för studenter). Detta beror sannolikt på brister i flygning och inte på displayutformningen (Kapitel 2.5 och 2.6).

Fråga: *Hur påverkas kontroll av vertikal drift vid användande av visuell- och taktil driftdisplay som indikerar vertikal drift?*

Svar: Vertikalt finns det vissa oklarheter som behöver utredas vidare. En studie visar att visuell display är att föredra framför taktil display, medan en annan studie visar att de är likvärdiga. En slutsats av detta är att den visuella fungerar bra, medan designen av den taktila displayen behöver utredas vidare för att säkerställa att prestationen vid vertikal drift är likvärdig som med den visuella displayen (Kapitel 2.5 och 2.6).

Fråga: *Vad är nyttan med bimodal display?*

Svar: Bimodal display ger lika bra kontroll av drift som visuell och taktil driftdisplay (Kapitel 2.2). Den viktigaste fördelen är att användaren kan växla mellan displayerna och använda den display som i situationen är mest lämpad. I en brownout situation där piloten vill titta ut genom fönstret kan han/hon få driftinformation med den taktila displayen. I andra situationer när det perceptuella sinnet inte behöver processa lika mycket visuell information kan den visuella displayen vara att föredra.

Fråga: *Hur bör en bimodal display designas?*

Svar: Denna fråga är inte helt utredd i dessa studier. Utifrån tidigare erfarenheter och rekommendationer från ett koncept som heter visuellt momentum har vi utvecklat ett koncept som vi kallar perceptuellt momentum för att bättre passa

design av bi- och multimodala gränssnitt (se en mer detaljerad beskrivning i Kapitel 3 och resultat i Kapitel 2.2). Rekommendationen är att designa så att olika delar i gränssnittet stämmer överens och därmed undvika motstridig information för användaren. Detta är viktigt både vid design av visuella gränssnitt (visuellt momentum) och vid design av displayer som presenterar information till flera modaliteter (perceptuellt momentum).

Fråga: Hur bör en visuell driftdisplay designas för flygning (inklusive långsam flygning i samband med landning) och vid hovring?

Svar: Tre huvudsakliga koncept har utvärderats: lateral display (höger-vänster), horisontell display (360 grader) och vertikal drift. Vilket displayalternativ, lateral respektive horisontell, som är bäst är kopplat till flyguppgiften. Vid hovring är den horisontella displayen bäst eftersom den visar drift i samtliga riktningar till skillnad från den laterala som endast visar drift till höger-vänster. Vid flygning framåt fanns ingen skillnad mellan de båda displayalternativen, vilket talar till fördel för den horisontella displayen eftersom den då kan användas både vid flygning och hovring istället för att skifta mellan horisontell och lateral display beroende på flyguppgift (Kapitel 2.2). Den vertikala driftinformationen kompletterade den horisontella driftinformationen (Kapitel 2.5 och 2.6), men behöver utvärderas vidare för att säkerställa valet av design.

Fråga: Hur bör en taktill driftdisplay designas för flygning (inklusive långsam flygning i samband med landning) och vid hovring?

Svar: Tre huvudsakliga koncept har utvärderats: lateral drift driftdisplay (höger-vänster), horisontell driftdisplay (360 grader) och vertikal driftdisplay. Vad som är att föredra är liksom för den visuella driftdisplayen kopplat till uppgiften. Vid hovring är den horisontella displayen bäst eftersom den visar drift i samtliga riktningar till skillnad från den laterala som endast visar drift till höger-vänster. Vid flygning framåt är den laterala driftdisplayen att föredra eftersom den gav bättre kontroll av drift än med den än med den taktilla horisontella driftdisplayen (Kapitel 2.2). Kontroll av vertikal drift var sämre med den taktilla displayen jämfört övriga displayer i en studie (Kapitel 2.5) men likvärdig med övriga displayer efter modifieringar av displayen, men likväl var de subjektiva skattningarna av displayens noggrannhet, hur lätt uppfatta och förstå informationen, samt hur lätt det var att kontrollera vertikal drift lägre än för den visuella displayen, och i synnerhet för vissa av de modifierade taktilla displayalternativen (Kapitel 2.6). Taktill vertikal driftinformation behöver därför utredas vidare.

Fråga: Hur mycket träning behövs för att studenter ska kunna flyga helikoptersimulator och därmed delta i försöksverksamhet?

Svar: Vi har i de flesta fall använt studenter som deltagare i genomförda försök eftersom vi inte haft tillgång till piloter i den utsträckning vi önskat. Fördelen har varit att vi kan genomföra många studier med studenter, men nackdelen har varit

att de inte kan flyga helikopter. Som vi visade i en studie (Kapitel 2.4) krävs åtminstone 40 minuters träning, men det finns stora individuella skillnader. Dessutom varierar det mellan uppgift, där flygning framåt längs en bana bedöms vara enklare än att hovra.

3 Designprinciper

En ansats i projektet, fränsett det mer fokuserade arbetet mot helikopter och displayer, var att skapa ytterligare förståelse och kunskap avseende displayer och specifikt bi- och multimodala displayer. Även om design av displayer alltid måste kopplas till en aktuell situation så finns det övergripande designregler och kunskap som kan användas i flera domäner. För att bygga vidare på de studier som genomförts i projektet har det varit viktigt och utveckla denna kunskap.

Frågan om hur visuella, taktila och eventuellt auditiva displayer bör kombineras i så kallade bi- eller multimodala gränssnitt är viktig. Idag finns det dock inga klara riktlinjer för hur detta ska göras och därför bedriver projektet verksamhet, utöver den praktiska forskningen med utvärdering av displayer, med 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, vilka exempelvis i en cockpit kan finnas på flera olika platser (Haskell & Wickens, 1993; Wickens & Carswell, 1995). Förslaget om spatial närhet är inte direkt tillämplbart när det gäller bi- och multimodala gränssnitt eftersom informationen då presenteras till olika modaliteter. Däremot 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.

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 de som tittar en upplevelse som motsvarar vad de själv skulle ha kunnat se i den aktuella situationen. När betraktarna fått veta det de behöver veta i den aktuella situationen 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, är begreppet inte helt tillämplbart 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 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 drifthastigheten ökar. I en taktil display kan motsvarande information presenteras genom att taktorer vibrerar i den riktning som helikoptern driver och att vibrationernas frekvens kan öka med driftens hastighet, dvs. vibrationernas frekvens motsvarar längden på vektorn i motsvarande visuella display. Absolut hastighet kan exempelvis enkelt presenteras numeriskt på en visuell display, men kan inte presenteras på en taktil display så att användaren intuitivt kan förstå det absoluta värdet. Dålig överensstämmelse, eller i värsta fall motsägelsefull information mellan modaliteter, försvårar 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 specifika fall kan det finnas skäl att presentera informationen som inte är överensstämmande, men i designfasen bör alltid fördelarna med överensstämmelse mellan modaliteter beaktas.

4 Samarbeten

Samarbete har i första hand skett med FM-representanter på högkvarteret och helikopterflottiljen på Malmen i Linköping. Dialog har förts för att få domänkunskap från piloter och personal som arbetar med simulering. Information om projektets inriktning och verksamhet i övrigt har delgivits till helikopterflottiljen genom olika typer av korrespondens och möten, där bl.a. chefen för flottiljen informerats. En annan viktig informationskanal har varit arbetet i NATO-gruppen "Rotary-Wing Brownout Mitigation: Technologies and Training" (TR-HFM-162). En rapport framtoogs gemensamt (Albery, 2012), bl.a. innehållande problembeskrivning, förslag på lösning för att undvika problemen, användande av olika sensorer och riskhantering i olika situationer. Rapporten författades av både forskare och erfarna piloter som arbetat i områden där brownout är ett signifikant problem (t.ex. Afghanistan och Irak). Kontakt med vissa deltagare i NATO-gruppen har fortsatt, bl.a. med en pilot och forskare vid Fort Rucker i USA. NATO-rapporten har delgivits helikopterflottiljen på Malmen.

5 'Ny' teknik

Projektet har haft en viss omvärldsbevakning på utveckling av teknik inom displayområdet. Urvalet av displayer är subjektivt och har bedömts intressanta i varje enskilt fall.

5.1 Transparent display

En ny typ av displayer som nu finns är en transparent LCD display (Figur 37), med eller utan pekfunktion. Displayen kopplas till en vanlig dator och information kan visas på den transparenta displayen precis som på en traditionell LCD display. Det intressanta med denna typ av display är att information kan visas på displayen samtidigt som användaren kan se igenom displayen för att betrakta det som finns bakom.



Figur 37. Exempel på transparent display där information kan visas på skärmen samtidigt som betraktaren ser genom den (foto: G. Bradshaw).

5.1.1 Möjliga användningsområden inom Försvarsmakten

Denna typ av display kan tänkas ha flera användningsområden för Försvarsmakten. En situation som kan vara intressant är ledningssituationen där chefen står på en sida av en display eller glasvägg och kan få information, t.ex. från en lägeskarta, medan övriga delen av staben arbetar på separata skärmar med deluppgifter. Chefen kan då samtidigt få information på en stor skärm och ha direkt ögonkontakt med övriga staben. Principen med att samtidigt få information på en display och se vad som finns bakom kan sannolikt användas i många fall, men det finns även uppenbara problem med att det som visas på displayen störs av bakgrunden. Ett annat praktiskt exempel är head-up displayer (HUD) i t.ex. JAS där principen nyttjas. Det virtuella avståndet (mellan ögon och HUD) i ett flygplan är lika med optisk oändlighet för att piloten ska kunna betrakta omgivningen och samtidigt kunna läsa det som står på displayen. Detta åstadkoms

genom att det virtuella avståndet (optisk oändlighet) sätts till sex meter eller mer, vilket innebär att ljusstrålarna som träffar ögonen kommer vara parallella. Denna typ av display kallas kollimerad HUD. I vissa fall är det inte nödvändigt att ha en riktig HUD utan det är troligen tillräckligt bra med den billigare transparenta displayen. Kostnaden för en transparent display när detta skrivs (2014) ligger på ca 15000 kronor för en 46 tum display.

