



FOI MEMO

Projekt/Project
HMI-stöd Gripen E

Sidnr/Page no
1 (21)

Handläggare/Our reference
Per-Anders Oskarsson

Projektnummer/Project no	Kund/Customer
E72558	FMV
FoT-område	
Inget FoT-område	
Datum/Date	Memo nummer/Number
2020-06-25	FOI Memo 7216

Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

1 Bakgrund

En viktig faktor vid användning av simulatorer är fidelity, vilket kan beskrivas som graden av realism, likhet, eller överensstämmelse, mellan simuleringen och det system som simuleras. En vanlig definition av simuleringens fidelity är i vilken grad simulatoren återger den verkliga miljön och hur verklig simulatoren upplevs (Alessi, 1988). När det gäller flygsimulatorer avser fidelity i vilken utsträckning simulatoren ser ut, låter, responderar och manövrerar som ett verkligt flygplan (Liu, Macchiarella & Vinci, 2008).

Syftet med detta memo är att ge en sammanställning av forskning om fidelity hos simulatorer, med fokus på militära flygsimulatorer, och att ge exempel på metoder för värdering av fidelity. Den engelska termen *fidelity* används genomgående för att beskriva realismen hos simulatorer eftersom det svenska ordet *realism* inte är helt synonymt. Vilken nivå av fidelity som krävs har betydelse både för den typ av simulatorer som Saab använder för att testa gränssnittslösningar i Gripen och för effekten av träning i Försvarets träningsimulatorer.

För att värdera fidelity hos en flygsimulator måste även tekniska mätningar göras för att säkerställa att simulatoren responderar som ett riktigt flygplan vid olika manövrar. Detta memo avgränsar sig dock till att beskriva forskningsläget avseende upplevd fidelity och subjektiva metoder för att värdera detta.

Arbetet har utförts inom projektet *HMI-stöd för Gripen E*, på enheten Människa Teknik Organisation (MTO) på FOI på uppdrag av Försvarets Materielverk (FMV). Projektets genomförs för att stödja Saab avseende användbarhet och Human Factors frågor vid utveckling av instrumentering i cockpit i Gripen E.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

2 Arbetsmetod

Arbetet utfördes i två steg: (1) Sammanställning av information från tidigare litteraturstudier och empiriska erfarenheter från forskningsprojekt som genomförts på FOI och (2) genom en mindre litteraturstudie.

2.1.1 Sammanställning av tidigare erfarenheter

Erfarenheter från tidigare litteraturstudier och empirisk verksamhet hämtades från två tidigare forskningsprojekt på FOI som fokuserade på träning med simulatorer och datorspel. Inom dessa projekt var simulatorns grad av fidelity en central fråga. Projektens namn var *Spel för konflikthantering och krig* som genomfördes 2011-2013 samt det föregående projektet *Dataspel och försvar* som avslutades 2010. Även om det är några år sedan dessa projekt genomfördes är flertalet frågor avseende fidelity hos simulatorer allmängiltiga och därmed relevanta även om tekniska framsteg har gjorts sedan dessa projekt genomfördes.

2.1.2 Litteraturstudie

En mindre litteraturstudie gjordes inom ramen för detta arbete. Litteraturstudien genomfördes i tre steg: litteratursökning, relevansbedömning av identifierad litteratur och läsning av de mest relevanta publikationerna.

Litteratursökningen gjordes i litteraturlatabasen Scopus¹, vilket är en tvärvetenskaplig litteraturlatabas med mycket stor bredd. Litteratursökningen gjordes iterativt med en explorativ metod för att fastställa lämpliga söksträngar: Detta resulterade i att sökningen genomfördes med tre söksträngar, där respektive sökning gjordes på ordens förekomst i titel, abstract (sammanfattning) eller nyckelord för respektive publikation.

I söksträngarna anger stjärna godtycklig fortsättning på ordet och uttryck inom citationstecken innebär att exakt formulering av uttrycket krävs.

Sökning 1 fokuserade på fidelity i studier om testning och validering av system i flygsimulatorer och gjordes med följande söksträng:

TITLE-ABS-KEY (simulator OR simulation) AND flight and fidelity AND (evaluation OR "system development" OR validation OR "system testing")

Denna sökning resulterade i 696 träffar. Efter filtrering av ej relevanta forskningsområden återstod 17 träffar.

Sökning 2 fokuserade på mätmetoder för fidelity och gjordes med följande söksträng:

TITLE-ABS-KEY((simulator OR simulation) AND flight AND fidelity AND (measure OR assess*))*

Denna sökning resulterade i 754 träffar. Efter filtrering av ej relevanta forskningsområden och publikationer äldre än 1993 återstod 52 träffar. Av dessa var 6 dubletter med sökningen i steg 1, varför 46 unika träffar återstod.

Sökning 3 hade brett fokus på fidelity för flygsimulatorer och gjordes med följande söksträng:

TITLE (fidelity AND simulat) AND TITLE-ABS-KEY(flight* OR aviation*)*

¹ <https://www.scopus.com/search/form.uri?display=basic>

https://www.elsevier.com/_data/assets/pdf_file/0007/69451/Scopus_ContentCoverage_Guide_WEB.pdf

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

Denna sökning resulterade i 252 träffar. Här kan noteras att begränsningen gjordes att fidelity och simulation/simulator skulle finnas i titeln. Filtrering av ej relevanta forskningsområden användes inte då en kontroll visade att filtreringen eliminerade några potentiellt intressanta publikationer. Det var dock 8 dubletter med sökningarna i steg 1 och 2. Dvs. efter att dubletterna tagits bort återstod 244 unika träffar.

I de tre sökningarna identifierades sammanlagt 307 publikationer. Under läsningen av publikationerna identifierades ytterligare 3 publikationer som relevanta genom så kallad snowballing (identifikation av referenser i granskad litteratur) och genom sökning på ytterligare publikationer av författarna till vissa publikationer, eller på de instrument eller metoder som beskrevs i publikationerna.

Granskning av abstract gjordes av dessa publikationer för att bedöma deras relevans för litteraturstudien. För de publikationer som bedömdes relevanta gjordes en relevansbedömning på skalan 1 – 5, där 1 innebar låg relevans och 5 hög relevans. Detta resulterade i att 36 publikationer accepterades för litteraturstudien (Tabell 1).

Tabell 1. Antal publikationer med respektive relevansskattning vid granskningen av abstract.

Relevans	Antal
5	5
4	7
3	6
2	8
1	10
Totalt	36

Läsning av publikationerna begränsades till ett urval av dessa med relevansskattning fem och fyra, beroende på att tidsramen för detta arbete var mycket snäv. Övriga publikationer bör dock vara relevanta för vidare arbeten med fidelity för flygsimulatorer.

2.1.3 Redovisning av resultat

Resultaten från den nu genomförda litteraturstudien, tidigare litteraturstudier och tidigare erfarenheter redovisas gemensamt i kapitel 3.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

3 Sammanställning av forskning om fidelity

Huvuddelen av innehållet i denna sammanställning av forskning om fidelity bygger på tidigare genomförda litteraturstudien. Detta har kompletterats med erfarenheter från tidigare forskning och den nu genomförda litteraturstudien.

Avsnitt 3.1 beskriver olika definitioner av fidelity och ger en översikt över olika typer av fidelity som beskrivs i forskningslitteraturen. Avsnitt 3.2 diskuterar vilken nivå av fidelity som behövs. Avsnitt 3.2 beskriver sex metoder för att värdera fidelity.

3.1 Olika typer av fidelity

De definitioner av fidelity som oftast nämns i forskningslitteraturen handlar om hur lik simulatorm är det verkliga systemet vad gäller hur den ser ut (fysisk fidelity), agerar (funktionell fidelity), skapar liknande psykologisk upplevelse som vid användning av ett verkligt system (psykologisk fidelity) (Stanton, 1996) och involverar den som tränar i liknande kognitiva aktiviteter (kognitiv fidelity) som i det verkliga systemet. Exempel på kognitiva aktiviteter är att samtidigt hantera flera uppgifter, övervaka automatiserade subsystem, att upprätthålla situationsmedvetande och att ha en korrekt mental modell (Kaiser & Schroeder, 2003).

