



Spel och media i virtuell verklighet med huvudmonterad display

Kim-Gustaf Ahrenberg

DEGREE THESIS	
Arcada	
Degree Programme:	Information and Mediatechnology
Identification number:	5656
Author:	Kim-Gustaf Ahrenberg
Title:	Games and media in virtual reality using head-mounted displays
Supervisor (Arcada):	
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>Virtual reality is getting relevant again. There is however a number of problems the technology had to, and has to face in order to make VR commercially viable in gaming and other media. This report focuses on the visual side of VR, various hardware limitations of head-mounted displays (HMD) will be investigated. Running real time 3D graphics with high framerate is tolling on the PC hardware rendering the images. Companies like Oculus and Valve tackle these problems differently and this report is comparing solutions and technologies. The focus will also be on what makes a good VR game, what genres could benefit or detriment from the technology. There are several ways to control the experience with various input methods, inputs and combinations of inputs will be explored. VR also has other uses than gaming, how other media like movies or similar interactive experiences will be consumed on HMD's will be explained. To give another perspective of VR the report also briefly explores uses in medicine, a field that has used the technology before commercial availability for treatment of PTSD and pain-relief.</p>	
Keywords:	HMD, VR, Oculus Rift, HTC Vive, Valve, motion-tracking, game-design, PTSD
Number of pages:	38
Language:	Swedish
Date of acceptance:	

EXAMENSARBETE	
Arcada	
Degree Programme:	Informations- och medieteknik
Identification number:	5656
Author:	Kim-Gustaf Ahrenberg
Title:	Spel och media i virtuell verklighet med huvudmonterad display
Supervisor (Arcada):	
Commissioned by:	
<p>Abstract:</p> <p>Virtuell verklighet håller på att stiga i popularitet och denna rapport ger en inblick i dagens VR teknologi. Det finns hinder som har överkommit för att göra teknologin kommersiell och tekniska lösningar bakom detta kommer att undersökas. Första generationen av produkterna är sällan perfekt och brister på produkterna kommer att tas fram samt möjliga lösningar. Företagen Oculus, Valve och HTC har hämtat på marknaden två produkter som liknar varandra men har skiljande teknologier och lösningar som kommer att jämföras. Ett stort fokus för VR är spel och olika typer av spel gjorda för VR kommer att undersökas. Vad gör ett bra VR spel och hurdana spel kan dra fördel av teknologin och finns det spel som inte fungerar med VR. Olika sätt att samspela med VR spel kommer att behandlas, exempel kommer att presenteras och analyseras för att förstå varför de fungerar eller inte fungerar. Också övrig media i VR kommer att behandlas som filmer eller interaktiva upplevelser som ligger mella film och spel. För att ge ett annat perspektiv av teknologin kommer dess användning inom medicin att undersökas. Medan teknologin är ny för konsumenten har VR använts för vård av PTSD och lindring av smärta under ingrepp.</p>	
Keywords:	HMD, VR, Oculus Rift, HTC Vive, Valve, motion-tracking, game-design, PTSD
Number of pages:	38
Language:	Svenska
Date of acceptance:	

INNEHÅLL

1	Introduktion	7
1.1	Syfte	7
1.2	Metodik	8
1.3	Avgränsning	9
2	Hårdvara	10
2.1	Optik och Display	11
2.1.1	Artefakter och bildkvalitet	12
2.1.2	Möjliga förbättringar	13
2.2	Spårning	13
2.2.1	Hand-spårning	14
2.2.2	Ögon-spårning	14
2.2.3	Constellation: Oculus spårningssystem	14
2.2.4	Lighthouse: Valves spårningssystem	14
2.3	Audio	15
2.4	Jämförelse mellan Rift och Vive	15
2.4.1	Oculus	17
2.4.2	Vive	17
3	Prestanda	18
3.1	Resolution och VR	18
3.2	Steam statistik	19
3.3	SteamVR prestandatest	19
3.4	Skräddarsytt Prestandatest: 'Elite: Dangerous'	21
4	Virtuella världar	23
4.1	Interaktivitet	23
4.1.1	Budget Cuts	24
4.1.2	Luckey's Tale	24
4.2	Användargränssnitt	25
4.2.1	Exempel 1: 'Elite: Dangerous'	25
4.2.2	Exempel 2: 'Google Tiltbrush'	26
4.3	Leap Motion som metod av interaktion	27
4.4	Story Studio	29
4.4.1	Teknik	29
5	Hälsa	30
5.1	Posttraumatiskt stressyndrom	30