5.2 3D TV

De senaste åren har 3D TV åter blivit populärt på TV-marknaden. Det finns olika tekniker för att skapa 3D-effekten men den som huvudsakligen används i nyare TV-apparater är så kallad stereoskopisk 3D (Figur 38). Det innebär att två bilder presenteras samtidigt, en för respektive öga. För att få denna typ av 3D-effekt används oftast polariserade 3D-glasögon. Kostnaden för att inkludera 3D-funktionalitet i TV-apparater är så pass liten att tillverkarna inte förlorar något på att inkludera det. 3D-funktionalitet i TV-apparater kommer sannolikt att i allt högre grad ses som en funktion som inte är nödvändig, men som finns om man önskar använda den, likt möjligheten att använda internet i TV och andra funktioner som i allt större utsträckning ses som standard i TV-apparater. Det finns även så kallade autostereoskopiska displayer som använder teknik som möjliggör stereoeffekt utan att den som tittar behöver några 3D-glasögon (Chapiro et al., 2014). Den som tittar måste dock befinna sig inom ett specificerat område (stereo zon) för att effekten ska framträda. Hur väl denna teknik kommer fungera i praktiken återstår att se.



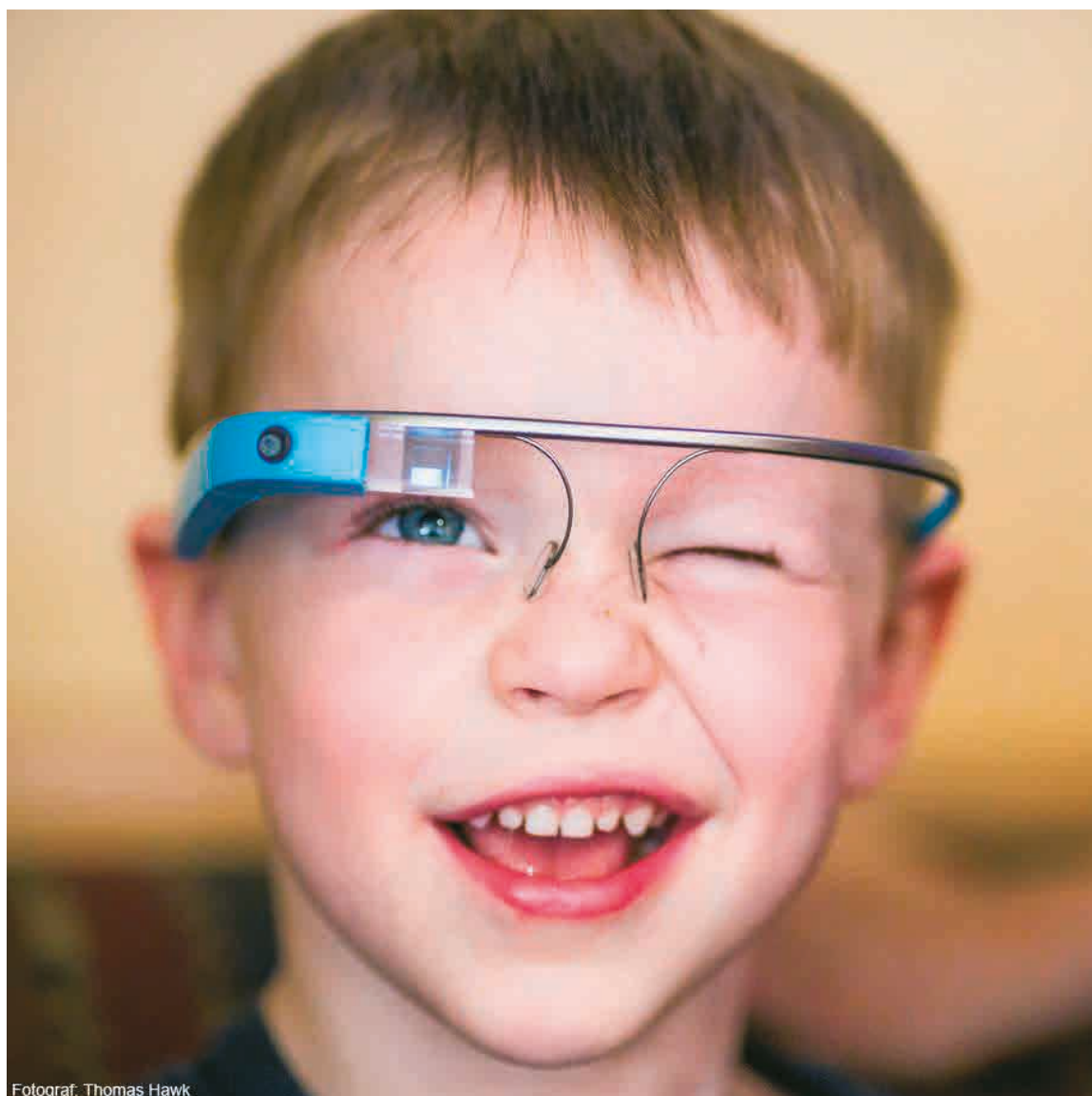
Figur 38. Exempel på 3DTV där glasögon används för att uppleva 3D-effekten (foto: LG).

5.2.1 Möjliga användningsområden inom FM

En av effekterna med 3D TV är att det ökar realismen och därmed eventuellt ökad inlevelse för det man betraktar. Inom simulering och träningsverksamhet idag är det vanligt att 3D perspektiv används för simulering, men 3D med stereoeffekt används oftast inte. Dagens datorspel som använder 3D perspektiv ger en hög realism och med hjälp av 3D TV (stereo) kan man förhöja realismen ytterligare och därtill öka inlevelsen. För uppgifter där användaren styr något och detaljerad avståndsbedömning är av vikt, såsom fjärrstyrning av (eller autonoma) obemannade farkoster (Aerosoft, 2007) kan 3D-presentation bidra till förbättrad prestation (Anderson, 1998; Mazyn, Lenoir, Montagne, & Savelsbergh, 2002; Saxena, Schulte, & Ng, 2007). En nackdel med 3D är att användaren oftast behöver bära speciella glasögon för att stereoeffekten ska uppstå. Ett undantag är så kallad autosteroskopisk display där inga glasögon behövs (Dodgson, 2005).

5.3 Google glasögon

Google glasögon (Google Glass) en huvudmonterad display (Figur 39) som offentliggjordes av Google under första halvåret 2013. Det är en glasögonskalm med en skärm i form av en LCOS-prisma (flytande kristall på kisel) ovanför höger öga på vilken informationen projiceras. I dagsläget (september 2014) finns Google Glass att köpa på den svenska marknaden för ca 15000 SEK. I Google glasögon sitter en 5MP kamera och den första versionen av Google glasögonen var utrustade med "bone conduction"-hörlurar men har i senare versioner ersatts med vanliga in-ear hörlurar. Google glasögon styrs med hjälp av röststyrning eller en enkel touchpad som sitter vid höger tinning. Den projicerade bilden har en upplösning på 640×360 punkter, vilket innebär att appar som körs på Google glasögon måste anpassas till den begränsade upplösningen för att bli användbara. Operativsystemet som körs på Google glasögon är Android och för att uppnå produktens fulla potential är det fördelaktigt att använda Google glasögon trådlöst sammankopplad med en smartphone.



Figur 39. Google glasögon.

5.3.1 Möjliga användningsområden inom FM

Fördelen med Google glasögon är som med andra huvudmonterade displaylösningar är att man har händerna fria till annat. Den inbyggda kameran gör även Google glasögon till ett utmärkt verktyg att för att spela in video och ljud situationer som stöd för exempelvis after action review. Röststyrningen som Google glasögon har är dessutom en fördel jämfört med många andra liknande produkter. När en användare utför avancerade uppgifter kan Google glasögon vara ett utmärkt hjälpmedel för att enkelt tillhandahålla en instruktionsvideo. Videon kan då startas och stoppas via röstkommandon samtidigt som användaren har händerna fria. Att visa kompletterande information för användaren, vid rätt

tidpunkter kan göra Google glasögon till ett väldigt värdefullt verktyg i många situationer. Redan i dagsläget kan man utveckla egen programvara för Google glasögon, vilket gör det möjligt att koppla samman Google glasögon med befintliga system för att lyfta upp information från en vanlig skärm till Google glasögonen. Appar för t.ex. navigeringsstöd finns redan till Google glasögon och fler användbara appar kommer sannolikt utvecklas i snabb takt, framförallt om Google glasögon blir allmänt tillgänglig samt sjunker i pris. Vi har inte haft möjligheten att direkt utvärdera denna produkt.