Det saknas en enhetlig definition av fidelity, vilket visades av Rehnman, Mittman & Reynolds (1995) som i en litteraturstudie identifierade 22 olika definitioner av fidelity. Liu m.fl. (2008) redovisar sju aspekter av fidelity, vilka här redovisas i Tabell 2. Någon enhetlig definition har inte heller hittats i senare litteratur. Notera att Liu m.fl. redovisar psykologisk och kognitiv fidelity gemensamt.

Tabell 2. Sju typiska kategorier av fidelity (anpassat från Liu m.fl., 2008).

Kategorier av fidelity	Beskrivning
Fysisk	I vilken grad simuleringen ser ut, låter och känns som det verkliga systemet och miljön.
Utrustningsrelaterad	Återgivning av verklig utrustning, hård- och mjukvara.
Visuell-Auditiv	Återgivning av visuella och auditiva stimuli.
Rörelsebaserad	Återgivning av rörelser som upplevs i verklig miljö.
Psykologisk-kognitiv	Återgivning av psykologiska och kognitiva faktorer (t.ex. kommunikation och situationsmedvetande)
Uppgiftsrelaterad	Återgivning av uppgifter och manövrar som användaren utför.
Funktionell	Hur det simulerade systemet fungerar och återger stimuli som i verkligheten.

Det bör påpekas att denna uppdelning av fidelity till stor del är överlappande. Fysisk fidelity kan exempelvis ses som en övergripande kategori där utrustningsrelaterad, visuell-auditiv och rörelsebaserad fidelity är underliggande komponenter eller delmängder av denna (t.ex. Liu m.fl. 2008). Även fysisk och funktionell fidelity är delvis överlappande begrepp. Utrustning för att generera ljud, som förstärkare och högtalare kan hänföras till fysisk fidelity, medan simulering av realistisk radiokommunikation i cockpit med flygledare och andra flygplan kan hänföras till funktionell fidelity. På samma sätt kan psykologisk-kognitiv fidelity ses som en övergripande kategori där uppgiftsrelaterad och funktionell fidelity är underliggande komponenter eller delmängder av denna.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

Att ovanstående kategorier av fidelity är överlappande belyses exempelvis av Stanton (1996) som ger en definition av fidelity som endast innehåller två dimensioner: fysik och funktionell fidelity.

3.1.1 Fysisk fidelity

Fysisk fidelity avser i en flygsimulator avser exempelvis realismen hos instrumentering, styrspak, reglage och pedaler och radiotrafik. I detta avseende har grafik och skärmupplösning på displayer i simulatorm som visar instrumentering stor betydelse.

3.1.2 Utrustningsrelaterad fidelity

Utrustningsrelaterad fidelity avser simuleringens återgivning av den instrumentering, de knappar och de reglage som finns i det verkliga systemet. Ofta kan det vara allt för kostsamt att skapa fysiska repliker av samtliga knappar och reglage som finns i cockpit. Det gör att vissa komponenter kan återges virtuellt i simuleringen. Det kan noteras att beskrivningarna av utrustningsrelaterad och fysisk fidelity till stor del är överlappande

3.1.3 Visuell-auditiv fidelity

Visuell fidelity med avseende på flygsimulatorer innehåller komponenter som bildupplösning och detaljnivå i den visuella simuleringen. Vid simulering av omgivningen på en flygplats så kan detta exempelvis vara i vilken utsträckning hangarer, landningsbanor, landningsljus, kontrolltorn, fordon på marken, och andra flygplan finns med i simuleringen. Visuell fidelity kan också uppdelas i begreppen *vad* och *var*. Begreppet *vad* avser det som piloten ser i sitt centrala synfält, t.ex. instrumentering och vyn rakt fram ifrån cockpit. *Var* avser vad piloten ser i sitt perifera synfält, vilket bidrar till upplevelsen av hastighet, rörelse och flygplanets läge (t.ex. Liu m. fl., 2008).

En viktig komponent av visuell fidelity är fördröjningen från då användaren ger ett kommando, eller drar i ett reglage, tills detta syns på simulatorms bildskärmar. För flygsimulatorer generellt har en fördröjning på 100-150 millisekunder (ms) ansetts som acceptabelt, medan fördröjningen för simuleringar av stridsflygplan och helikoptrar inte bör överstiga 40-80 ms, vilket också är den maximala fördröjning som anges för bilsimulatorer (Padmos & Milders, 1992).

Padmos och Milders (1992) redovisar ett stort antal komponenter med betydelse för visuell fidelity. Av dessa komponenter är skärmbildens storlek och visualisering av meteorologiska effekter speciellt intressanta för flygsimulatorer. De menar att tillräckligt stor bildskärm är önskvärt för att användaren ska kunna orientera sig i den simulerade miljön. Ett problem med breda bildskärmar vid flygsimuleringar är dock att påverkan av det perifera seendet kan leda till simulatorsjuka.

Padmos och Milders (1992) menar att storleken på bildskärmar till stor del är uppgiftsberoende. De menar att ett flertal uppgifter, t.ex. start, landning och reguljär flygning kan utföras med en skärmbild som inte är större än 50 × 40 (horisontellt × vertikalt) grader – medan andra uppgifter som att göra en sväng före landning eller bombfällning på låg höjd kräver en skärmbild på 160 × 60 grader – samt att det för simuleringar av stridsflygplan och helikoptrar kan krävas en skärmbild uppemot 180 grader horisontell.

I flygsimulatorer används ofta projektorer som projicerar bilden på en konkav dom som delvis omsluter piloten, vilket ger ett mycket brett synfält. Detta används exempelvis i simulatorerna vid Flygvapnets Luftstridssimulerings center (FLSC) vid FOI. Vid användning av VR (Virtuell verklighet) teknik kan bilden presenteras i VR-glasögon som kan skapa ett synfält på 360 grader som helt omsluter piloten.

Om VR teknik används ökar kraven på uppdateringshastighet eftersom bilden i simuleringen även måste uppdateras med avseende på användarens huvudrörelser för att inte motstridig visuell information ska orsaka så kallad VR-sjuka.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

Auditiv simulering kan avseende flygsimulatorer exempelvis avse radiokommunikation med flygledning och med andra flygplan och återgivning av motorljud (t.ex. Liu m. fl., 2008).

3.1.4 Psykologisk-kognitiv fidelity

Psykologisk-kognitiv fidelity avser i vilken grad psykologiska och kognitiva upplevelser i simuleringen är likvärdiga med de som upplevs i verkligheten. Att nivån av psykologisk-kognitiv fidelity är tillräckligt hög har betydelse för att en pilot i en flygsimulator ska bli engagerad i uppgifterna på samma sätt och uppleva samma nivå av stress och arbetsbelastning som i ett verkligt flygplan. En indikator på hög psykologisk-kognitiv fidelity kan vara att simuleringen ställer samma krav som verklig flygning på att hela tiden hålla koll på instrumentering, felsöka och hålla koll på flyguppgiften.

Exempel på kognitiva aktiviteter är att samtidigt hantera flera uppgifter, övervaka automatiserade system, att upprätthålla situationsmedvetande och att skapa en korrekt mental modell (Kaiser & Schroeder, 2003).

3.1.5 Uppgiftsrelaterad fidelity

Uppgiftsrelaterad fidelity avser i vilken utsträckning de uppgifter som utförs i simulatoren överensstämmer med de uppgifter som utförs under verklig flygning. Det innebär i princip att simulatoren behöver respondera som ett riktigt flygplan. Samtliga uppgifter som utförs under verklig flygning behöver dock inte utföras i samtliga scenarier, varför kraven på uppgiftsrelaterad fidelity varierar beroende på vilka scenarier som används (Liu m.fl., 2008).