5.2	Snow World	31
6	Slutsatser och diskussion.....	31
7	Referenser.....	Fel! Bokmärket är inte definierat.

FIGURER

Figur 1: Justering av distans mellan ögonen och optik, HTC Vive. (Valve Corporation)	10
Figur 2: Tunntformig distorsion (väs.) och kuddformig distorsion (starizona).....	11
Figur 3: Screen-door effekten, Oculus DK1 och DK2 (Popa, 2014).	12
Figur 4: Vänster till höger: Bilinear-filtering, Bicubic resampling och in-camera corection. (Pohl, 2013)	13
Figur 5: Resultat av SteamVR:s prestandatest, innehåller minimal teknisk information.	20
Figur 6: Grafikskillnader mellan förinställningar.....	22
Figur 7: Lucky's Tale visualisering av spelarens synfält (Shanklin, 2016).....	24
Figur 8: Elite: Dangerous cockpit, spelarens normala synfält är innanför röda sträcken (2560x1440 & 55 FOV)	26
Figur 9: Googe Tiltbrush UI (Node, 2015)	26
Figur 10: Leap motion fastsätt på HTC Vive (Leap Motion, 2016).....	27
Figur 11: Optimala arbetsområdet av Leap kombinerat med Oculus DK2 (Alger, 2015b)	28

1 INTRODUKTION

När Oculus samlade en massa intresse för virtuell verklighet med sin kickstarter-kampanj var jag själv inte väldigt insatt i ämnet. Efter att DK1 (Development Kit 1) skickades ut till utvecklare och understödjare råkade jag på enheten i en elektronikaffär på Busholmen. I utrymmet fanns en dator och en Huvudmonterad display (HMD) som liknade en skidmask, när min tur kom att prova bad personalen mig att sitta på en stol och lägga på HMD:n. Demonstrationen utspelades i en berg- och dalbana var jag klättrade sakta upp mot toppen i en vagn, när jag såg omkring mig märkte jag den låga resolutionen men när vagnen började åka neråt med otrolig fart skiftade min koncentration fort till att hålla fast i stolen. Efter upplevelsen var jag säker på två saker: VR har en lysande framtid och att medan upplevelsen demonstrerade hur effektivt VR kan ta dig till en annan värld, var det inte en trevlig VR upplevelse. Ett år senare prövade jag en ny version av HMD:n med ett annat spel, i spelet satt jag i en hytt i ett rymdskepp och kunde styra farkosten och attackera fiender. Denna upplevelse var strålande, mina händer vilade på en HOTAS (Joystick och accelerator) och alla mina kommandon överfördes till spelet utan märkbar latens och med precision. Varför var spelet bekvämare än berg- och dalbanan hör till frågorna som kommer att besvaras i detta verk.

1.1 Syfte

Arbetets syfte är att introducera hårdvaran som krävs samt olika teknologier som gör VR med hjälp av en HMD möjlig och tillgänglig för konsumenter. Arbetet kommer att fokusera på produkterna från HTC och Oculus (HTC Vive, Oculus Rift). Medan Vive är tillverkad av HTC är produkten gjord i samarbete med Valve och spårningssystemet är utvecklat av Valve. Produkterna kommer att undersökas tekniskt och jämföras. Fokus ligger också på design av spel och upplevelser. Jag kommer utreda vad som krävs för att köra en VR setup, vad krävs av spelutvecklarna för att göra bra spel och vilken hårdvara konsumenten behöver för att spela VR spel.