5.4 Oculus rift

Oculus rift (Figur 40) lanserade under 2013 en första prototyp med LCD-skärm som hade upplösningen 1280×720 pixlar som skapar en stereoskopisk bild men som inte användaren kan se igenom. Upplevelsen på marknaden (bl.a. användare på mässor) var över lag positiv men det fanns en del problem, bl.a. begränsad upplösning och viss fördröjning som bl.a. kan skapa illamående. En ny version (även den en prototyp) har lanserats 2014 som kallas crystal cove och består av en AMOLED-skärm med 1920×1080 pixlar och ger ett synfält på 110 grader. Vikten är ca 400 gram. Precis som med den första versionen så är det inte möjligt att se igenom displayen. Den nya versionen har en förbättrad funktion för att följa huvudrörelser. Vi har inte haft möjlighet att prova den nya uppgraderade versionen och kan därför inte värdera den i direkt mening. Däremot bedömer vi att denna teknikutveckling är intressant, inte minst därför att prestanda ökar snabbt och kostnaden går ner för denna typ av produkter och därmed görs tillgängliga för en större marknad. Utvecklingsprototypen finns att beställa för ca 2000 kronor.



Figur 40. Oculus rift utvecklingsversion (Grabowski et al., 2004).

5.4.1 Möjliga användningsområden inom FM

Denna typ av display kan användas för simulering och träning. Det är inte en display som användaren nyttjar för att kombinera omgivningsinformation med överlagrad information eftersom det inte går att se igenom displayen. För det ändamålet finns andra displayer, t.ex. Google glasögon (Avsnitt 5.3). Denna typ av display kan t.ex. användas vid flygsimulering där man vill öka realismen genom att ge användaren möjlighet att se sig runt omkring. Operativ användning displayen skulle kunna vara när man sitter inne i ett fordon eller i en stab och inte har möjlighet att se ut genom fönster (Eriksson, Gustavsson, Tärning, Oskarsson, & Ahlström, 2009). Man kan använda sig av en kameralösning, t.ex. en roterande kamera som skapar en 360 graders bild som sedan länkas till fordonets display (t.ex. Oculus rift). Information kan sedan överlagras på videobilden, t.ex. taktisk information.

6 Slutsatser och rekommendationer

Övervakning och utvärdering av ny teknik bör fortsätta för att i tidiga skeden kunna göra enklare preliminära värderingar i laboratorie- eller tillämpad miljö. Syftet är att kunna värdera vilka tekniker som i framtiden kan ge positiv effekt i form av ökad prestation i olika operativa situationer inom försvarsmakten.

Projektet har fokuserat på brownout problematik i samband med start och landning av helikopter. Ett grundläggande arbete gjordes nationellt och internationellt för att förstå problemet vetenskapligt och tillämpat utifrån helikopterpilotens perspektiv. Detta arbete gjordes genom samtal med representanter från helikopterflottiljen på Malmen i Linköping och delvis med personer med helikopterbakgrund på högkvarteret. Dessutom har det genomförts en kontinuerlig bevakning av forskning och utveckling som bedrivs inom NATO avseende brownout. Slutsatserna från detta arbete visar tydligt att detta är ett reellt problem som resulterar i omfattande skador på materiell och personal. Vid begränsad sikt i samband med landning är problemet framförallt risken för drift i sidled och felbedömning av riktning eller hastighet till landningsplatsen. Om något av dessa problem uppstår utan att piloten upptäcker det ökar risken markant för olyckor. För att lösa problemet måste dels gränssnitts och Human Factors frågor beaktas, men även frågor om sensorer och besättningens procedurer. Fokus inom projektet har dock legat på utveckling av displayer ur ett Human Factors perspektiv med syftet att kunna presentera tydlig information om helikopterns drift och därmed ge piloten goda möjligheter till korrigering i ett tidiga skeden. Detta innebär dock inte att vi betraktar tekniska lösningar avseende sensorer och besättningens procedurer som mindre viktiga, utan att detta inte har kunnat utredas inom ramarna för projektet. Integrering med forskning om sensorer är nödvändigt för anpassning av displayer i förhållande till tillgänglig sensorinformation och integrering med besättningens procedurer och metoder är nödvändig för att säkerställa att displayerna utformas för att kunna användas på rätt sätt.

Eftersom genomförda studier inom projektet tydligt visar att förmågan att kontrollera horisontell drift (höger-vänster och fram-bak) förbättras vid användande av en driftdisplay tyder det på att en sådan display borde finnas i alla helikoptermodeller. Dessutom visar resultaten från våra studier att förmågan att kontrollera drift är ungefär lika bra med en taktil som med en visuell display, vilket talar för möjligheterna komplettera visuell med taktil information, och därmed även kunna ge piloten information i situationer där det normalt är svårt att hålla blicken på displayen. Hur en taktil display ska utformas för att även indikera drift i höjddled behöver dock utredas vidare. En situation när en taktil display kan vara ett bra komplement till en visuell är t.ex. vid landning då piloten behöver hålla blicken på kritiska objekt på marken, i stället för att titta ner på en visuell head-down display. I en sådan situation kan avlastning av synsinnet genom rätt kodat taktil information ge goda möjligheter till förbättrad prestation.

Eftersom studierna i huvudsak är genomförda med studenter (och i ett fall civila helikopterpiloter) rekommenderas dock att de framtagna taktila displayerna vidare utvärderas med militära helikopterpiloter i simulator och därefter vid verklig flygning. Utvärdering med riktiga helikopterpiloter är helt nödvändig för ekologisk validitet och därmed för att på ett reliabelt sätt kunna gå vidare med dessa displayförslag. Med rätt utformning och användning kan denna typ av driftdisplayer sannolikt bidra till ökad säkerhet i komplexa situationer där begränsad sikt råder. Framtagen kunskap om visuella och taktila displayer kan vidare nyttjas inom andra försvarsmaktsområden, t.ex. JAS 39 Gripen och obemannade flygande farkoster.

7 Konferensbidrag och rapporter i projektet

7.1 FOI rapporter

Under projektet har följande rapporter producerats:

Multimodal presentation i helikopter vid förekomst av brown-out (Lif & Oskarsson, 2012)

Detta var projektets första rapport och författades innan den experimentella verksamheten inleddes. Rapporten är på 26 sidor och ger en allmän genomgång av begreppet brownout och den forskning som har bedrivits, med fokus på displayer, för att stödja piloten vid förhållanden med nedsatt sikt.

Utvärdering av visuell, taktil och bimodal display i simulerad helikopter (Lif et al., 2013)

Denna rapport ger en beskrivning av projektets första försök, vilket jämförde kontroll av lateral drift vid användning av standarddisplay, som inte indikerar lateral drift, med kontroll av lateral drift vid användning av tre typer av driftdisplayer: visuell, taktil och bimodal (se Avsnitt 2.1). Detta försök presenterades också på HFES 2013 (se nedan), men rapporten är svenska och på 25 sidor vilket gör att beskrivningarna av försöket är något utförligare.

7.2 Konferensbidrag

Under projektet har följande vetenskapliga bidrag producerats:

Perceptual momentum for design of multimodal displays (Lif et al., 2012)

Detta bidrag ger en vetenskaplig bakgrund till begreppet ”perceptuellt momentum” vilket har utvecklats inom projektet (se Avsnitt 3). Bidraget presenterades på HFES (Human Factors and Ergonomics Society) European Chapter konferens i Toulouse 2012 och har publicerat som 9 sidigt paper i konferensens proceedings.

Visual, tactile, and bimodal presentation of lateral drift in simulated helicopter (Oskarsson et al., 2013)

Detta bidrag ger en beskrivning av projektets första försök, vilket jämförde kontroll av lateral drift vid användning av standarddisplay, som inte indikerar lateral drift med kontroll av lateral drift vid användning av tre typer av driftdisplayer: visuell, taktil och bimodal (se Avsnitt 2.1). Bidraget presenterades som poster på HFES (Human Factors and Ergonomics Society) konferens i San

Diego 2013 och har publicerats som 5 sidigt papper i proceedings från konferensen.

Evaluation of tactile drift displays in helicopter (Lif et al., 2014)

Detta bidrag ger en beskrivning av projektets tredje försök, vilket undersökte olika typ av kodning för indikering av lateral drift i taktil display (se Avsnitt 2.3). Bidraget presenterades HCI (Human-Computer Interaction) International på Kreta 2014 och har publicerats som 11 sidigt papper i proceedings från konferensen.

8 Referenser

- Aerosoft. (2007). *Aerosoft Seahawk & Jayhawk X Manual - version 2.00*.
- Albery, W. B. (2012). Rotary-Wing Brownout Mitigation: Technologies and Training (ISBN 978-92-837-0149-1). NATO.
- Anderson, B. (1998). Stereovision: beyond disparity computations. *Trends in Cognitive Sciences*, 2(6).
- 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).
- Chapiro, A., Heinzle, S., Aydin, T. O., Poulakos, S., Zwicker, M., Smolic, A., & Gross, M. (2014). Optimizing Stereo-to-Multiview Conversation for Autostereoscopic Displays. *Computer Graphics Forum*, 33(2).
- 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.
- Compfight. (2014a). Bell 206B Jetranger. <http://compfight.com/search/bell-206B/1-2-1-1>.
- Compfight. (2014b). Sikorsky Seahawk helicopter. <http://compfight.com/search/sikorsky-seahawk/1-2-1-1>.
- 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* (Technical Report: DSE-TR-0904). Operations Research Center of Excellence West Point, NY.
- Dichgans, J., & Brandt, T. (1978). Visual-vestibular interaction: Effects on self-motion perception and postural control. In R. Held, H. Leibowitz, & H. L. Teuber (Eds.), *Handbook of sensory physiology* (Vol. 8). Berlin: Springer-Verlag.
- Dodgson, N. A. (2005). Autostereoscopic 3D Displays. *Computer*, 38(8), 31-36.