3.1.6 Funktionell fidelity

Funktionell fidelity avser i en flygsimulator hur simulatoren responderar på de kommandon som piloten ger och de uppgifter som han/hon utför i simuleringen (Allen, 1986). Detta omfattar exempelvis att simulatoren responderar genom att stiga på samma sätt som ett riktigt flygplan när piloten drar styrspaken bakåt. Funktionell fidelity har betydelse både för att simuleringen ska bli korrekt och för att skapa realism och tilltro till simuleringen (Liu m.fl., 2008).

3.1.7 Rörelsebaserad fidelity

Rörelsebaserad fidelity avser vid flygsimulering i vilken grad simuleringen återger den känsla av rörelse som upplevs under verklig flygning.

Ett problem är att rörelsebase simulatorer inte fullständigt kan återskapa samtliga parametrar av flygplanets rörelse i lufrummet, vilket kan leda till motstridiga sinnesintryck (Cobb, Nichols, Ramsey & Wilson, 1999) och därmed orsaka så kallad simulatorsjuka.

3.1.8 Presence – Närvarokänsla

Närvarokänsla (på engelska presence) är ett begrepp som är nära relaterat till fidelity och som också kan betraktas som en delmängd av psykologisk fidelity. Närvarokänsla definieras som den subjektiva upplevelsen av att befinna sig på en plats eller miljö, medan man i själva verket befinner sig på annan plats. Både engagemang, det vill säga hur fokuserad deltagaren är på simuleringen, och känslan av att vara omsluten av simuleringen anses viktiga för känslan av att vara närvarande i simuleringen (Witmer & Singer, 1998; Berggren & Nählinder, 2004).

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

3.2 Vilken nivå av fidelity behövs?

Att öka simulatorns realism innebär i allmänhet en avsevärd kostnadsökning, varför den ökade realismens nytta alltid bör vägas mot kostnaden. Forskningslitteraturen fokuserar nästan uteslutande på behovet av fidelity i studier där träning genomförs i simulatorer, vilket gör att fokus för kraven på fidelity i denna sammanställning också fokuserar på behoven för träningsstudier. Det kan dock antas att behoven av fidelity för tränings- forsknings- och valideringsstudier i flera avseenden sammanfaller.

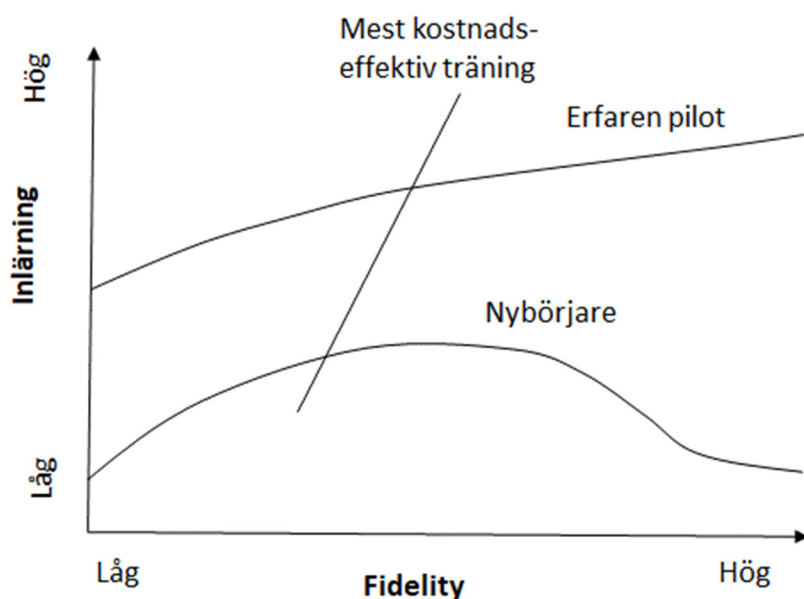
Det saknas en samstämmig syn på vilken nivå av fidelity som krävs för att träning i simulatorer ska bli så effektiv som möjligt. Enligt Stanton (1996) så anser vissa forskare att man alltid ska sträva efter så hög likhet med det verkliga systemet som möjligt, medan andra anser att funktionell fidelity kan kompensera för brister i fysisk fidelity. Den vanligaste uppfattningen är att en överdrivet hög nivå av fidelity inte är kostnadseffektivt. Liu m.fl. (2008) föreslår att de faktorer som inte ger något större bidrag till träningseffekten identifieras innan träningsimulatorer konstrueras för att minska utvecklingskostnaden.

Stanton (1996) menar att kraven på fysisk fidelity är högre vid perceptuella motoriska uppgifter (t.ex. styra flygplanet, dra i reglage och trycka på knappar) än vid kognitiva uppgifter. Hänsyn måste dock även tas till kompetensen hos de som tränar. Nybörjare tränar oftare på proceduruppgifter, t.ex. att göra vissa manövrar med flygplanet, medan de med högre kompetens ofta tränar på en mer generell nivå, t.ex. taktiskt beteende.

Enligt Alessi (1988) är en medelhög nivå av realism bäst för nybörjare. En flygelev på nybörjarstadiet kan exempelvis lära sig mer av enkla instruktioner på låg nivå i en simulator (perceptuell inläring) än vid komplicerade instruktioner på hög nivå i ett riktigt flygplan (kognitiv inläring).

Alltför hög nivå av fidelity och komplicerad träning, t.ex. i ett verkligt flygplan, kan för en nybörjare till och med leda till så hög stressnivå och förvirring att inte någon inläring sker. Undantag finns dock. Om en nybörjare exempelvis ska träna på hantering av instrumentering och reglage i en simulator kan hög fysisk fidelity avseende dessa komponenter vara nödvändig för att undvika felaktig inläring. För en erfaren pilot, som t.ex. ska lära sig flyga ett nytt flygplan kan inläringen däremot bli bättre ju mer fidelity ökas, dvs. att effekten blir störst om träningen sker i ett riktigt flygplan i stället för i en simulator.

Sambandet mellan fidelity och inläringseffekt illustreras i Figur 1, vilket är en förenklad anpassning av en graf från Alessi (1988). Mest kostnadseffektiv inläring avser den nivå av fidelity som ger mest inläring i förhållande till kostnaden för fidelity. För nybörjare avtar träningsnyttan efter en viss nivå av fidelity, medan den för erfarna piloter fortsätter att öka. Denna ökning är dock liten i förhållande till ökningen av fidelity, dvs. kostnaden för att öka fidelity över den angivna nivå för mest kostnadseffektiv träning blir hög i förhållande till ökningen av inläringen.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorerMemo nummer/Number
FOI Memo 7216

Figur 1. Schematisk beskrivning av hypotetiskt förhållande mellan fidelity och inläring under träning i flygsimulatorer för nybörjare och erfarna piloter, där den högsta nivån av fidelity motsvarar flygning i verkligt flygplan (förenklad anpassning av graf i Alessi, 1988).

Vilken nivå av fidelity som bör användas för respektive nivå av kompetens är dock inte entydigt. Enligt en studie som har genomförts inom ett forskningsprojekt på FOI avseende Flygvapnets användning av träningsimulatorer (Oskarsson & Nählinder, 2011) så användes en simulator med mycket hög fidelity (FMS, Full Mission Simulator) i början av piloternas utbildning för träning på nödsituationer och handhavande i cockpiten; medan det vid senare faser i utbildningen i större utsträckning användes en simulator med lägre fidelity (MMT, Multi Mission Trainer) för träning på taktiskt beteende. Det bör påpekas att de initiala träningsmomenten till stor del bestod av träning på handhavande av knappar och reglage, varför hög fysisk fidelity avseende dessa var en förutsättning för motorisk procedurträning. Under dessa moment ägnade eleverna inte någon större uppmärksamhet åt något annat i simuleringen, varför hög fidelity på komponenter som var ovidkommande för träningsuppgiften inte var distraherade. När det gäller träningen av taktiskt beteende i simulatorn med lägre fidelity var realismen hos knappar och reglage inte relevanta för träningsuppgiften, medan simulatorns funktionella fidelity var tillräckligt hög för de taktiska uppgifter som tränades. Flygeleverna upplevde det dock som fördelaktigt att träna med FMS, som genom hög fidelity och närvarokänsla, skapar en simulering som är mycket lik verklig flygning. (Oskarsson & Nählinder, 2011).