Det finns mycket teknologier som har skapat nya möjligheter inom VR. Det finns olika sätt att samspele med en Virtuell värld och medan Oculus och Valve har liknande teknologi fokuserar de på olika saker. Andra företag som FOVE och Leap har hämtat nya

sätt av interaktion till VR och deras möjliga effekt på spel kommer att behandlas. Exempel av spel kommer också att visas med diverse lösningar och brister.

Utanför Valves spårningssystem använder produkterna väldigt lite ny hårdvara. När Palmer Luckey byggde första prototypen av Oculus var alla komponenter redan tillgängliga. Orsaken bakom uppståndelsen av VR är inte nya teknologigenombrott utan en enkel metod att rendera bilder på telefonskärmar som kombineras med billig optik. Teknologin har inte bara gjort tillverkning av HMD:n billigare utan också förbättrat kvalitén. Hur detta har uppnåtts och kvarstående problem kommer att undersökas.

Hälsoaspekten behandlar virtuella miljöer för att behandla PTSD och lindring av smärta under medicinska angrepp, dessa metoder har blivit använda före VR blev tillgängligt i stor volym. Tanken är att ge läsaren en uppfattning av vad som kan göras med VR utanför underhållning.

1.2 Metodik

För att samla information om hur teknologin bakom VR fungerar kommer tidskrifter, intervjuer och utvecklar-konferenser att användas. Också tredje parters undersökningar kommer att presenteras om rendering på en HMD.

Oculus har en mycket bra dokumentation om hur spel bör göras för att minimera illamående men åsikter av spelutvecklare som har experimenterat i VR tas också starkt i beaktan.

För att undersöka kostnaden av en PC som kan köra VR kommer pris av produkter att presenteras och hur mycket det kostar att köpa en VR headset och dator som klarar av VR. Valve har ett eget prestandatest som berättar för användaren om datorn är tillräckligt kraftig men jag kommer också att utföra egna prestandatest med en dator som ligger nära rekommenderade specifikationer givna av HMD-tillverkarna. Tanken är att simulera en VR setup med hjälp av TrackIR och ett spel som är kompatibelt med VR.