- Elliot, L. R., Duistermaat, M., Redden, E., & van Erp, J. (2007). *Multimodal Guidance for Land Navigation* (ARL-TR-4295). Abredeem, MD: U.S. Army Research Laboratory.
- Endsley, M. (1995). Toward a Theory of Situational Awareness in Dynamic Systems. *Human Factors*, 37(1), 32-64.
- 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., Gustavsson, J., Tärning, B., Oskarsson, P.-A., & Ahlström, A. (2009). FMV FoT Transfer - Ökad omvärldsuppfattning med stöd av MR. Etapp 1. Stockholm: FMV (Försvarets Materielverk).
- Eriksson, L., Tribukait, A., von Hofsten, C., & Eiken, O. (2011). On Reducing the Somatogravic Illusion with Hmd Conveyed Visual Flow *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society Annual Meeting*. Santa Monica, CA.
- 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.
- Flightlink. (2014). Advanced Helicopter Package. from <http://www.flightlink.com/base-page/advanced-rotor-wing-package/>
- Försvarsmakten. (2011). *Utbildningsreglemente HKP10 Utbildning Stoftrik miljö*. Försvarsmakten: (Underbilaga 4: 21 500:xxx xx. förhandsutgåva) Luftstridsskolan.
- Gibson, J. (1950). *The perception of the visual world*. Boston: Houghton Mifflin.
- Grabowski, M., Karpinski, G., K, J. F., Rdzanek, A., Pietrasik, A., Wretowski, D., . . . Opolski, G. (2004). Diagnostic value of BNP in suspected perimyocarditis--a preliminary report. *Kardiol Pol*, 61(11), 451-458; discussion 459-460.
- 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.
- Headquarters, D. o. t. A. (2000). Aeromedical Training for Flight Personnel (FM 3-04.301(1-301)). Washington.
- Hochberg, J., & Brooks, V. (1978). Film Cutting and Visual Momentum. In J. W. Senders, D. F. Fisher, & R. A. Mony (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.
- Jennings, C., Holst, P., Craig, G., & Cheung, B. (2012). Rotary wing brown-out symbology: the DVEST test [8383A-15] *SPIE: Head- and helmet-mounted displays; display technologies and applications for defense, security, and avionics VI* Baltimor, USA: SPIE, Bellingham.
- Lackner, J. R., & DiZio, P. (2005). Vestibular, proprioceptive, and haptic contributions to spatial orientation. *Annual Review of Psychology*, 56, 115-147.
- Lee, S., & Starner, T. (2010). BuzzWear: Allert Perception in Wearable Tactile Displays on the Wrist *Proceedings of ACM SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems* (pp. 433-442). Atlanta, GA.
- Lif, P., & Oskarsson, P.-A. (2012). *Multimodal presentation i helikopter vid förekomst av brown-out*. (FOI-R--3421--SE) (FOI-R--3421--SE). Linköping: FOI (Totalförsvarets Forskningsinstitut).
- Lif, P., Oskarsson, P.-A., Hedström, J., Andersson, P., Lindahl, B., & Palm, C. (2014). Evaluation of tactile drift in helicopter. In M. Kuroso (Ed.), *Proceedings of HCI International 2014 - Part II, LNCS 8511* (pp. 587-588). Crete, Greece: Switzerland: Springer International Publishing.
- Lif, P., Oskarsson, P.-A., Hedström, J., Andersson, P., Lindahl, B., & Tullberg, A. (2013). *Utvärdering av visuell, taktill och bimodal display i simulerad helikopter* (FOI-R--3650--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 of HFES Europe Chapter Conference*. Toulouse: <http://hfes-europe.org>.
- Mazyn, L., Lenoir, M., Montagne, G., & Savelsbergh, G. (2002). The contribution of stereo vision to one-handed catching. *Experimental Brain Research*, 157, 383-390.
- McGrath, B. J., Rupert, A. H., & Guedry, F. E. (2002). Analysis of Spatial Disorientation Mishaps in the US Navy *Proceedings of RTO HFM Symposium on "Spatial Disorientation in Military Vehicles: Causes, Consequences and Cures*. La Coruña, Spain.
- Microsoft. (2013). Product information Microsoft flight simulator. Retrieved 2013-02-05, from

- <http://www.microsoft.com/Products/Games/FSInsider/product/Pages/default.aspx>
- MOOG. (2014). Motion Systems. http://www.moog.com/literature/ICD/Moog-Simulation-Motion_Systems-overview-en.pdf.
- Neiswander, G. M. (2011). Improving Deceleration Guidance for Rotocraft Brownout Landing. *Proceedings of American Helicopter Society 67th Annual Forum*. Virginia Beach, VA, USA.
- Oskarsson, P.-A., Lif, P., Hedström, J., Andersson, P., Lindahl, B., & Tullberg, A. (2013). Visual, tactile, and bimodal presentation of lateral drift in simulated helicopter. *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 57th Annual Meeting*. Santa Monica, CA: Human Factors and Ergonomics Society.
- Parment, A. J., & Ercoline, W. (2008). Spatial orientation in flight. In J. R. Davis, R. Johnson, J. Stepanek, & J. A. Fogarty (Eds.), *Fundamentals of aerospace medicine*. Philadelphia: Lippincott, Williams, and Wilkins.
- Peinecke, N., Knabl, P. M., Schmerwitz, S., & Döhler, H.-U. (2012). Developing an Obstacle Display for Helicopter Brownout Situations. *Proceedings of SPIE* (Vol. 8360 83600R-1).
- Saxena, A., Schulte, J., & Ng, A. Y. (2007). Depth Estimation using Monocular and Stereo Cues. *Proceedings of International Joint Conference on Artificial Intelligence*.
- Seidel, C., Schwarz, I., & Kielhorn, P. (2008). Helicopter collision avoidance and brown-out recovery with HELLAS. *Proceedings of SPIE: Electro-Optical remote Sensing, Photonic Technologies, and Applications II*. San Diego, USA.
- Smith, & Hancock, P. (1995). Situation Awareness Is Adaptive, Externally Directed Consciousness. *Human Factors*, 37(1), 137-148.
- Szoboszlay, Z., Albery, W. B., Turpin, T., & Neiswander, G. M. (2008). Brown-Out Symbology Simulation (BOSS) on the NSAS Ames Vertical motion Simulator. *Proceedings of The American helicopter society*. Montreal, Quebec, Canada.
- 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. *Proceedings of 66th Annual Forum of the American Helicopter Society*. Phoenix, AZ.
- TEES. (2012). Desert sandstorms add dangers for pilots. Retrieved 2012-03-22, from <http://tees.tamu.edu/news/2003/04/09/desert-sandstorms-add-dangers-for-pilots/>
- 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. E. (2008). *Tactile Displays for Orientation, Navigation and Communication in Air, Sea and Land Environments*. (Technical report). 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. *Proceedings of International Powered Lift Conference*. Philadelphia, PA: American Helicopter Society International, Inc.
- Wickens, C. (1992). *Engineering Psychology and Human Performance*. New York: Harper Collins Publishers Inc.
- 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.

Bilaga. Redovisning statistiska analyser

Samtliga eftertest är gjorda med Tukey HSD. Vid brott mot sfäriskhet rapporteras Greenhouse Geisser korrigerat p värde. Parenteser anger medelvärden och standardfel (medelvärde $\pm$ standardfel). Kapitelbenämningarna nedan hänvisar till respektive kapitel ovan i texten som analyserna är kopplade till.

2.1 Utvärdering visuell-, taktil- och bimodal lateral display

ⁱ Lateral drift (m/s) analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 höjder (låg, hög).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 6,77$; $p = 0,019$

Signifikant huvudeffekt av höjd, $F(1, 11) = 182,00$; $p < 0,001$

Ingen signifikant interaktionseffekt mellan display och höjd.

Post hoc testning visade att huvudeffekten av display berodde på signifikant högre lateral med standarddisplayen ($3,5 \pm 0,6$) jämfört med samtliga övriga driftdisplayer (visuell: $1,9 \pm 0,2$ m/s, $p = 0,003$; taktil: $2,3 \pm 0,2$ m/s, $p = 0,029$; bimodal: $1,9 \pm 0,2$ m/s, $p = 0,003$).

Huvudeffekten av höjd berodde på signifikant högre avvikelse vid flygning på hög höjd ($3,5 \pm 0,3$ m/s) jämfört med låg höjd ($1,2 \pm 0,2$ m/s).

ⁱⁱ Avvikelse från korrekt höjd (m) analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 höjder (låg, hög).

Signifikant huvudeffekt av höjd, $F(1, 11) = 6,41$; $p < 0,028$.

Stark tendens till huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 2,8$; $p = 0,056$.

Ingen signifikant interaktionseffekt mellan display och höjd.

Huvudeffekten av höjd berodde på signifikant större avvikelse från korrekt höjd vid flygning på hög höjd ($22,6 \pm 3,2$ m) jämfört med låg höjd ($16,1 \pm 2,0$ m)

Post hoc testning visade att tendensen till huvudeffekt av display berodde på en tendens till högre avvikelse från korrekt höjd med visuell display ($23,8 \pm 4,5$ m) jämfört med standarddisplay ($15,3 \pm 1,8$ m) ($p = 0,084$).

ⁱⁱⁱ Avvikelse från korrekt hastighet (m/s) analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 höjder (låg, hög).

Tendens till huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 2,46$; $p < 0,080$.

Stark tendens till huvudeffekt av höjd, $F(1, 11) = 4,72$; $p < 0,05$.

