

Projektnummer
E85051
FoT-område
Flygsystem

Uppdragsgivare
Försvarmakten

Författare
Sanna Aronsson, Robert Ramberg

Datum
2022-12-08

Memo nummer
FOI Memo 8036

Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022



Foto: Rikard Westman/FOI

Titel
Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022Memo nummer
FOI Memo 8036

Innehållsförteckning

1	Inledning	3
2	Aktiviteter.....	3
2.1	Prestationsmått i XR - Stockholms Universitet.....	4
2.2	Examensarbeten.....	4
2.2.1	“An evaluative study on the impact of immersion and presence for flight simulators in different types of XR”	4
2.2.2	“Comparing MR/VR implementations in flight training simulation”	5
2.3	Utvärdering av spelmotorer och spel.....	6
2.3.1	Unity	6
2.3.2	Unreal Engine	7
2.3.3	DCS World	7
2.3.4	VBS 3/4	7
2.3.5	Microsoft Flight Simulator 2020	8
2.3.6	FlightGear	8
2.3.7	X-plane.....	8
3	Erfarenheter kring lokaler och personal.....	8
4	Omvärldsbevakning och kommunikation	9
5	Diskussion och framtida arbete	10
6	Referenser.....	10
	Förkortningar och centrala begrepp	11

Titel

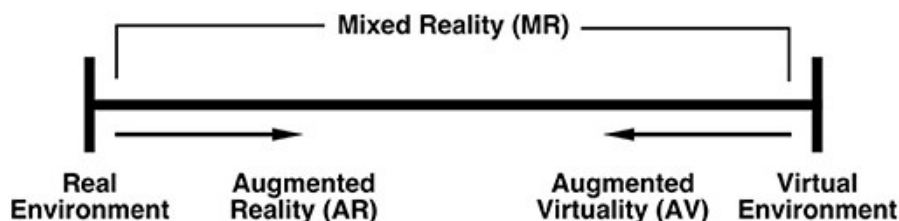
Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer

FOI Memo 8036

1 Inledning

Detta memo utgör en leverans inom uppdraget FoUO 922 - AT.9221415 Flygsystem FOI 22, inom projektet Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer. Immersiv teknologi (*Virtual/Augmented/Mixed Reality*), med samlingsbegreppet XR (*Extended Reality*), bedöms ha många potentiella användningsområden inom försvarsområdet och teknikutvecklingen går snabbt framåt. I detta projekt fokuserar verksamheten på att utforska användandet av immersiv teknologi för simulatorbaserad flyg- och luftstridsträning. Det gemensamma för dessa teknologier är att en användare med ett buren XR-headset får upplevelsen av att befinna sig i en helt eller delvis virtuell värld (se Figur 1). Genom att designa XR-lösningar som ger användaren hög upplevd inlevelse (eng. *immersion*) och närvarokänsla (eng. *presence*) kan träningsvärdet ökas och således ge positiv inverkan på träningseffekten (Mikropoulos, 2006; Harris m.fl., 2020; Slater, 2009).



Figur 1. Paul Milgram's Reality-Virtuality Continuum (Milgram m.fl., 1995), som visar på spektrumet för olika tillämpningar av XR-baserad teknik.

XR-teknologi medger platsbesparing i form av mindre och mer kostnadseffektiva tekniska lösningar för simulatorbaserad träning, och även mer variation vad gäller funktionalitet och form. Dagens XR-headset har ofta stöd för att integreras i olika spelmotorer och simulatorspel, vilket projektet har utforskat under året. Dessutom har de ofta även stöd för olika typer av mätmetoder och nya interaktionsmöjligheter (t.ex. *eye-tracking*, röststyrning och haptik).

Projektets frågeställningar lyder:

1. Hur kan immersiv teknologi användas för att förstärka utbildnings- och träningseffekt inom i första hand flygdomänen?
2. Vilken typ och grad av kompetens bör FOI och FLSC bygga upp inom området? Vad krävs för att underhålla och vidareutveckla immersiva teknologier?
3. Inom vilka övriga områden kan immersiva teknologier vara intressanta för militära tillämpningar?