Åsikterna om träningsnyttan med rörelsebaserad flygsimulering är tvetydig. Vaden och Hall (2005) fann i en metaanalys en liten men positiv effekt av rörelsebaserad simulering på träning. Förutom att effekten var liten omfattade analysen endast sju studier. Liu m.fl. (2008) menar att en rörelsebaserad flygsimulator medför ökad fysisk fidelity och realism, men att detta endast bidrar till minimal ökning av träningseffekten. Enligt Kaiser & Schroeder (2003) blir felet hos rörelserna, vid simulering av extrema manövrer i stridsflygplan för stora för att ha någon praktisk nytta.

Enligt Kaiser och Schroeder (2003) är värdet av rörelsebaserad simulering främst beroende på uppgiften som tränas och dynamiken i de simulerade rörelserna. Vaden och Hall (2005) menar att den viktigaste frågan kanske inte är huruvida rörelsebaserad simulering har träningseffekter, utan om de potentiella träningseffekterna är tillräckligt stora för att motivera de extra kostnader och andra nackdelar som kan förknippas med rörelsebaserad simulering.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

3.3 Metoder för att värdera fidelity

Fyra instrument för subjektiv värdering av fidelity som identifierades i litteraturstudien redovisas i detta avsnitt: (1) *Simulator Fidelity Ratings (SFR) Scale* för mätning av generell fidelity, (2) *Modified Simulator Rating (mSFR) Scale* är en modifierad version av SFR, (3) *Simulation Pilot Rating Scale* som är ett äldre instrument för värdering av fidelity och (4) *Motion Fidelity Rating Scale* för värdering av rörelsebaserad fidelity.

Dessutom redovisas en metod för värdering av fidelity med skattningsskalor som använts inom forskningsprojekt vid FOI.

Tre av de instrumenten som redovisas utvecklades för värdering av fidelity i helikoptersimulatorer. Det kan dock antas att kraven på fidelity är generella och därmed även relevanta för andra typer av flygsimulatorer.

3.3.1 Simulation Fidelity Rating Scale

Simulation Fidelity Rating (SFR) Scale utvecklades av Perfect m.fl. (2014) i samverkan mellan University of Liverpool och Flight Research Laboratory National Research Council i Kanada. Som motiv för att utveckla SFR angavs att det saknades ett internationellt erkänt instrument för värdering av fidelity, samt att de instrument som fanns saknade nödvändig stringens för värdering av en övergripande upplevelse av samtliga aspekter av simulatorns fidelity. SFR redovisas på engelska i Appendix A och i svensk översättning i Appendix B.

SFR bygger på Cooper Harper Handling Qualities Scale för värdering av flygplanets hanterbarhet, där man i en trädstruktur besvarar ja och nej frågor (Cooper & Harper, 1969) för att komma fram till lämplig nivå. Frågorna i SFR fokuserar på följande tre perspektiv för simulatorträning:

- *Transfer av träning* – Den grad av inläring i simulatorn som är relevant vid flygning i verkligt flygplan.
- *Jämförande prestation på uppgifter* – Jämförelse av med vilken precision uppgifterna utförs i simulatorn och vid flygning i verkligt flygplan.
- *Anpassning av strategi för uppgift* – I vilken grad piloten behöver anpassa sitt beteende vid förflyttning från simulator till verkligt flygplan och tvärt om.

SFR ger ett mått på simulatorns fidelity på en skala med fyra nivåer. Det finns tre uppsättningar av beskrivningar av respektive nivå beroende på om syftet är träning i simulatorn för att lära sig något nytt, vidareutveckla befintlig kompetens eller värdera befintlig kompetens. Här återges de fyra nivåerna av fidelity som används vid värdering av pilotens befintliga kompetens:

- *Nivå 1*: Simulatorn är tillräckligt bra för att uttömmande demonstrera kunskaper eller handhavande relaterat till kompetent prestation.
- *Nivå 2*: Prestationen i simulatorn demonstrerar begränsade inslag av nödvändiga kunskaper eller handhavande.
- *Nivå 3*: Prestation i simulatorn kan inte demonstrera nödvändiga kunskaper eller handhavande.
- *Nivå 4*: Det är inte ens möjligt att utföra uppgiften i simulatorn.

Artikeln som beskriver SFR redovisar empiriska resultat där instrumentet har använts för värdering av fidelity hos helikoptersimulatorer. Författarna beskriver testen som framgångsrika och menar att skalan är relativt mogen, men tillägger att processen för att utveckla och verifiera skalan ännu inte är klar (Perfect m.fl., 2014).

Inom ramen för detta memo gjordes en separat sökning på samtliga författare på referensen till SFR utan att några uppföljningsstudier kunde hittas. En betänklighet är också att det i litteraturlöslagen Scopus endast är 13 publikationer som refererar till publikationen av Perfect m.fl. (2014) som beskriver SFR. Scopus tycks dock underskatta antalet referenser, eftersom ett konferensbidrag av

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

Beard, Reardon, Tobias och Aponso (2013) som refererar till Perfect m.fl. (2014) inte finns med bland dessa 13 referenser, trots att båda publikationerna är registrerade i Scopus. Att Beard m.fl. tillhör NASA och använde SFR i stället för simulation rating scale som utvecklats vid NASA (se Avsnitt 3.3.3) vid värdering av fidelity i en Black Hawk simulator får också anses som ett stöd för SFR.

Till fördel för SFR är även att en teoretisk bakgrund ges till hur skalan har utvecklats med hänsyn till tidigare instrument för värdering av simulator fidelity. Två av författarna från Liverpool, Perfect och Padfield, är också medförfattare till pappret som redovisar *Motion fidelity rating scale* (Hodge, Perfect, Padfield & White, 2011) (se Avsnitt 3.3.4)

3.3.2 Modified Simulator Fidelity Rating Scale

Modified Simulator Fidelity Rating Scale (mSFR) är en anpassning af SFR som gjorts vid Defence Science & Technology Organisation (DSTO) i Australien (Manso & Bourne, 2014). mSFR redovisas i Appendix C.

Anpassningen gjordes eftersom SFR fokuserar på träningsstudier, medan DSTO behövde ett instrument för att mäta fidelity i forskningsstudier, där pilotens arbetsbelastning och möjlighet att utföra sina uppgifter på samma sätt som under verklig flygning var fokus. Anpassningen medförde att de fyra nivåerna av fidelity omformulerades för att avspegla kraven på fidelity i denna typ av forskningsstudier:

- *Nivå 1:* Fidelity uppfyller syftet.
 - Den valda uppgiften utförs på samma sätt i simulatorm som i verkligheten. Simulatorm är tillräckligt bra för att noggrant avspegla operativ prestation.
- *Nivå 2:* Fidelity behöver förbättras
 - Simulatorm är lämplig för den valda uppgiften med vissa begränsningar. Extra ansträngning krävs för att uppnå operativ prestation.
- *Nivå 3:* Fidelity uppfyller inte syftet.
 - Negativ kompensation förekommer.
- *Nivå 4:* Fidelity uppfyller inte syftet.
 - Uppgiften kan inte utföras.

Manso och Bourne (2014) beskriver tre försök där mSFR används för värdering av fidelity i en helikoptersimulator. De menar att studierna var framgångsrika och visade att mSFR ger återupprepningsbara resultat. De tillägger dock att för att kunna identifiera vilka bristerna i fidelity hos en simulator faktiskt är så behöver mSFR kompletteras med skriftliga kommentarer från piloterna om vilken strategi de använt för att utföra uppgifter, vilka kontrollaktiviteter som de använt, samt tillgång eller brist på vad de benämner som "usable que environment".