Post hoc testning avseende tendensen till huvudeffekt av display visade inte några signifikanta skillnader mellan displayerna.

Tendensen till huvudeffekt av höjd berodde på något högre avvikelse från korrekt hastighet vid flygning på hög höjd ($3,0 \pm 0,2$ m/s) jämfört med låg höjd ($2,5 \pm 0,2$ m/s).

^{iv} Avvikelse från korrekt riktning (grader) analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displaykonfigurationer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 höjder (låg, hög).

Signifikant huvudeffekt av höjd, $F(1, 11) = 9,27$; $p = 0,011$.

Ingen signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och höjd.

^v Deltagarnas skattade hur svårt/lätt det var att uppfatta information vid användning av respektive display på skalan 1-7 (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 4 typer av information (lateral drift, höjd, hastighet, riktning).

Signifikant huvudeffekt av typ av information, $F(3, 33) = 11,46$; $p < 0,001$.

Signifikant interaktionseffekt mellan display och typ av information, $F(9, 99) = 7,76$; $p < 0,001$.

Ej signifikant huvudeffekt av display.

Post hoc testning visade att skattningarna av drift med standarddisplayen var signifikant lägre än samtliga andra skattningar (samtliga $p < 0,001$).

^{vi} Deltagarnas skattade sin mentala arbetsbelastning på skalan 1-7 (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Skattningarna analyserades med envägs variansanalys för fyra upprepade mätningar (4 displayer: standard, visuell, taktil, bimodal).

Analysen visade inte några signifikanta skillnader.

^{vii} Deltagarnas skattningar om det var obehagligt eller störande att använda displayerna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 frågor (obehagligt, störande).

Det fanns en svag tendens till huvudeffekt av fråga, $F(1, 11) = 3,31$; $p = 0,096$.

Inte någon huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och fråga.

Tendensen till huvudeffekt av fråga berodde på något högre skattningar för störande, ($1,7 \pm 0,2$) jämfört med för obehag ($1,5 \pm 0,2$).

2.2 Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som indikerar lateral drift

^{viii} Lateral drift (m/s) vid flygning rakt fram analyserades med envägs variansanalys upprepad mätning för 9 displayer.

Signifikant skillnad mellan displayer, $F(8, 136) = 2,18$; $p = 0,033$

Post hoc testning visade att lateral drift var signifikant högre med taktil 360° display ($7,0 \pm 0,7$ m/s) jämfört med bimodal lateral display ($4,0 \pm 0,6$) ($p = 0,033$), samt tendens till högre lateral drift jämfört med taktil lateral ($4,2 \pm 0,7$ m/s) ($p = 0,060$).

^{ix} Avvikelse från korrekt höjd (8000 fot) vid flygning rakt fram analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning för 9 displayer.

Inte några signifikanta skillnader.

^x Avvikelse från angiven hastighet (30 knop) vid flygning rakt fram i m/s analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning med 9 displayer. Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

^{xi} Deltagarnas skattningar av hur svårt/lätt det var att uppfatta drift i sidled analyserades med variansanalys för upprepad mätning, 9 displayer $\times$ 2 uppgifter (flyga, hovra).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(8, 136) = 2,74$; $p = 0,008$.

Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 17) = 18,70$; $p < 0,001$.

Ingen signifikant interaktionseffekt mellan display och uppgift

Post hoc testning visade att huvudeffekten av display berodde på signifikant lägre skattningar för Visuellt HD display ($4,6 \pm 0,3$) jämfört med både bimodal lateral ($5,9 \pm 0,2$) ($p = 0,002$) och bimodal inkompatibel I ($5,8 \pm 0,2$) ($p = 0,015$).

Huvudeffekten av uppgift berodde på att flygning skattades som lättare ($5,5 \pm 0,2$) än hovring ($5,1 \pm 0,2$). OBS, huvudeffekten av uppgift är inte redovisad i rapporten, beroende på att uppgift även är med i följande trevägsanalys och redovisas där.

^{xii} För samtliga displayer utom visuellt HDD besvarades följande skattningsfrågor: Hur svårt/lätt det var att uppfatta drift i sidled, hur svårt lätt det var att uppfatta displayens information om drift i sidled (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt) och hur noggrann displayens information uppfattades (1 = Inte alls – 7 = Väldigt Mycket).

Skattningarna analyserades med trevägs variansanalys för upprepad mätning, 8 displayer $\times$ 2 uppgifter (flygning, hovring) $\times$ 3 frågor (uppfatta drift, uppfatta display info om drift, displayernas noggrannhet).

Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 17) = 30,63$; $p < 0,001$.

Signifikant huvudeffekt av fråga, $F(2, 34) = 11,91$; $p < 0,001$.

Signifikant interaktionseffekt mellan uppgift och fråga, $F(2, 34) = 3,69$; $p = 0,035$

Inga övriga effekter var signifikanta.

Huvudeffekten av uppgift berodde på högre skattningar vid flygning ($5,2 \pm 0,2$) jämfört med vid hovring ($4,9 \pm 0,2$).

Post hoc testning visade att huvudeffekten av fråga berodde på signifikant högre skattningar av att uppfatta drift i sidled ($5,4 \pm 0,2$) jämfört med både att uppfatta displayernas information om drift i sidled ($4,9 \pm 0,2$) och med hur displayernas noggrannhet uppfattades ($4,9 \pm 0,2$) (båda $p < 0,001$).

Post hoc testning avseende interaktionseffekten mellan uppgift och fråga visade följande relevanta skillnader:

Skattningarna vid flygning var signifikant högre jämfört med hovring, både när det gällde att uppfatta drift (flygning: $5,6 \pm 0,2$; hovring: $5,2 \pm 0,2$) och att uppfatta displayernas information om drift (flygning $5,0 \pm 0,2$; hovring: $4,7 \pm 0,2$) (båda $p < 0,001$). Skattningarna avseende att uppfatta drift i sidled var också signifikant högre vid både flygning och hovring avseende att uppfatta drift i sidled jämfört med både att uppfatta display information om drift i sidled och för hur noggrann displayinformationen uppfattades (flygning: $5,0 \pm 0,2$; hovring: $4,8 \pm 0,2$) (samtliga $p < 0,001$).

^{xiii} Deltagarna skattade hur svårt/lätt det var att uppfatta informationspresentationen med avseende på att hålla hastighet, höjd och riktning (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys med upprepad mätning, 9 displayer $\times$ 2 uppgifter (flygning, hovring).

Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 17) = 9,26$; $p < 0,007$

Inte signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och uppgift.

Huvudeffekten av uppgift berodde på signifikant högre skattningar vid flygning ($4,8 \pm 0,3$) jämfört med hovring ($4,5 \pm 0,3$).

^{xiv} Deltagarna skattade hur svårt/lätt det var att undvika drift i sidled med respektive display vid flygning och hovring (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys med upprepad mätning, 9 displayer $\times$ 2 uppgifter (flygning, hovring).

Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 17) = 24,77$; $p < 0,001$

Inte signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och uppgift.

Huvudeffekten av uppgift berodde på att det skattades som signifikant svårare att undvika drift vid hovring ($2,8 \pm 0,2$) jämfört vid flygning ($4,0 \pm 0,3$).

^{xv} Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning vid användning av respektive display vid flygning och hovring (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys med upprepad mätning, 9 displayer $\times$ 2 uppgifter (flygning, hovring).

Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 17) = 5,28$; $p < 0,034$.

Inte signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och uppgift.

Huvudeffekten av uppgift berodde på att mental arbetsbelastning skattades signifikant högre vid hovring ($5,1 \pm 0,3$) jämfört med vid flygning ($4,8 \pm 0,3$)

^{xvi} Deltagarna skattade huruvida de upplevde informationsinformationen som störande med samtliga displayer utom visuell HDD (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket).

Skattningarna analyserades med variansanalys med upprepad mätning för 8 displayer.

Signifikant skillnad mellan displayerna, $F(7, 119) = 2,89$; $p = 0,008$.

Post hoc testning visade att skillnaden berodde på att visuell 360° display ($2,0 \pm 0,2$) skattades som signifikant mindre störande än bimodal 360° display ($3,6 \pm 0,4$) ($p = 0,032$). Inga övriga skillnader var signifikanta.

^{xvii} Deltagarna skattade huruvida de upplevde informationsinformationen som störande med samtliga displayer utom visuell HDD (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Frågan ställdes om de taktila och bimodala displayerna, dvs. samtliga displayer där det taktila bältet användes.

Skattningarna analyserades med variansanalys med upprepad mätning för 6 displayer. Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

^{xviii} Deltagarna skattade hur de upplevde samstämmigheten mellan visuell och taktil information i de bimodala displayerna (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög).

Skattningarna analyserades med variansanalys för upprepad mätning för 4 displayer.

Det fanns inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

2.3 Utvärdering av taktila laterala displayer

^{xix} Lateral drift (m/s) analyserades med tvåvägs variansanalys med upprepad mätning för att analysera skillnader mellan de taktila displayerna, 2 displayer (enkel, komplex) $\times$ 3 frekvenspåslag (konstant, långsam, snabb).

Signifikant interaktionseffekt mellan display och frekvenspåslag, $F(2, 26) = 8,13$; $p = 0,002$.

Inte någon signifikant huvudeffekt av display eller huvudeffekt av frekvenspåslag.