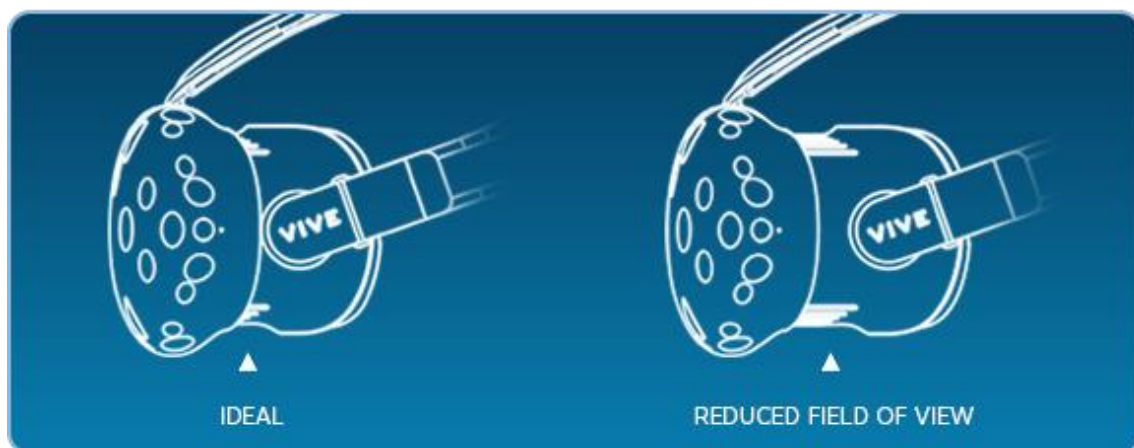
1.3 Avgränsning

Detta arbete kommer att huvudsakligen behandla den visuella sidan av VR och hur spel och media visas på enheterna av Oculus och HTC. Displayteknologin kommer att behandlas samt renderingsmetoderna för att uppnå en acceptabel FOV (bredd på synfält). Det finns olika produkter som tillåter användaren att samspeka med en virtuell värld men endast de mest relevanta för konsumenten kommer att tas upp. Detta arbete kommer inte heller att vara en inblick i historien av VR utan fokuserar på vad vi har på marknaden nu eller kommer att lanseras inom 2016. Medan det redan finns förslag om hur en virtuell arbetsmiljö kan skapas kommer endast metoder som kan överföras till spel och media att vara i fokus.

2 HÅRDVARA

Huvudmonterade VR headsets består av optik och skärmar, de jobbar tillsammans för att ge en realistisk upplevelse för användaren. Produkterna liknar skidglasögon men har framför synfältet en eller två skärmar samt optik för att sprida ut bilden framför användarens ögon. Det renderas skilda bilder för vänster och höger öga för att skapa en 3d effekt.

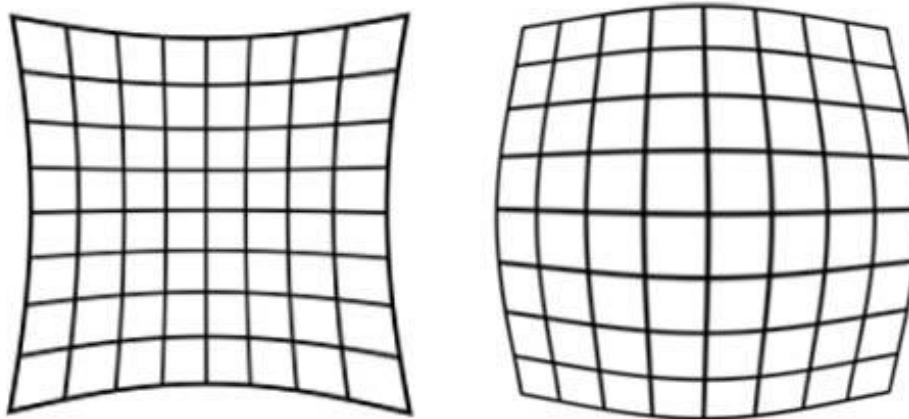
För att anpassa en HMD för användare med skiljande distanser mellan pupillerna har både Rift och Vive möjlighet att justera IPD. Oculus konsumentvariant har rum för de flesta modeller av glasögon utan justeringsmöjligheter medan HTC Vive låter användaren ställa distansen från ansiktet och linsen med beaktning av synfältet för att passa olika glasögon. (Lang, 2015)(Valve, 2016)



Figur 1: Justering av distans mellan ögonen och optik, HTC Vive. (Valve Corporation, 2016)

2.1 Optik och Display

För att hålla produkten liten och lätt har dagens HMD:n använt sig av en kombination av rendering och optik. För att fylla synfältet måste optik användas för att sträcka ut bilden. När bilden sträcks ut uppstår s.k. tunnformig distorsion som kan tas ut med att rendera bilden på skärmen med kuddformig förvrängning. Denna metod utesluter behovet av mer optik medan den också tillåter användning av mindre skärmar som i sin tur minskar storleken på HMD:n. Eftersom bilden sträcks ut måste datorn rendera mer pixlar är skärmens resolution för att uppnå acceptabel kvalitet, med HTC Vive rekommenderas 1,4 gånger mer pixlar än skärmarnas resolution och Rift renderar en motsvarande mängd (Oculus, 2015c) (Vlachos, 2015). (Clark, 2014)



Figur 2: Tunnformig distorsion (väs.) och kuddformig distorsion (starizona, 2014)