I följande avsnitt redogörs för årets aktiviteter i projektet samt förslag på kommande verksamhet.

2 Aktiviteter

Under 2021 gjordes ett arbete med att kartlägga vilka områden som skulle vara intressanta att belysa inom projektet (Aronsson m.fl., 2021). Dessa fyra områden är: 1) Fysisk påverkan på piloten, 2) Aspekter på XR för träning och debriefing, 3) Integrering av träningsplattformar, samt 4) Psykofysiologiska mått för att stödja träning och debriefing.

Tre delfrågeställningar har därefter formulerats för att inrymma dessa områden:

- *Hur påverkas operatören mentalt och fysiskt av att använda XR-headset?*
- *Hur kan mätmetoder användas för att utvärdera användning av XR-system?*
- *Vilka nya användningsområden kan XR-teknik appliceras på?*

Titel

Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer

FOI Memo 8036

För att kunna utföra forskning och studier inom dessa områden krävs en väl fungerande teknisk miljö och tillgång till personal som kan utveckla de simuleringsmiljöer som behövs, något som är under uppbyggnad.

Under året har aktiviteter utförts för att inleda och bygga upp ett samarbete med Stockholms universitet. På universitetet finns dels ett Masterprogram i Design för kreativ och immersiv teknik, vilket möjliggör för utbyte av erfarenheter och samarbeten med studenter, dels en doktorand som forskar kring hur XR-teknologi och psykofysiologiska mått kan användas för att skapa adaptiva träningsscenarier för bland annat piloter.

Samarbeten med universitet och högskolor kan ge mycket positiva följder i form av bland annat informationsutbyte och kontakt med forskare som undersöker användning av XR inom andra domäner.

2.1 Prestationsmått i XR - Stockholms Universitet

Under året har informationsutbyte med Stockholms universitet inletts. Forskare och en doktorand besökte FLSC och diskussioner har inletts kring samverkan vad gäller studier om XR, och särskilt användning av psykofysiologiska mått för att bedöma en operatörs mentala arbetsbelastning (eng. *mental workload*) i realtid. Med hjälp av mätning av bland annat hjärtfrekvensvariabilitet (eng. *Heart Rate Variability*, HRV) kan man på ett objektivt sätt identifiera om till exempel en pilot har hög eller låg mental arbetsbelastning. Med stöd av maskininlärningsalgoritmer skulle man sedan kunna anpassa scenariot i realtid så att piloten i sitt lärande hela tiden befinner sig i ett optimalt tillstånd för utveckling och lärande (se *Zone of proximal development*, Vygotsky, 1986).

Studier kring detta kommer i ett första skede att förberedas och genomföras vid Stockholms universitet under 2022/2023, för att sedan i dialog med projektet/OpenFLSC¹ överföra resultat och vidareutveckla metodiken i en stridsflyg-kontext vid OpenFLSC. Dialog förs också kring nyttjandet av XR-teknologi vid debriefing. I en XR-miljö kan piloter se, dela och uppleva varandras agerande som skett under ett träningsscenario. Visualiseringar och andra representationer som nyttjas i debriefing, kan i en XR-miljö också tilldelas egenskaper och funktionalitet som inte går att göra i traditionella gränssnitt.

2.2 Examensarbeten

Under året har ett examensarbete inom projektet utförts på FOI med handledning av personal från FLSC. Resultat från ytterligare ett examensarbete har kommit projektet tillgodo genom samarbeten med Stockholms universitet och tidigare nämnda Masterprogram i Design för kreativ och immersiv teknik. I det senare har projektet bidragit med stöd i definiering av forskningsfråga samt deltagit som försöksdeltagare i studien. Båda dessa beskrivs kortfattat nedan.