Post Hoc testning visade att interaktionseffekten berodde på signifikant högre lateral drift för enkel display vid konstant frekvenspåslag jämfört med både enkel display vid

långsamt frekvenspåslag ($p = 0,041$) och med komplex display vid konstant frekvenspåslag ($p = 0,007$)

^{xx} Lateral drift (m/s) analyserades också med envägs variansanalys med 7 upprepade mätningar (7 displayer) för att jämföra mellan den visuella och de taktila displayerna. Stark tendens till skillnad mellan displayerna, $F(6, 78) = 3,00$, $p = 0,050$. Post hoc testning visade dock inte någon signifikant skillnad mellan den visuella displayen och någon av de taktila displayerna. Utan tendensen till skillnad berodde på signifikant högre lateral drift ($p = 0,022$ enligt post hoc testet) med enkel display med konstant frekvenspåslag jämfört med komplex display med konstant frekvenspåslag, vilket också visades i trevägsanalysen ovan. Dvs. den relativt stora skillnaden mellan visuell display ($2,2 \pm 0,3$ m/s) och enkel taktil display med konstant frekvenspåslag ($3,6 \pm 0,5$ m/s).

^{xxi} Avvikelse från hastighet analyserades på samma sätt som lateral drift. Först med tvåvägs variansanalys med upprepade mätning för att analysera skillnader mellan de taktila displayerna, 2 displayer (grundläggande, komplex) $\times$ 3 frekvenspåslag (konstant, långsam, snabb). Samt med envägs variansanalys med 7 upprepade mätningar (7 displayer) för att analysera skillnader mellan den visuella och de taktila displayerna.

Trevägsanalysen visade tendens till huvudeffekt av display, $F(1, 13) = 3,66$; $p = 0,078$.

Tendensen till huvudeffekt av display berodde på något högre avvikelse från korrekt hastighet med komplex display ($8,2 \pm 1,1$ m/s) jämfört med enkel display ($6,5 \pm 0,7$ m/s).

Tvåvägsanalysen visade inte några signifikanta skillnader mellan den visuella displayen och någon av de taktila displaykonfigurationerna.

^{xxii} Avvikelse från korrekt höjd och riktning analyserades på samma sätt som lateral drift. Först med tvåvägs variansanalys med upprepade mätning för att analysera skillnader mellan de taktila displayerna, 2 displayer (grundläggande, komplex) $\times$ 3 frekvenspåslag (konstant, långsam, snabb). Samt med envägs variansanalys med 7 upprepade mätningar (7 displayer) för att analysera skillnader mellan den visuella och de taktila displayerna.

Dessa analyser visade inte några signifikanta skillnader.

^{xxiii} Skattningarna av hur information i sidled upplevdes analyserades med trevägs variansanalys för upprepade mätning för att analysera skillnader mellan de taktila displayerna, 2 displayer (enkel, dynamisk) $\times$ 3 frekvenspåslag (konstant, långsam, snabb) $\times$ frågor (uppfattning, korrekthet, förståelse).

Signifikant huvudeffekt av frekvenspåslag, $F(2, 26) = 4,55$; $p = 0,020$.

Inte någon signifikant huvudeffekt av display eller fråga, och inte några signifikanta interaktionseffekter.

Post hoc testning visade att huvudeffekten av frekvenspåslag berodde på signifikant högre skattningar vid snabbt frekvenspåslag ($4,6 \pm 0,3$) jämfört med konstant frekvenspåslag ($3,9 \pm 0,2$) ($p = 0,016$).

^{xxiv} Skattningarna av hur drift i sidled upplevdes analyserades även med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning för att analysera skillnader mellan den visuella displayen och de taktila displayerna, 7 displayer $\times$ 3 frågor (uppfattning, korrekthet, förståelse).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(6, 78) = 5,28$; $p = 0,003$.

Inte någon signifikant huvudeffekt av fråga eller interaktionseffekt mellan display och fråga.

Post hoc testning visade att huvudeffekten av display berodde på signifikant högre skattningar av visuell display ($5,5 \pm 0,3$) jämfört med enkel taktil display med både konstant ($3,4 \pm 0,3$) ($p < 0,001$) och långsamt frekvenspåslag ($4,1 \pm 0,4$) ($p = 0,008$), samt tendens till högre skattningar av visuell display jämfört med komplex display med konstant frekvenspåslag ($4,4 \pm 0,2$) ($p = 0,065$). Dessutom lägre skattningar av enkel taktil display med konstant frekvenspåslag jämfört med komplex taktil display med snabbt frekvenspåslag ($4,6 \pm 0,3$) ($p = 0,047$).

^{xxv} Skattningarna av mental arbetsbelastning analyserades på samma sätt som lateral drift. Först med tvåvägs variansanalys med upprepad mätning för att analysera skillnader mellan de taktila displayerna, 2 displayer (grundläggande, komplex) $\times$ 3 frekvenspåslag (konstant, långsam, snabb). Samt med envägs variansanalys med 7 upprepade mätningar (7 displayer) för att analysera skillnader mellan den visuella och de taktila displayerna.

Dessa analyser visade inte några signifikanta skillnader.

Tvåvägsanalysen visade dock tendens till huvudeffekt av display, $F(1, 13) = 3,61$; $p = 0,080$.

Tendensen till huvudeffekt av display berodde på något högre skattningar av mental arbetsbelastning för taktil komplex display ($5,1 \pm 0,4$) jämfört med taktil enkel display ($4,7 \pm 0,4$).

^{xxvi} Skattningarna av om det var störande eller obehagligt att använda displayerna analyserades med två typer av variansanalys. Först med tvåvägs variansanalys med upprepad mätning för att analysera skillnader mellan de taktila displayerna, 2 displayer (grundläggande, komplex) $\times$ 2 frekvenspåslag (konstant, långsam, snabb) $\times$ 2 frågor (obehag, störande). Samt med tvåvägs variansanalys för att analysera

skillnader mellan den visuella och de taktila displayerna, 7 displayer $\times$ 2 frågor (obehag, störande).

Dessa analyser visade inte några signifikanta skillnader.

Tvåvägsanalysen visade dock tendens till huvudeffekt av fråga, $F(1, 13) = 3,47$; $p = 0,085$.

Tendensen till huvudeffekt av fråga berodde på något högre skattningar av störande ($2,4 \pm 0,3$) jämfört med obehag ($1,9 \pm 0,3$).

2.4 Inlärnings effekter av träning i helikoptersimulator

^{xxvii} Lateral drift (m/s) analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 2 displayer (visuell, taktil) $\times$ 5 testtillfällen.

Signifikant huvudeffekt av testtillfälle, $F(4, 32) = 11,52$; $p = 0,004$.

Ej signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och testtillfälle.

Post hoc testning visade att huvudeffekten av testtillfälle berodde på att lateral drift var signifikant högre vid testtillfälle 1 ($3,8 \pm 0,6$ m/s) jämfört med samtliga följande 4 testtillfällen ($2,5 \pm 0,3$; $2,6 \pm 0,4$; $2,0 \pm 0,2$; $1,8 \pm 0,2$) (samtliga $p < 0,01$).

^{xxviii} Deltagarnas upplevelser av driftdisplayernas information avseende att uppfatta (se/känna) och förstå informationen analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 2 displayer (visuell, taktil) $\times$ 2 frågor (uppfattning, förståelse) $\times$ 5 testtillfällen.

Signifikant huvudeffekt av display, $F(1, 8) = 20,23$; $p = 0,002$

Signifikant huvudeffekt av fråga, $F(1, 8) = 9,14$; $p = 0,016$

Signifikant huvudeffekt av testtillfälle, $F(4, 32) = 8,76$; $p < 0,001$

Inte några signifikanta interaktionseffekter.

Huvudeffekten av display berodde på högre skattningar av den visuella driftdisplayen ($6,6 \pm 0,1$) jämfört med den taktila ($5,5 \pm 0,2$).

Huvudeffekten av fråga berodde på högre skattningar att uppfatta ($6,3 \pm 0,1$) än att förstå informationen ($5,8 \pm 0,1$).

Post hoc testning visade att huvudeffekten av testtillfälle berodde på att skattningarna var signifikant lägre vid testtillfälle 1 ($5,5 \pm 0,1$) jämfört med testtillfälle 3-5 ($6,3 \pm 0,2$; $6,4 \pm 0,2$; $6,4 \pm 0,2$) (samtliga $p < 0,001$).

^{xxix} Deltagarnas skattningar av sin mentala arbetsbelastning efter respektive testtillfälle analyserades med envägs variansanalys med upprepad mätning för 5 testtillfällen.

Endast tendens till skillnad mellan testtillfällena, $F(4, 32) = 2,42$; $p = 0,069$.
Post hoc testning visade inte någon signifikant skillnad mellan testtillfällena.

^{xxx} Deltagarnas skattningar av hur lätt/lätt/svårt det var att utföra uppgiften att manövrera helikoptern och att flyga banan analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 2 frågor (manövrera helikoptern, flyga banan) $\times$ 5 testtillfällen. Det fanns signifikant huvudeffekt av testtillfälle, $F(4, 32) = 18,97$; $p < 0,001$. Det fanns tendens till huvudeffekt av fråga, $F(1, 8) = 4,69$; $p < 0,062$. Det fanns inte någon signifikant interaktionseffekt mellan fråga och testtillfälle. Post hoc testning visade att huvudeffekten av testtillfälle berodde på signifikant lägre skattningar vid testtillfälle 1 ($3,5 \pm 0,4$) jämfört med samtliga följande testtillfällen ($5,1 \pm 0,4$; $5,5 \pm 0,4$; $5,9 \pm 0,3$; $6,0 \pm 0,2$) (samtliga $p < 0,001$). Tendensen till huvudeffekt av fråga berodde på att det skattades som något svårare att manövrera helikoptern ($5,0 \pm 0,3$) jämfört med att flyga banan ($5,5 \pm 0,3$).