En betänklighet är att mSFR endast är publicerad som konferensbidrag (Manso och Bourne, 2014). Enligt litteraturlösningsdatabasen Scopus finns dessutom endast två publikationer som refererar till konferensbidraget. Dessutom är Manso författare eller medförfattare till dessa, dvs. externa referenser saknas. Inom ramen för detta arbete har inte heller några uppföljningsstudier av mSFR hittats.

3.3.3 Simulation Pilot Rating Scale

Simulation Pilot Rating Scale utvecklades vid NASA i samband med validering av en flygsimulator, General Purpose Airborne Simulator (GPAS). Skalan innehåller sex nivåer av fidelity och för varje nivå finns en beskrivning som stödjer pilotens skattning av simulatorns nivå av fidelity. Vid valideringen av flygsimulatorn användes skalan för piloternas skattning av simulatorns generella fidelity. Piloterna ansåg att skalan var till nytta och vid valideringen bidrog den till att skapa en gemensam förståelse mellan piloter och ingenjörer (Szali, 1971). Simulation pilot rating scale redovisas i Appendix D.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

En betänklighet med Simulation Pilot Rating Scale är att endast två piloter deltog i valideringsstudien där skalan beskrivs (Szali, 1971). Inom ramen för detta arbete har inte heller uppföljningsstudier med skalan identifierats. Att skalan inte har använts i större utsträckning stöds dessutom av att Perfect m.fl. (2014) (som utvecklade SFR) påpekade att simulation pilot rating scale inte har fått någon utbredd användning. Dessutom identifierades i den nu genomförda litteraturstudien ett konferensbidrag, med författare från NASA, som använt SFR i stället för pilot rating scale för värdering av fidelity i en simulatorstudie (Beard m.fl., 2013)

3.3.4 Motion Fidelity Rating Scale

Motion fidelity rating scale har utvecklats vid Liverpool University av Hodge m.fl. (2011). Liksom SFR och mSFR bygger motion fidelity rating scale på trädstrukturen i Cooper Harper Handling Qualities Scale. Motion fidelity rating scale redovisas i Appendix E.

Skalan ger ett mått på fidelity på en tiogradig skala. Då skalan besvaras används också nio bokstäver som står för olika problem med hur simulatorns rörelser uppfattas. Avsikten är att respondenten ska komplettera sin skattning genom att med bokstäverna ange upplevda problem med simulatorns rörelser.

Beskrivningen av Motion fidelity rating scale av Hodge m.fl. (2011) var i form av ett konferensbidrag, men har senare även publicerats i form av en vetenskaplig artikel (Hodge, Perfect, Padfield & White, 2015). En brist är att dessa båda publikationer endast redovisar ett empiriskt försök där instrumentet testats i en helikoptersimulator med endast en erfaren pilot. Författarna menar att skalan visade sig användbar för att samla in subjektiv data om hur piloten uppfattade rörelserna i simulatormen, men att skalan bör anpassas för användning vid framtida experiment och vid behov förbättras.

Ett senare konferensbidrag anger i metodbeskrivningen att originalversionen av motion fidelity rating scale har använts kombinerat med SFR och Cooper Harper skalan (Manso, White & Hodge, 2016). Resultat från motion fidelity rating redovisas dock inte. Ytterligare studier med instrumentet har inte identifierats inom ramen för detta arbete.

3.3.5 Skattningsskalor för att värdera Fidelity

Skattningsskalor för att värdera Fidelity har använts inom forskningsprojekt som genomfört simulatorstudier på FOI. Skattningsfrågor på skalan 1-7 om relevanta aspekter av fidelity hos simulatormen formulerades. Metoden bygger på att en analys utförs innan en studie genomförs för att identifiera de aspekter av fidelity hos simulatormen som är relevanta för studiens syfte. Därefter formuleras skattningsfrågor om dessa aspekter av fidelity.

Följande skattningsfrågor om fidelity användes vid värdering av fidelity hos simulatorer av Stridsfordon 90 och Stridsvagn 122, samt en sonarsimulator vid Sjöstridsskolan:

- Hur verklighetstroga är de fysiska delarna i simulatormen (instrumentering, knappar, förarplats etc.)? (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket)
- Vilken kvalitet har presentationen av omvärlden i Simulatormen (bild, ljud)? (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra)
- Hur är simuleringen av det som händer i simulatormen (t.ex. uppträdande hos virtuella fiender)? (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra)
- Hur lätt är det att agera i Simulatormen jämfört med verkligheten? (1 = Mycket svårt – 7 = Mycket lätt)

Detta kompletterades med en öppen fråga där respondenten kunde ge ytterligare synpunkter på fidelity. Det bör påpekas att dessa värderingar av simulatorerna främst fokuserade på tränings effekter i simulatorerna och att frågorna om fidelity endast var en del av enkäterna som sammanlagt innehöll

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

drygt 70 frågor (Nählinder, Oskarsson, Lindahl, Hedström & Berggren; Oskarsson & Nählinder, 2012).

En anpassning av enkätfrågorna för värdering av träningseffekter vid två av Flygvapnets simulatorer vid F7 innehöll följande frågor om fidelity:

- Hur realistiskt känns det att flyga i simulatorm jämfört med verklig flygning? (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket)
- Hur verklighetstrogen är simulatorm avseende förarplats, t.ex. knappar, reglage etc.? (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket)
- Hur verklighetstrogen är simulatorm avseende instrumentering? (1 = Inte alls – 7 = Väldigt mycket)
- Hur verklighetstrogen är presentationen av omvärlden i simulatorm (bild, ljud)? (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra).
- Hur verklighetstrogen är simuleringen av det som händer i simulatorm (t.ex. uppträdande hos virtuella fiender)? (1 = Mycket dålig – 7 = Mycket bra)
- Hur viktig anser du att överensstämmelse med verkligheten är för att träningen i simulatorm ska vara lärorik? (1 = Inte viktig – 7 = Mycket viktig)

Även i denna enkät fanns en öppen fråga där respondenten kunde ge skriftliga kommentarer om fidelity. Sammanlagt var det cirka 60 frågor om respektive simulator (Oskarsson & Nählinder, 2011).

En fördel med denna metod är att utvärderingen inte är låst till i förväg bestämda frågor, utan att frågorna kan anpassas för att uppfånga de aspekter av fidelity som är specifikt relevanta för de forskningsfrågor som står i fokus för den studie som genomförs. En nackdel är att om frågor skiljer sig åt mellan studier så begränsas möjligheten att jämföra fidelity hos simulatorer som värderats i olika studier. Resultat där skalan har använts har publicerats på vetenskapliga konferenser (Oskarsson & Nählinder, 2012, Oskarsson, Nählinder & Berggren, 2010).

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

4 Diskussion och slutsatser

Forskningslitteraturen avseende fidelity fokuserar i stor sett enbart på fidelity hos simulatorer som används för träningsstudier. Det kan dock antas att kraven på fidelity vid tränings- forsknings- och valideringsstudier till stora delar sammanfaller. Ett generellt krav bör vara att simulatorns fidelity är tillräckligt hög för det scenario som presenteras och för att pilotens interaktion med det simulerade flygplanet ska vara relevant, t.ex. för den utrustning som testas i valideringsstudier eller för procedurer som övas i träningsstudier. Behovet av fidelity kan således variera beroende på frågeställning och kan behöva bedömas från fall till fall, vilket bör gälla vare sig simulatorm används för tränings-, forsknings- eller valideringsstudier.

Som framgår av sammanställningen så finns det flera olika definitioner av fidelity. Det innebär att uppdelningen i olika typer av fidelity inte är enhetlig, varför flera definierade kategorier av fidelity är överlappande. Överlappande definitioner och begrepp är inte unikt för fidelity utan förekommer även inom andra forskningsområden.