2.2.1 “An evaluative study on the impact of immersion and presence for flight simulators in different types of XR”

Dahlkvist, R. (2022, pågående). An evaluative study on the impact of immersion and presence for flight simulators in different types of XR (prel. titel). Masteruppsats, KTH, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Sammanfattning:

Flygsimulatorer är en central träningsmetod för piloter, och med framsteg inom *Human-Computer Interaction* (HCI), kan ny banbrytande teknologi användas för att skapa simulatorer som använder Extended Reality-teknik (XR). Syftet med detta arbete var att undersöka tillämpningarna av XR och hur de kan jämföras med varandra när det gäller användbarhet i en flygsimulator, särskilt aspekterna

¹ Ett öppet utrymme på FOI i Kista som möjliggör forsknings- och studieverksamhet inom flyg- och luftstridsträning.

Titel

Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer

FOI Memo 8036

effektivitet av interaktion, upplevd inlevelse (*immersion*), närvarokänsla (*presence*) samt negativt mående vid simulatoranvändning (*simulator sickness*).

För att svara på dessa frågor implementerades en MR- och en VR-version (Figur 2) med hjälp av Varjo XR-3-headset (HMD, *Head-mounted Display*). För att kunna utforska aspekterna ovan utfördes en användarstudie (N = 11), med både kvantitativa och kvalitativa metoder.

Interaktion med fysiska gränssnitt är en central procedur för piloter. Användarna fick därför genomföra tre reaktionstester med målet att trycka på en slumpmässig knapp som lyser grönt för att mäta effektiviteten av interaktion i både VR- och MR-versionen. Reaktionstesterna utfördes i olika komplexitet: (Enkelt) ingen flygning, (Medioker) lätt flygning och (Avancerat) svår flygning. Deltagarna fyllde därefter i kompletterande frågeformulär om deras upplevelse av *immersion*, *presence* och *simulator sickness* efter varje version de flög.

Resultatet av användarstudien visade att effektiviteten i interaktionen i MR-versionen är över 70 % bättre samt upplevdes mer uppslukande än VR-versionen. En hög känsla av upplevd *presence* rapporterades bland deltagarna, vilket tyder på att detta arbete visar hur man uppnår höga nivåer av *immersion*. Till sist upplevdes båda versionerna som relativt realistiska med låga upplevda nivåer av *simulator sickness*.



Figur 2. Mixed Reality och Virtual Reality-versioner sida vid sida. Foto: Robin Dahlkvist/FOI.

2.2.2 “Comparing MR/VR implementations in flight training simulation”

Wang, Kexin (to be defended, 2022). Comparing MR/VR implementations in flight training simulation. Masteruppsats, Stockholms universitet, Institutionen för data- och systemvetenskap.

Sammanfattning:

Ett examensarbete genomfördes vid institutionen för data- och systemvetenskap, Stockholms universitet. En utgångspunkt för arbetet är att det saknas empiriska studier av olika XR-implementeringsmetoder och utvärdering av deras effekt(er). Att studera och jämföra användarupplevelsen och prestation av två olika XR-implementationer kan tillhandahålla värdefull information om XR-tillämpningar och därmed bidra till kunskapsuppbyggnad inom området.

Titel

Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer

FOI Memo 8036

Effektivitet definierades i examensarbetet som bestående av god användarupplevelse och prestation där ett *fidelity/validity*-ramverk (*fidelity* – likhet/exakthet i fortsättningen kallat fidelitet) användes för att mäta och jämföra en VR-implementation med en MR-implementation (Harris m.fl. (2020). Forskningsfrågan för examensarbetet formulerades som ”Vilken implementation (VR, MR) passar bäst vad gäller psykologisk och ergonomisk fidelitet för flygträningssimulering?”

Psykologisk fidelitet beskrivs som graden till vilken en simulering replikerar centrala perceptuella och kognitiva aspekter från genomförandet av verkliga uppgifter (Harris m.fl., 2020). En effektiv nivå av psykologisk fidelitet innebär att piloter fokuserar och agerar i simuleringen som de skulle göra i en verklig flygfarkost. Ergonomisk fidelitet beskrivs som i vilken grad XR-miljön tillåter och främjar realistiska rörelsemönster hos användaren (Harris m.fl., 2020).