^{xxxi} Deltagarnas skattningar av hur mycket träningen före respektive testning hjälpte dem att klara av banan analyserades med envägs variansanalys för 5 testtillfällen. Variansanalysen visade inte någon signifikant skillnad mellan testtillfällena. Medel och standardfel vid respektive träningstillfälle var $5,0 \pm 0,5$.

^{xxxii} Deltagarnas skattningar avseende om upplevelsen av driftdisplayernas information var obehaglig eller störande analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 2 displayer (visuell, taktil) $\times$ 2 frågor (obehag, störande). Tendens till huvudeffekt av fråga, $F(1, 8) = 4,21$; $p < 0,074$. Inte någon signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och fråga. Tendensen till huvudeffekt av fråga berodde på att driftdisplayernas information skattades som något mer störande ($3,1 \pm 0,3$) än obehaglig ($2,5 \pm 0,4$) ($p = 0,074$). Det bör dock påpekas att även om skattningarna var generellt låga så hade ett par deltagare höga skattningar av obehag och störande för både den visuella och taktila driftdisplayen.

2.5 Utvärdering av visuella, taktila och bimodala displayer som indikerar horisontell och vertikal

^{xxxiii} Lateral drift analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning med 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal). Signifikant skillnad mellan displayer, $F(3, 33) = 23,59$; $p < 0,001$.

Post hoc testning visade att lateral drift med standarddisplay ($6,2 \pm 0,3$ m/s) var signifikant högre än för samtliga tre driftdisplayer (visuell: $2,6 \pm 0,5$ m/s; taktil $3,7 \pm 0,5$ m/s; bimodal: $2,2 \pm 0,4$ m/s) (samtliga $p < 0,001$).

Post hoc testning visade dessutom att lateral drift var signifikant högre med taktil display jämfört med bimodal display ($p = 0,041$), medan skillnaden mellan taktil och visuell display inte var signifikant.

^{xxxiv} Drift i riktning fram-bak analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning med 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal).

Signifikant skillnad mellan displayer, $F(3, 33) = 8,82$; $p < 0,001$.

Post hoc testning visade att drift i riktning fram-bak med standarddisplay ($5,5 \pm 0,4$ m/s) var signifikant högre än för både visuell ($2,9 \pm 0,6$ m/s) ($p = 0,001$) och bimodal ($2,7 \pm 0,5$ m/s) driftdisplay ($p < 0,001$). För taktil display ($4,2 \pm 0,4$) fanns endast tendens till högre drift jämfört med bimodal display ($p = 0,085$).

^{xxxv} Vertikal drift analyserades med envägs variansanalys för upprepad mätning med 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal).

Signifikant skillnad mellan displayer, $F(3, 33) = 5,33$; $p = 0,018$.

Post hoc testning visade att vertikal drift var signifikant högre med taktil driftdisplay ($2,2 \pm 0,4$ m/s) jämfört med samtliga andra displayer (standard: $1,2 \pm 0,2$ m/s, $p = 0,029$; visuell: $1,0 \pm 0,2$ m/s, $p = 0,008$; bimodal: $1,0 \pm 0,2$ m/s, $p = 0,011$)

^{xxxvi} Deltagarna skattade hur det var att uppfatta att uppfatta helikopterns drift, lateralt respektive vertikalt, vid användning av var och en av displayerna (1 = Mycket lätt – 7 = Mycket svårt).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ riktning på drift (lateral, vertikal).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 24,78$; $p < 0,001$.

Signifikant interaktionseffekt mellan display och riktning på drift, $F(3, 33) = 10,10$; $p < 0,001$.

Inte någon signifikant huvudeffekt av riktning på drift.

Post hoc testning visade att huvudeffekten av display berodde på att det skattades som signifikant lättare att uppfatta drift med både visuell ($6,1 \pm 0,2$) och bimodal ($5,9 \pm 0,2$) display jämfört med både standard ($3,8 \pm 0,3$) och taktil ($4,1 \pm 0,3$) display (samtliga $p < 0,001$).

Post hoc testning avseende interaktionseffekten mellan display och riktning på drift visade följande relevanta signifikanta skillnader:

- Lateral drift skattades som signifikant lättare att uppfatta vid användning av samtliga tre driftdisplayer (visuell: $6,0 \pm 0,2$; taktil: $4,8 \pm 0,4$; bimodal: 5,8

$\pm 0,3$) jämfört med standarddisplay ($2,5 \pm 0,5$) ($p < 0,001$; $p = 0,003$; $p < 0,001$).

- Vertikal drift skattades som signifikant lättare att uppfatta vid användning av standard ($5,1 \pm 0,5$), visuell ($6,2 \pm 0,2$) och bimodal ($6,0 \pm 0,2$) display jämfört med taktil ($3,4 \pm 0,5$) display ($p = 0,039$; $p < 0,001$; $p < 0,001$).
- Vid användning av standarddisplay var vertikal drift signifikant lättare att uppfatta än lateral drift ($p < 0,001$). Vid användning av taktil display var däremot inte skillnaden mellan uppfattning av lateral och vertikal drift signifikant.

xxxvii Deltagarna skattade hur det var med respektive driftdisplay, både avseende lateral och vertikal drift, att uppfatta informationspresentationen om drift, förstå informationspresentationen om drift, samt att undvika drift (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt).

Skattningarna analyserades med trevägs variansanalys för upprepade mätningar, 3 displayer (visuell, taktil, bimodal) $\times$ riktning på drift (lateral, vertikal) $\times$ 3 frågor (uppfatta driftinformation, förstå driftinformation, undvika drift).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(2, 22) = 22,01$; $p < 0,001$.

Signifikant huvudeffekt av fråga, $F(2, 22) = 22,68$; $p < 0,001$.

Tendens till interaktionseffekt mellan fråga och riktning på drift, $F(2, 22) = 3,04$; $p = 0,069$.

Inga övriga skillnader var signifikanta.

Post hoc testning med avseende på huvudeffekten av display visade att skattningarna var signifikant högre för både visuell ($5,5 \pm 0,2$) och bimodal ($5,5 \pm 0,3$) jämfört med taktil ($3,6 \pm 0,3$) display (båda $p < 0,001$).

Post hoc testning med avseende på huvudeffekten av fråga visade att det skattades som signifikant svårare att undvika drift ($4,4 \pm 0,2$) både jämfört med att uppfatta ($5,1 \pm 0,2$) och förstå ($5,0 \pm 0,2$) driftinformationen (båda $p < 0,001$).

Post hoc testning avseende tendensen till interaktionseffekt mellan fråga och riktning på drift visade att det för lateral drift var signifikant svårare att kontrollera drift ($4,2 \pm 0,2$) både jämfört med att uppfatta ($5,1 \pm 0,3$) och att förstå ($4,9 \pm 0,3$) driftinformationen (båda $p < 0,001$), medan det för vertikal drift endast var svårare att kontrollera drift ($4,7 \pm 0,3$) jämfört med att förstå driftinformationen ($5,2 \pm 0,3$) ($p = 0,0496$).

xxxviii Deltagarna skattade hur noggrann de uppfattade informationspresentationen med de tre driftdisplayerna, för lateral respektive vertikal drift (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 3 displayer (visuell, taktil, bimodal) $\times$ riktning på drift (lateral, vertikal). Signifikant huvudeffekt av display, $F(2, 22) = 42,47$; $p < 0,001$. Stark tendens till interaktionseffekt mellan display och riktning på drift, $F(2, 22) = 3,26$; $p = 0,058$. Ingen signifikant huvudeffekt av riktning på drift. Post hoc testning avseende huvudeffekten av display visade att informationspresentationen skattades som signifikant noggrannare för både visuell ($5,4 \pm 0,2$) och bimodal ($5,8 \pm 0,3$) display jämfört med taktil ($3,1 \pm 0,3$) display (båda $p < 0,001$). Post hoc testning avseende tendensen till interaktionseffekt mellan display och riktning på drift visade inte några relevanta signifikanta skillnader.

^{xxxix} Deltagarna skattade hur de som helhet upplevde informationspresentationen från driftdisplayerna (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra).

Skattningarna analyserades med envägs variansanalys med upprepad mätning för 3 displayer (visuell, taktil, bimodal). Analysen visade signifikant skillnad mellan displayerna, $F(2, 22) = 5,88$; $p = 0,009$. Post hoc testning visade att som helhet skattades presentation av drift med den bimodala displayen ($5,7 \pm 0,3$) signifikant bättre än med den taktila displayen ($4,0 \pm 0,3$) ($p = 0,007$), medan det inte var någon signifikant skillnad mellan den visuella displayen ($4,9 \pm 0,4$) och de två andra displayerna.

^{xl} Deltagarna skattade huruvida informationspresentationen som driftdisplayerna gav var obehaglig eller störande (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 3 displayer (visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 frågor (obehaglig, störande). Signifikant huvudeffekt av display, $F(2, 22) = 4,25$; $p = 0,049$. Ingen signifikant huvudeffekt av fråga eller interaktionseffekt mellan display och fråga.

Post hoc testning avseende huvudeffekten av display visade att taktil display ($3,4 \pm 0,4$) skattades som signifikant mer obehaglig och störande jämfört med visuell display ($2,2 \pm 0,3$) ($p = 0,021$), medan det inte var någon skillnad mellan bimodal display ($2,7 \pm 0,4$) och övriga displayer.