Av de instrument för värdering av generell fidelity som identifierats inom detta arbete har SFR störst spridning. Fokus hos SFR ligger dock på träning och bedömning av kompetens, varför mSFR kan vara ett alternativ för värdering av fidelity i forsknings- och valideringsstudier. Då mSFR är mer oprövad rekommenderas dock att teststudier genomförs före skarp användning, eller att mSFR används kombinerat med SFR. Det bör noteras att dessa instrument utvecklats för värdering av fidelity i helikoptersimulator. Kraven på fidelity är dock så generella att instrumenten även bör vara tillämpbara i andra typer av flygsimulatorer. Innan användning för värdering av fidelity i andra typer av flygsimulatorer bör frågornas relevans ändå verifieras av piloter.

Om specifika aspekter av fidelity hos simulatorm är väsentliga för den studie som genomförs kan det var fördelaktigt att komplettera en generell värdering av fidelity som görs med SFR eller mSFR med den typ av skattningsfrågor som FOI använt om relevanta aspekter av simuleringens fidelity. Om instrumenten visar på brister i fidelity bör dessutom intervjuer, eller skriftliga kommentarer, från deltagande piloter användas för att samla in detaljerad information om dessa brister och deras konsekvenser.

Även om tidsramen för detta arbete endast medgav läsning av ett urval av de mest relevanta publikationerna som identifierades i den nu genomförda litteratursökningen så bör resultatet från litteratursökningen vara relevant för eventuellt framtida arbeten om fidelity. Det bör beaktas att huvuddelen av denna sammanställning om fidelity bygger på erfarenheter från litteraturstudier som gjorts tidigare forskningsprojekt. En nackdel med detta är den litteratur som redovisas till stor del är relativt gammal. En fördel är att sammanställningen trots den tidsmässiga begränsningen är relativt utförligt.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

5 Referenser

- Alessi, S. M. (1988). Fidelity in the design of instructional simulation. *Journal of computer-based instruction*, 15(2), 40-47.
- Allen, J.A. (1986). Maintenance training simulator fidelity and individual difference in transfer of training. *Human Factors*, 28(5), 497-509.
- Beard, S. D., Reardon, S. E., Tobias, E. L., & Aponso, B. L. (2013). Simulation system fidelity assessment at the vertical motion simulator. *Annual Forum Proceedings - AHS International*, 2, 1506-1524.
- Berggren, P., & Nählinder, S. (2004). *ACES: Utvärdering med avseende på fidelity och de pedagogiska verktygen* (FOI Memo 1095). Linköping: Totalförsvarets Forskningsinstitut.
- Cobb, S. V. G., Nichols, S., Ramsey, A., & Wilson, J. R. (1999). Virtual reality-induced symptoms and effects (VRISE). *Presence*, 8(2), 169-186.
- Cooper, G.E. and Harper, R.P. (1969). *The use of pilot rating in the evaluation of aircraft handling qualities* (NASA TN-D-5153).
- Hodge, S. J., Perfect, P., Padfield, G. D., & White, M. D. (2011). Optimising the vestibular cues available from a short stroke hexapod motion platform. *Annual Forum Proceedings - AHS International*, 3, 2044-2061.
- Hodge, S. J., Perfect, P., Padfield, G. D., & White, M. D. (2015). Optimising the yaw motion cues available from a short stroke hexapod motion platform. *Aeronautical Journal*, 119(1211), 1-21.
- Kaiser, M. K., & Schroeder, J. A. (2003). Flights of fancy: The art and science of flight simulation. In P. S. Tsang & M. A. Vidulich (Eds.), *Principles and practice of aviation psychology* (pp. 435-471). Mahwah, New Jersey: Erlbaum.
- Liu, D., Macchiarella, N. D., & Vincenzi, D. A. (2008). Simulation fidelity. In D. A. Vincenzi & J. A. Wise & M. Moulana & P. A. Hancock (Eds.), *Human factors in simulation and training* (pp. 61-73). Boca Raton, FL: CRC Press.
- Manso, S., & Bourne, K. (2014). Assessing the Fidelity of a Human-in-the-Loop Helicopter flight research simulator. *Annual Forum Proceedings - AHS International*, 3, 1901-1906.
- Manso, S., White, M. D., & Hodge, S. (2016). An investigation of task specific motion cues for rotorcraft simulators. In *proceedings of AIAA Modeling and Simulation Technologies Conference*.
- Nählinder, S., Oskarsson, P.-A., Lindahl, B., Hedström, J., & Berggren, P. (2009). *Effects of simulator training - motivating factors*. (FOI-R--2926--SE). Swedish Defence Research Agency, FOI.
- Oskarsson, P.-A., & Nählinder, S. (2011). *Studie av träning i flygvapnets simulatorer FMS och MMT*. (FOI-R--3372---SE). FOI, Totalförsvarets Forskningsinstitut.
- Oskarsson, P.-A., & Nählinder, S. (2012). Training effects in a low fidelity combat vehicle simulator. In *Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society (HFES) 56th Annual Meeting, Boston, MA* (pp. 1566-1570).
- Oskarsson, P.-A., Nählinder, S., & Berggren, P. (2010). Transfer of training from simulator to aircraft - the usefulness of embedded training tools. In D. de Ward, A. Axelsson, M. Berglund, B. Peters, & C. Weikert (Eds.), *Human Factors: A system view of human, technology and organization* (pp. 327-335). Maastricht, the Netherlands: Shaker Publishing.
- Padmos, P., & Milders, M. V. (1992). Quality criteria for simulator images: A literature review. *Human Factors* (34), 6, 727-748.

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

Perfect, P., Timson, E., White, M. D., Padfield, G. D., Erdos, R., & Gubbels, A. W. (2014). A rating scale for the subjective assessment of simulation fidelity. *Aeronautical Journal*, 118(1206), 953–974.

Rehmann, A.J., Mitman, R.D., & Reynolds, M.C. (1995). *A Handbook of Flight Simulation Fidelity Requirements for Human Factors Research* (DOT/FAA/CT-TN95/46). Wright-Patterson AFB, OH: Crew System Ergonomics Information Analysis Center.

Roscoe, S.N. (1980). *Aviation Psychology*. Ames: Iowa State University Press.