En experimentell studie genomfördes där en VR-implementation jämfördes med en MR-implementation. Försökspersoner i studien fick utföra uppgifter med fokus på precision (att trycka på knappar i ett virtuellt gränssnitt genom att antingen använda en virtuell hand, eller sin egen hand). Denna uppgift genererade kvantitativ data om antal korrekta och felaktiga knapptryckningar och mätte den ergonomiska fideliteten. Försökspersonerna svarade också på frågor i en anpassad enkät som mätte psykologisk fidelitet i termer av upplevelse av närvaro (*presence*), baserad på en *presence*-enkät (Witmer & Singer, 1998).

Kvantitativa data visade att försökspersonerna presterade bättre med MR-implementationen än vad de gjorde med VR-implementationen i genomförandet av samma uppgifter. Försökspersonerna kunde slutföra uppgifterna snabbare och med färre gjorda fel när de använde MR-implementationen. Det kvalitativa resultatet visade att försökspersonerna i allmänhet föredrog MR-implementationen framför VR-implementationen. En tematisk analys av svar på frågor i enkäten resulterade i tre teman; intuitivitet, precision och naturlighet, vilka utgör ytterligare fördelar med MR jämfört med VR. Temat intuitivitet behandlar aspekter som att det gick snabbare att anpassa sig till MR-implementationen och att försökspersonerna upplevde att det var lättare att koncentrera sig när de agerade i denna implementation. Temat precision inbegrep bland annat att försökspersonerna upplevde att deras spatiala bedömningar var bättre i MR-implementationen. Begrepp om avstånd till knappar var tydligare och underlättade interaktion med gränssnittet. Avslutningsvis, temat naturlighet berör begrepp om agens, att försökspersonerna upplevde att de var i kontroll i interaktion med gränssnittet, och att detta resulterade i en mer naturlig interaktion.

2.3 Utvärdering av spelmotorer och spel

Nedan beskrivs den utvärdering som utförts under året för att utforska vilka olika spelmotorer och simulatorspel som skulle kunna vara relevanta att använda i forsknings- och studiesyfte.

2.3.1 Unity

Unity är en spelmotor utvecklad av Unity Technologies och har använts i projektet till detta års samt fjolårets examensarbeten. En styrka med Unity jämfört med många andra spelmotorer är hur enkelt det är att komma igång och bygga en snabb prototyp. Varjo och Unity har även ett bra samarbete vilket gör att det är väldigt enkelt att integrera deras produkter i spelmotorn. Unity har även en utmärkt *asset store* (ett bibliotek med modeller, animeringar och texturer) vilket har nyttjats i båda exjobben, speciellt Silantro flight simulator har varit användbar då man slipper bygga en flygmodell själv.

Titel

Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer

FOI Memo 8036

Fördelar	Nackdelar
Lätt att använda	Begränsad storlek på kartan
Snabbt att komma igång med	Måste bygga mycket själv jämfört med spel
Stor asset store med mycket gratis material	Ingen källkod i gratisversion
Silantro flight simulator	
Bra integration med Varjo och Ultraleap (hand-tracking)	
Stort community	

2.3.2 Unreal Engine

Unreal Engine, utvecklat av Epic Games, fungerar på liknande sätt som Unity. Generellt så är Unreal lite svårare att använda än Unity och har varit riktad mer åt professionella användare.

Fördelar	Nackdelar
Bra grafik	Har inte testats i projektet
Stort community	Svårare att komma igång med än Unity
Stor asset store	
Med nya Unreal Engine 5 har problemet med stora terränger lösts, dock fortfarande i alphaversion	
Pitch HLA integration	
Ska finnas bra integration mot Varjo	
Tillgång till källkod	

2.3.3 DCS World

DCS World är en flygsimulator utvecklat av Eagle Dynamics, och är just nu den mest kompletta flygsimulatorn som finns för kommersiellt bruk. Spelet innehåller många flygplan, terränger och har stöd för VR/XR. Det finns även en modell för en JAS39 Gripen byggt av användare, den är dock inte testad av FOI ännu.