^{xli} Deltagarna skattade hur det var att utföra hovringsuppgiften och att manövrera helikoptern med respektive display (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt).

Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal) $\times$ 2 uppgifter (hovra, manövrera). Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 11) = 8,97$; $p = 0,012$.

Ingen signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och uppgift.

Huvudeffekten av uppgift berodde på att det skattades som signifikant svårare att utföra hovringsuppgiften ($3,9 \pm 0,3$) jämfört med att manövrera helikoptern ($4,3 \pm 0,3$).

^{xlii} Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning vid användning av respektive display (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög).

Skattningarna analyserades med envägs variansanalys med upprepade mätningar för 4 displayer (standard, visuell, taktil, bimodal).

Analysen visade inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

Medelvärde och genomsnittligt standardfel för displayerna var $5,1 \pm 0,4$.

2.6 Utvärdering av taktila displayer som indikerar horisontell och vertikal drift

^{xliii} Lateral drift analyserades med variansanalys med upprepade mätningar för 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex).

Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

Medelvärde och genomsnittligt standardfel per display var $4,7 \pm 0,5$ m/s.

^{xliv} Drift i riktning fram-bak analyserades med variansanalys med upprepade mätningar för 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex).

Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

Medelvärde och genomsnittligt standardfel per display var $5,3 \pm 0,5$ m/s.

^{xlv} Vertikal drift analyserades med variansanalys med upprepade mätningar för 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex).

Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna.

Medelvärde och genomsnittligt standardfel per display var $2,7 \pm 0,5$ m/s.

^{xlvi} Deltagarna skattade hur det var med de fyra driftdisplayerna att uppfatta (se respektive känna) och förstå informationspresentationen om lateral respektive vertikal drift (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepade mätningar, 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex) $\times$ 2 riktningar på drift (lateral, vertikal) $\times$ 2 frågor (uppfatta, förstå).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 5,75$; $p = 0,003$.

Signifikant interaktionseffekt mellan display och driftens riktning, $F(3, 33) = 8,82$; $p < 0,001$.

Inga övriga effekter var signifikanta.

Post hoc testning avseende huvudeffekten av display visade att uppfattning och förståelse av driftinformation skattades som signifikant lättare med både visuell ($5,5 \pm 0,3$) och taktil rinnande ($5,2 \pm 0,3$) display jämfört med taktil komplex display ($3,6 \pm 0,3$) ($p = 0,002$; $p = 0,016$).

Post hoc testning avseende interaktionseffekten mellan display och driftens riktning visade följande relevanta skillnader:

- Lateral driftinformation skattades som signifikant svårare att uppfatta och förstå med taktil komplex display ($3,8 \pm 0,3$) jämfört med samtliga övriga displayer (visuell: $5,3 \pm 0,3$; taktil enkel: $5,4 \pm 0,4$; taktil rinnande: $5,0 \pm 0,4$) ($p < 0,001$; $p < 0,001$; $p = 0,005$).
- Vertikal driftinformation skattades som signifikant lättare att uppfatta och förstå med både visuell ($5,8 \pm 0,3$) och taktil rinnande ($5,4 \pm 0,3$) jämfört med både taktil enkel ($4,1 \pm 0,4$) ($p < 0,001$; $p = 0,001$) och taktil komplex ($3,4 \pm 0,4$) display (båda $p < 0,001$).
- Med taktil enkel display skattades det som signifikant lättare att uppfatta och förstå lateral ($5,4 \pm 0,4$) driftinformation jämfört med vertikal ($4,1 \pm 0,4$) driftinformation ($p < 0,002$).

^{xlvi} Deltagarna skattade hur det var med var med de fyra driftdisplayerna att undvika lateral respektive vertikal drift (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepade mätning, 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex) $\times$ 2 riktningar på drift (lateral, vertikal). Signifikant huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 5,50$; $p = 0,004$. Signifikant interaktionseffekt mellan display och driftens riktning, $F(3, 33) = 7,90$; $p < 0,001$.

Inte någon signifikant huvudeffekt av driftens riktning.

Post hoc testning avseende huvudeffekten av display visade att det skattades som signifikant lättare att undvika drift med visuell ($4,9 \pm 0,4$) jämfört med taktil komplex ($3,0 \pm 0,4$) display ($p = 0,002$).

Post hoc testning avseende interaktionseffekten mellan display och driftens riktning visade följande relevanta skillnader:

- Lateral drift skattades som signifikant lättare att undvika med visuell ($4,2 \pm 0,6$) jämfört med taktil komplex ($3,1 \pm 0,4$) display ($p < 0,018$).
- Vertikal drift skattades som signifikant lättare att undvika med visuell ($5,7 \pm 0,2$) jämfört med samtliga övriga displayer (taktil enkel: $3,6 \pm 0,3$; taktil rinnande: $4,1 \pm 0,5$; taktil komplex: $2,8 \pm 0,3$) (samtliga $p < 0,001$), och dessutom lättare att undvika med taktil rinnande jämfört med taktil komplex display ($p = 0,005$).

- Med visuell display skattades det som signifikant lättare att undvika vertikal jämfört med lateral drift ($p = 0,001$).

^{xlvi} Deltagarna skattade hur noggrann driftinformation var, lateralt respektive vertikalt, med var och en av driftdisplayerna (1 = Inte alls noggrann – 7 = Mycket noggrann). Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex) $\times$ 2 riktningar på drift (lateral, vertikal).

Signifikant huvudeffekt av display, $F(3, 33) = 8,34$; $p < 0,001$.

Signifikant huvudeffekt av driftens riktning, $F(1, 11) = 6,77$; $p = 0,025$.

Signifikant interaktionseffekt mellan display och driftens riktning, $F(3, 33) = 3,54$; $p = 0,025$.

Post hoc testning avseende huvudeffekten av display visade signifikant högre skattad noggrannheten för visuell display ($5,9 \pm 0,3$) jämfört med taktil enkel ($4,6 \pm 0,3$) ($p = 0,039$) och taktil komplex ($3,6 \pm 0,3$) display ($p < 0,001$), samt högre skattad noggrannhet för taktil rinnande ($4,9 \pm 0,4$) jämfört med taktil komplex display ($p = 0,044$).

Huvudeffekten av driftens riktning berodde på att noggrannheten skattades högre för lateral ($5,0 \pm 0,2$) jämfört med vertikal ($4,5 \pm 0,2$) driftinformation.

Post hoc testning avseende interaktionseffekten mellan display och driftens riktning visade följande relevanta skillnader:

- Lateral driftinformation skattades som signifikant mer noggrann med både visuell ($5,9 \pm 0,3$) och taktil enkel ($5,2 \pm 0,3$) jämfört med taktil komplex ($4,0 \pm 0,4$) display ($p < 0,001$; $p = 0,020$).
- Vertikal driftinformation skattades som signifikant mer noggrann med både visuell ($5,9 \pm 0,3$) och taktil rinnande ($4,9 \pm 0,3$) jämfört med taktil komplex ($3,2 \pm 0,4$) display (båda $p < 0,001$), samt signifikant noggrannare med visuell jämfört med taktil enkel display ($4,0 \pm 0,5$) ($p < 0,001$).
- Med taktil enkel display skattades lateral driftinformation ($5,2 \pm 0,3$) som signifikant mer noggrann jämfört med vertikal ($4,0 \pm 0,5$) driftinformation ($p = 0,020$).

^{xli} Deltagarna skattade hur de som helhet upplevde informationspresentationen från driftdisplayerna (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra). Skattningarna analyserades med envägs variansanalys med upprepad mätning för 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex).

Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna. Medelvärde på skattningarna och genomsnittligt standardfel för respektive display var $4,6 \pm 0,4$.

¹ Deltagarna skattade hur det var att utföra hovringsuppgiften och manövrera helikoptern med respektive display (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt). Skattningarna analyserades tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex) $\times$ 2 uppgifter (hovra, manövrera).

Signifikant huvudeffekt av uppgift, $F(1, 11) = 6,04$; $p = 0,032$.

Inte någon signifikant huvudeffekt av display eller interaktionseffekt mellan display och uppgift.

Huvudeffekten av uppgift berodde på att det skattades som lättare att manövrera helikoptern ($4,2 \pm 0,3$) jämfört med att utföra hovringsuppgiften ($3,9 \pm 0,3$).

^{li} Deltagarna skattade huruvida informationspresentationen från driftdisplayerna upplevdes som obehaglig eller störande (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket). Skattningarna analyserades med tvåvägs variansanalys för upprepad mätning, 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex) $\times$ 2 frågor (obehaglig, störande).

Signifikant huvudeffekt av fråga, $F(1, 11) = 22,85$; $p < 0,001$.

Ingen signifikant huvudeffekt av display eller signifikant interaktionseffekt mellan display och fråga.

Huvudeffekten av fråga berodde på att informationspresentationen skattades som mindre obehaglig ($2,3 \pm 0,3$) än störande ($3,0 \pm 0,3$).

^{lii} Deltagarna skattade sin mentala arbetsbelastning vid användning av respektive display (1 = Mycket låg – 7 = Mycket hög). Skattningarna analyserades med envägs variansanalys med upprepad mätning för 4 displayer (visuell, taktil enkel, taktil rinnande, taktil komplex).

Det var inte någon signifikant skillnad mellan displayerna. Medelvärde på skattningarna och genomsnittligt standardfel för respektive display var $5,5 \pm 0,3$.

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