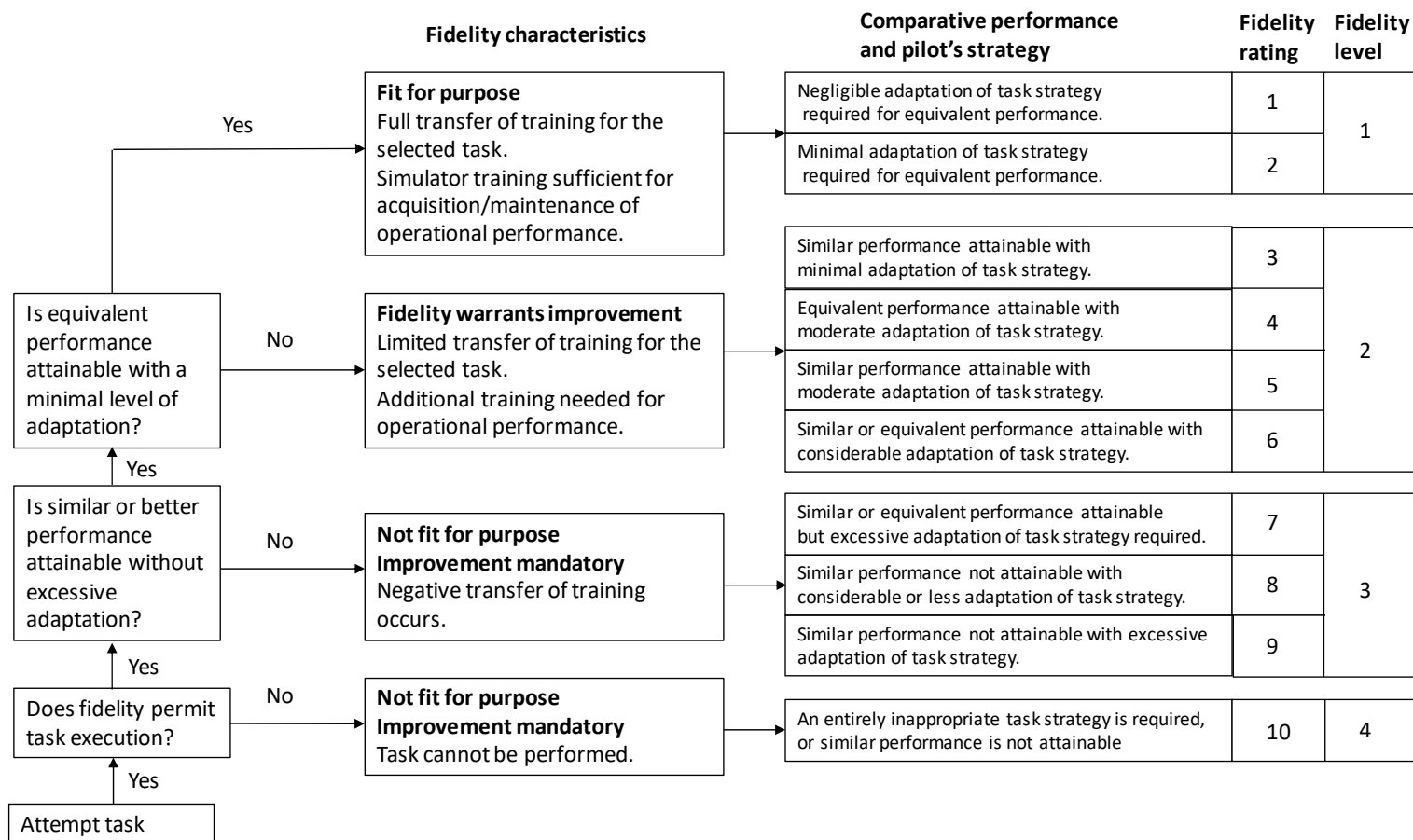
Stanton, N. (1996). Simulators: a review of research and practice. In N. Stanton (Ed.), *Human factors in nuclear safety* (pp. 117–140). Taylor & Frances.

Szalai, K. J. (1971). *Validation of a general purpose airborne simulator for simulation of large transport aircraft handling qualities* (NASA TN D-6431).

Vaden, E. A., & Hall, S. (2005). The Effect of Simulator Platform Motion on Pilot Training Transfer: A Meta-Analysis. *The International Journal of Aviation Psychology*, 15(4), 375-393.

Witmer, B. G., & Singer, M. J. (1998). Measuring presence in virtual environments: A presence questionnaire. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 7(3), 225–240.

Appendix A – Simulator Fidelity Rating Scale (SFR)



Simulator Fidelity Rating Scale (anpassad efter Perfect, Timson, White, Padfield, Erdos, & Gubbels, 2014).

Innehållet är granskat och omfattar ingen information som är underställd exportkontrollagstiftningen

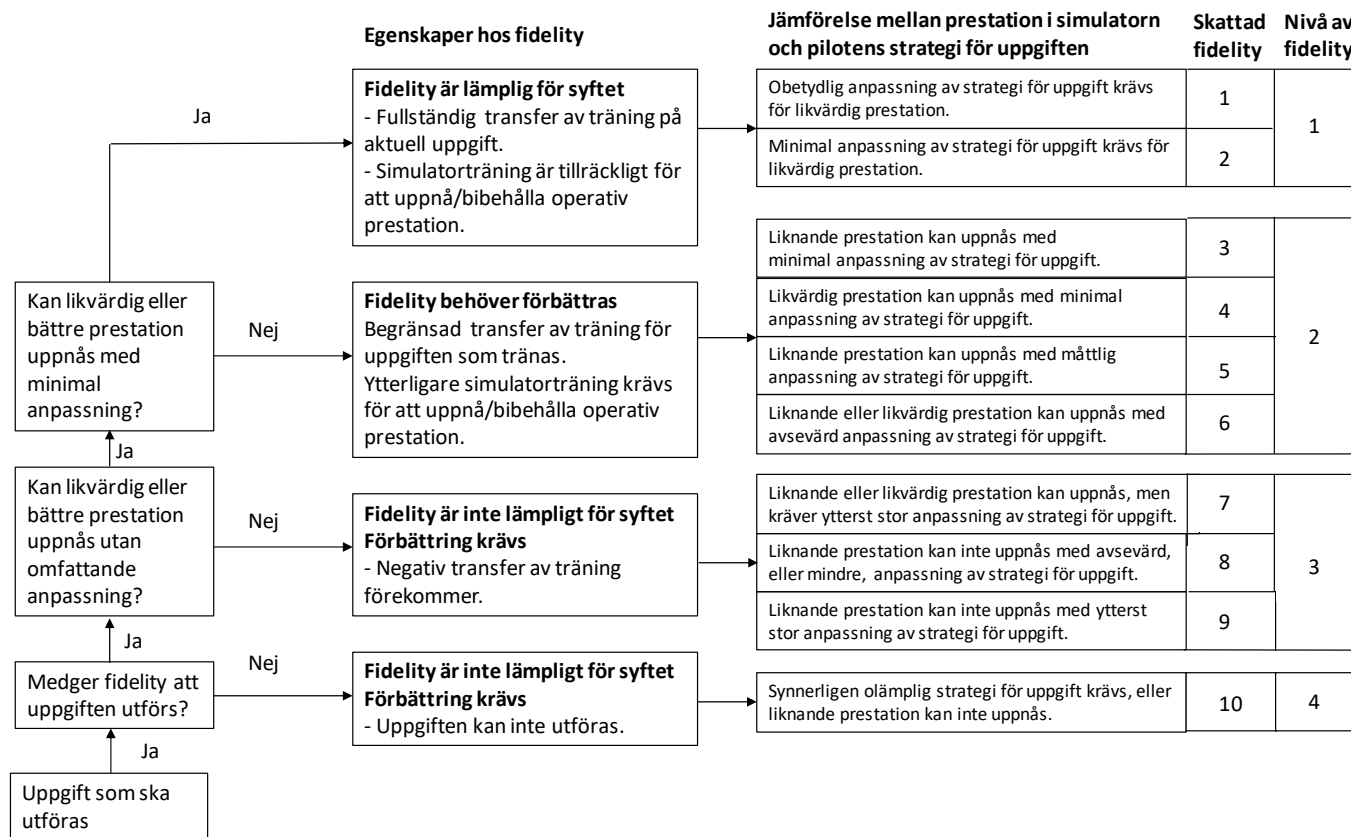
Titel/Title

Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number

FOI Memo 7216

Appendix B – Svensk översättning av SFR



Svens översättning av SFR. Observera att översättningen har gjorts inom detta arbete och att den svenska versionen därmed inte är empiriskt testad (anpassad efter Perfect m.fl., 2014).