Fördelar	Nackdelar
Bra grafik	Mindre kontroll än en spelmotor
Kan bygga egna uppdrag/missions	Har inte tillgång till DIS/HLA
Stöd för många typer av flygplan	
Bra integration med Varjo för både VR och MR	
Aktivt community	

2.3.4 VBS 3/4

VBS (Virtual Battlespace) 3 och 4, utvecklat av Bohemia Interactive, har testats i OpenFLSC. Spelen är väldigt stora och innehåller möjligheter att simulera markstrid, marin, flyg m.m. Det gör att det finns stora delar av spelet som inte är aktuella eller relevanta för en stridsflygsimulator. Det finns en rik tillgång till utvecklings-SDK, script och själva spelen. VBS utvecklingsmiljö är komplex och många avseenden begränsad samt det upplevs som att det är en hög tröskel för att komma in i dessa miljöer innan man kan jobba effektivt i den.

Fördelar	Nackdelar
Jas39 Gripen finns med vapen	Väldigt svårt att använda spelet
I VBS4 finns hela världen	Svårt att läsa och hitta i dokumentationen
Relativt bra grafik	Mycket onödigt som inte behövs för en flygsimulator
Många flygplan och andra system	
Tillgång till SDK och scripts	
HLA-integration	

Titel
Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022Memo nummer
FOI Memo 8036

2.3.5 Microsoft Flight Simulator 2020

Microsoft Flight Simulator 2020, utvecklat av Asobo Studio, har mest använts i syfte att demonstrera immersiv teknologi. MFS saknar helt kritiska delsystem för luftstrid såsom radarjaktvapen, sensorer och motmedel.

Fördelar	Nackdelar
Bra grafik	Är inte byggt för stridsflygsimuleringar
Tillgång till hela världen i bra upplösning	Går inte riktigt att modifiera till projektets behov
Integration med VR	
Lätt att starta	

2.3.6 FlightGear

FlightGear är ett projekt med öppen källkod vilket gör att det går att modifiera till det vi behöver det till.

Fördelar	Nackdelar
Öppen källkod	Dålig grafik
Finns ännu inte VR-support	Måste förmodligen bygga mycket själv

2.3.7 X-plane

X-plane, utvecklat av Laminar Research, har testats övergripande i VR.

Fördelar	Nackdelar
VR-support	Ej testat tillräckligt
Bra grafik	Stridsflyg inte största fokus
Mission planner	Oklart hur modifierbart spelet är
Hela världen finns	
HLA/DIS	

3 Erfarenheter kring lokaler och personal

OpenFLSC startades år 2019 som en öppen version av FLSC simulatorhall där forskning och studier kan bedrivas utan att påverka den dagliga driften och operativa verksamheten i FLSC. I OpenFLSC finns en portabel flygkabin, XR-utrustning och ett antal arbetsstationer. I och med uppbyggnaden av OpenFLSC har tillgången till en ohemlig simulatormiljö möjliggjorts, men en svårighet i sammanhanget är att studenter och forskare ofta är av icke-svensk nationalitet, vilket försvårar tillgången till FOI:s och FLSC:s lokaler. Ansträngningar krävs för att etablera ett mer öppet samarbete med universiteten. Rutiner och arbetssätt måste ses över så att handledare och studenter från till exempel institutionen för data- och systemvetenskap (DSV) vid Stockholms universitet (SU) kan besöka FLSC för att få inblick i den kontext och miljö som stridspiloter jobbar i, samt kunna arbeta i OpenFLSC vid behov. Den fysiska närheten till DSV/SU (lokaliserat i Kista) skulle kunna tala för ett utvecklat samarbete.

I dagsläget är det mycket infrastruktur som behöver komma på plats för att miljön ska vara effektiv att jobba i. Det krävs en dedikerad person som kan ansvara för driften av OpenFLSC samt agera sammanhållande för alla intressenter i de olika projekten som nyttjar utrymmet. På så sätt uppnås kontinuitet och samordning så att ett gemensamt arbetssätt införs. Ett förslag är att OpenFLSC omvandlas till ett anläggningsobjekt.