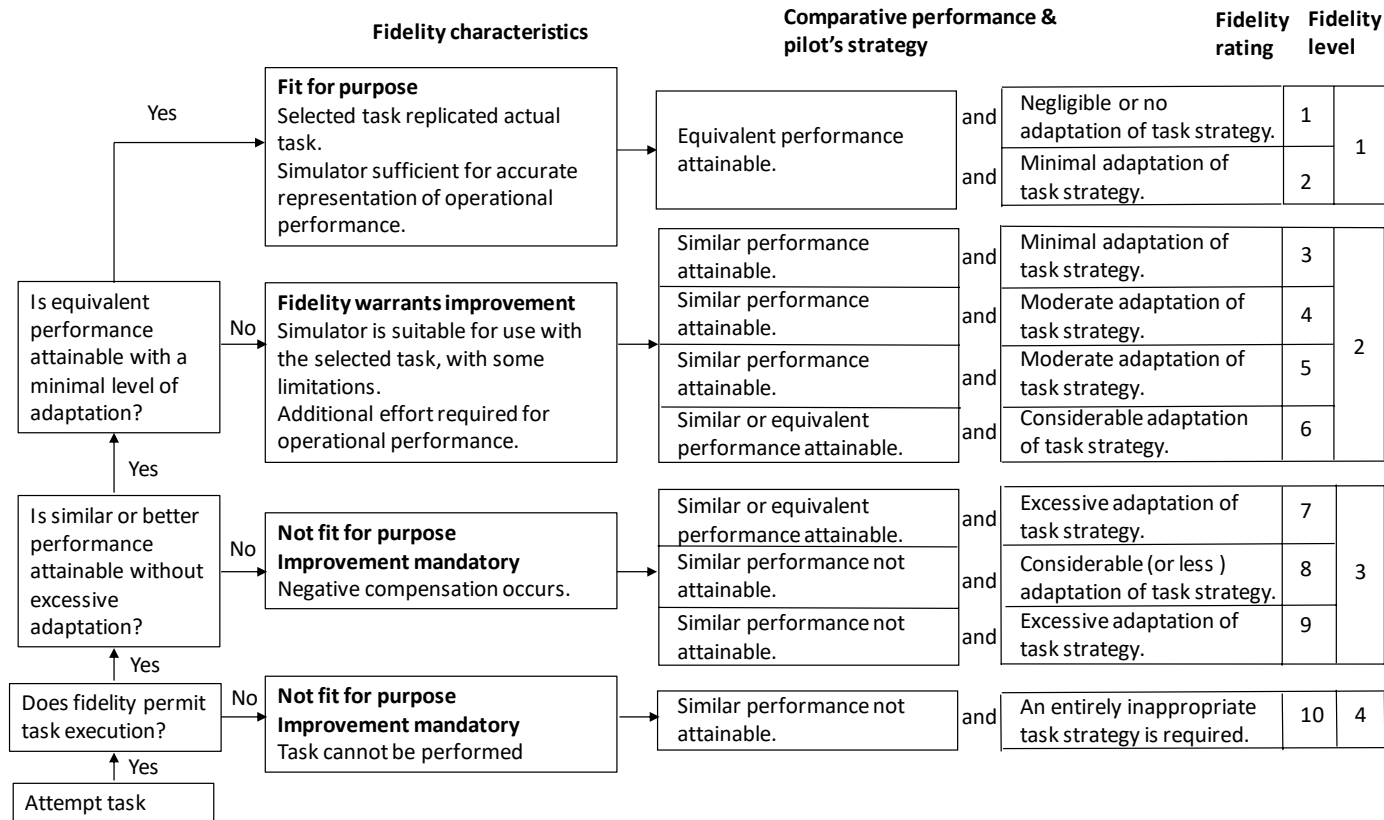
Titel/Title

Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number

FOI Memo 7216

Appendix C – Modified Simulator Fidelity Rating (mSFR) Scale



Modified Simulator Fidelity Rating (mSFR) Scale (anpassade efter, Manso & Bourne, 2014).

Titel/Title

Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number

FOI Memo 7216

Appendix D – Simulation Pilot Rating Scale

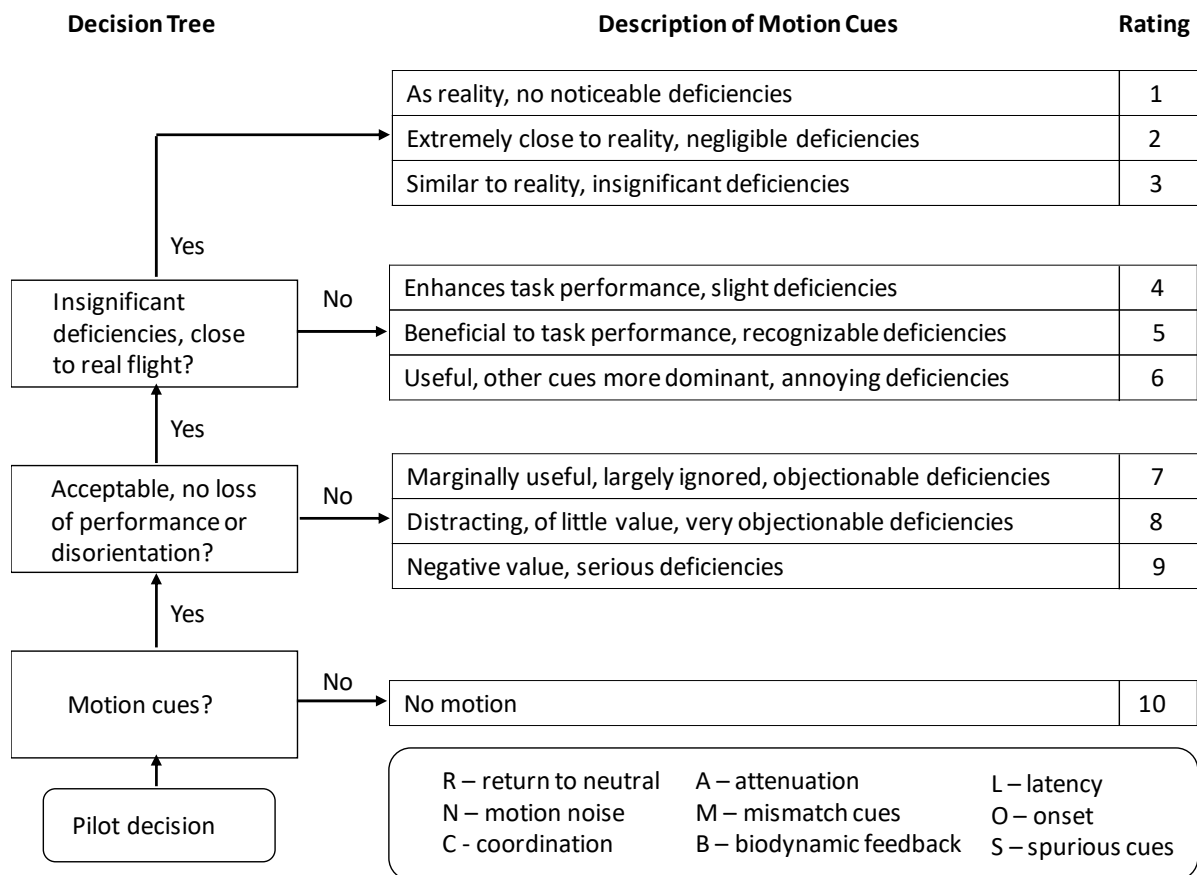
Category	Rating	Adjective	Description
Satisfactory representation of actual vehicle	1	Excellent	Virtually no discrepancies; simulator reproduces actual vehicle characteristics to the best of my memory. Simulator results directly applicable to actual vehicle with high degree of confidence.
	2	Good	Very minor discrepancies. The simulator comes close to duplicating actual vehicle characteristics. Simulator results in most areas would be applicable to actual vehicle with confidence.
	3	Fair	Simulator is representative of actual vehicle. Some minor discrepancies are noticeable, but not distracting enough to mask primary characteristics. Simulator trends could be applied to actual vehicle.
Unsatisfactory representation of actual vehicle	4	Poor	Simulator needs work. It has many minor discrepancies which are annoying. Simulator would need some improvement before applying result directly to actual vehicle, but is useful for general handling-qualities investigation for this class of aircraft.
	5	Bad	Simulator not representative. Discrepancies exist which prevent actual vehicle characteristics from being recognized. Results obtained here should be considered as unreliable.
	6	Very bad	Possible simulator malfunction. Wrong design, inoperative controls, other gross discrepancies prevent comparison from even being attempted. No data.

Simulation pilot rating scale (anpassad från Szalai, 1971)

Titel/Title
Fidelity – Upplevd realism hos flygsimulatorer

Memo nummer/Number
FOI Memo 7216

Appendix E – Motion Fidelity Rating Scale



Motion Fidelity Rating Scale (anpassad från Hodge, Perfect, Padfield & White, 2011)