Titel
Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer
FOI Memo 8036

4 Omvärldsbevakning och kommunikation

Under 2022 har projektet redovisat verksamheten för uppdragsgivare inom Försvarsmakten, internt inom FOI samt externa samarbetspartners. Demonstrationsverksamhet i OpenFLSC har varit uppskattat då besökare erbjudits möjlighet att själva prova den XR-utrustning projektet använder. Projektet har även besökt andra verksamheter, bland annat Saab, för orientering av verksamhet inom området, samt för att dela erfarenheter kring XR-tekniker och dess användning.

- I oktober 2022 blev projektet inbjudet att resa till San Diego, USA, för att besöka NIWC PAC (Naval Information Warfare Center Pacific), som är ett forsknings- och utvecklingscentrum för kritiska system för informationskrigföring kopplat till US Navy. Projektet redovisade verksamheten inom XR samt fick besöka deras XR-center BEMR Lab (Battlespace Exploitation of Mixed Reality) där de använder till stor del kommersiella produkter för att skapa prototyper och XR-lösningar för framtida användning inom amerikanska marinen och flottan. De demonstrerade bland annat ett system för planering av miljön ombord på ett fartyg i VR-miljö, en prototyp där en artillerist bekämpar fienden med AR-headset med hjälp av sambandsoperatörens input via en läsplatta, samt en XR-lösning för underhållsträning (maintenance). Syftet med besöket var främst informationsutbyte inom området. Det diskuterades även framtida kontakter med andra delar av US Navy.
- Konferensen ICAS (International Council of the Aeronautical Sciences) är det största globala forumet för samverkan inom flygteknisk forskning och anordnades i Stockholm i september 2022, med ca 900 deltagare från 35 olika länder. FOI hade, tillsammans med FMV och Försvarsmakten, en monter på konferensen. Projektet deltog genom demonstration av flygsimulator med XR-utrustning, där besökarna fick prova på att flyga i Mixed Reality i en spelversion av det examensarbete som utförts inom projektet i år. Deltagandet var mycket uppskattat av besökare från universitet och högskolor såväl som anställda på Saab, Flygvapnet och FMV med flera.
- Den portabla flygkabinen inklusive XR-utrustning har även använts i rekryteringssammanhang på mässor och arbetsmarknadsdagar där FOI medverkat (bland annat ARMADA på KTH i november 2022, se Figur 3).
- Projektet har även kommunicerat resultat på FOI:s sociala medier. En kort film med beskrivande text från årets examensarbete togs fram och publicerades på FOI:s officiella LinkedIn-sida. Responserna var mycket positiv och har bidragit till spridning av projektets mål och verksamhet.



Figur 3. Demonstration under ICAS-mässan. Foto: ICAS 2022.

Titel
Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022Memo nummer
FOI Memo 8036

5 Diskussion och framtida arbete

De två examensarbetena presenterade ovan visar båda på fördelar med att använda Mixed Reality framför Virtual Reality i flygsimulering. Den subjektiva upplevelsen av *immersion* och *presence* rapporterades som mer positivt i MR jämfört med VR samt att precisionen vid interaktion med skärm ökade. Ergonomiska aspekter såsom negativ fysisk påverkan upplevdes i ett av exjobben (Dahlkvist, 2022) vara lågt. Slutsatser från detta är att Mixed Reality är något att arbeta vidare med i framtida studier, bland annat för att undersöka olika tekniker för maskering (eng. *masking*) och aspekter kring *field-of-view* samt olika spårningsmetoder för att optimera upplevelsen i XR. Hittills har projektet fokuserat mycket på studentarbeten och planering av kommande doktorandsamarbete. Framöver kommer mer resurser att läggas på att designa, förbereda och genomföra forskningsstudier på plats i OpenFLSC för att bygga vidare på resultaten från examensarbeten.

Projektet kommer även att utforska användning av XR vid debriefing, det vill säga att en instruktör eller operatör ska kunna använda XR-headset för att till exempel kunna återuppleva ett flygpass eller manipulera information kring bland annat prestation i 3D. Genom studier kring HMI och interaktionsmöjligheter kommer nya insikter fås kring möjligheterna med XR. Även mätmetodik såsom eye-tracking och psykofysiologiska mått kommer utforskas vidare, till exempel genom exjobb och/eller doktorandsamarbete.

Ett steg att utforska användning av XR i den operativa verksamheten i FLSC är att börja undersöka förutsättningarna för integrering av XR-headset i den operativa simulatormiljön. Det skulle dels kunna resultera i nya insikter till projektet om tekniska aspekter kring XR, men skulle även kunna resultera i att fler piloter enklare och snabbare får tillgång till, och möjlighet att testa, XR-system när de tränar i FLSC. På så sätt kan användardata samlas in mer kontinuerligt, genom till exempel enkla digitaliserade enkäter eller riktade intervjuer med piloter.

Samarbeten med universitet och högskolor kommer fortsatt vara viktigt för projektet, så även kontakter med industrin för utbyte av information. Även internationella samarbeten kommer att fokuseras på, särskilt US AFRL (US Air Force Research Lab) genom bilateralt informationsutbytesavtal.

6 Referenser

Aronsson, S., Ramberg, R., Woltjer, R., & Tourde, D. (2021). Immersiva lösningar för flygsimulatorer. Kartläggning av framtida studiebehov - Förslag på forskningsverksamhet, version 1.0. FOI-D-1102-SE, FOI, Stockholm.

Dahlkvist, R. (2022, pågående). An evaluative study on the impact of immersion and presence for flight simulators in different types of XR, Masteruppsats, KTH, Kungliga Tekniska Högskolan, Stockholm.

Harris, D. J., Bird, J. M., Smart, A. P., Wilson, M. R., & Vine, S. J.. (2020). A framework for the testing and validation of simulated environments in experimentation and training. *Frontiers in psychology*, 11: 605.

Mikropoulos T. A. (2006). Presence: a unique characteristic in educational virtual environments. *Virtual Reality*, 10(3-4), 197-206.

Milgram, P., Takemura, H., Utsumi, A., & Kishino, F. (1995). Augmented reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum. In *Telem manipulator and telepresence technologies* (Vol. 2351, pp. 282-292). Spie.

Slater M. (2009). Place illusion and plausibility can lead to realistic behaviour in immersive virtual environments. *Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences*. 364(1535): 3549-57.

Titel

Immersiva Lösningar för Flygsimulatorer - Statusuppdatering 2022

Memo nummer

FOI Memo 8036

Vygotsky, L. (1986). *Thought and Language*. MIT Press, Cambridge, Massachusetts.

Wang, Kexin (to be defended dec. 2022). Comparing MR/VR implementations in flight training simulation. Masteruppsats, Stockholms universitet, Institutionen för data- och systemvetenskap.

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

Förkortningar och centrala begrepp

Begrepp/Förkortning	Betydelse	Förklaring
AR	Augmented Reality	Förstärkt verklighet, de virtuella objekten läggs som ett lager ovanpå den riktiga omvärlden.
Eye-tracking		Spårning av ögonrörelser
HMD	Head-Mounted Display	Huvudburen display/bildskärm
HRV	Heart Rate Variability	Hjärtfrekvensvariabilitet
Immersion		Ett simulatorsystems tekniska förmåga att få användaren att uppleva en illusion av att befinna sig i den simulerade världen.
Mental workload		Mental arbetsbelastning
MR	Mixed Reality	Begrepp för att beskriva blandningen av AR, VR och den verkliga världen.
OpenFLSC		Ett öppet utrymme på FOI i Kista för forsknings- och studieverksamhet kring flyg- och luftstridsträning
Presence		Närvarokänsla
Simulator sickness	Simulatorsjuka	Negativt mående (t.ex. illamående) vid användning av simulatorer eller XR-headset.
Tränings effekt		Den förändring i förmåga och/eller kapacitet som träningen ger, alternativt den konsekvens som träningen får.
Träningsvärde		Det mervärde (ökade färdigheter, erfarenheter och/eller kunskap) en elev får av att delta i den aktuella träningen.
VR	Virtual Reality	Simulerad verklighet, ofta med användande av ett <i>headset</i> som ger en immersiv/omslutande miljö att interagera i.
XR	Extended Reality	Samlingsbegrepp för VR, AR och MR.