En stor orsak till relativt billiga uppkommande konsumentversioner är att små skärmar har ökat i volym och sjunkit i pris med den ökade populariteten av smarttelefoner. Optiken är simpel och Palmer Luckeys metod att rendera kuddformig distorsion minskade mängden nödvändig optik som leder till mindre vikt och pris. (Clark, 2014)(Pohl, m.fl. 2013)

2.1.1 Artefakter och bildkvalitet

Lösningen för att minska vikt och kostnad av HMD:n är dock inte utan problem. När bilden på skärmen sträcks ut förstoras pixlarna och behovet av en hög upplösning ökar, om optiken sträcker ut bilden mycket på en låg upplösning kan användaren se svarta linjer mellan pixlarna, detta kallas har kallats för screen-door effekten på Rift. Oculus Rift och HTC Vive har nu en resolution på 2160x1200 över två paneler men fortfarande uppstår effekten, på tidigare utvecklar-versioner av Rift var effekten mer märkbar. (Pohl, m.fl. 2013)

På HTC Vive uppstår effekten på ett annorlunda sätt, Valve beskriver effekten som en linneliknande effekt där intilliggande pixlar har en varierande grad av ljusstyrka. På konsumentversionen gjordes en s.k. mura korrigering för att minska effekten. (Lang, 2016b)



Figur 3: Screen-door effekten, Oculus DK1 och DK2 (Popa, 2014).

2.1.2 Möjliga förbättringar

Intel har föreslagit olika metoder för att förbättra kvaliteten på slutliga bilden. Att rendera bilden på skärmen med kuddformad förvrängning med efterhandsrendering leder till oskarp bild. Intel har föreslagit två nya renderingsmetoder som ökar kvaliteten men på samma gång kräver mer kraft av hårdvaran. För tillfället används efterhandsrendering för att ge bilden en kuddformad effekt med hjälp av bilineär filtrering. Lättaste sättet att förbättra kvaliteten vore att använda s.k. bikubisk textursökning som vore möjligt att implementera med att koda en ny shader men fortfarande använda OpenGL eller DirectX. Intel har en annan metod som skulle öka kvaliteten vidare utan att använda efterhandsrendering, objektrymdskorrektion bjuder på bra kvalitet men högre prestandakrav, dessutom kan inte API:n som DirectX eller OpenGL användas för att sköta om grafikaccelerationen. Ett till sätt att öka bildkvaliteten är s.k. översampling där bilden renderas i en högre resolution än skärmen men detta kräver mycket av grafikprocessorn, översampling används redan lite i produkterna av Oculus och Vive (kap. 3.1). (Pohl, m.fl. 2013)



Figur 4: Vänster till höger: Bilinear-filtrering, Bicubic resampling och in-camera corection. (Pohl, 2013)

2.2 Spårning

Både Rift och Vive har spårning för att spåra huvudet och möjligtvis vad görs med händerna. Medan tidiga versioner av Rift spårade användaren i relation till senaste position med gyroskop används nu tre dimensionell spårning med hjälp av basstationer av båda företagen. Orsaken varför mer än en basstation används är för att minska ocklusion som kan uppstå ifall användaren täcker sensorer men handkontrollers eller annat.

2.2.1 Handspårning

För spårning av händer använder både HTC och Oculus kontrollers som har liknande funktionalitet som Wiimotes av Nintendo men spåras med hjälp av mer avancerade sensorer som beskrivs närmare i kap. 2.2.3 och 2.2.4. Handspårning är inte nödvändigt för alla spel och Rift lanserar sin produkt först andra halvan av 2016 medan HTC Vive lanserades med kontrollerna.

2.2.2 Ögonspårning

För tillfället används inte ögonspårning i Vive eller Rift för att spåra var användaren ser och det är inte en prioritet för Valve och HTC för tillfället eftersom människan ser sällan omkring sig utan att vända på huvudet (Faliszek, 2015). Oculus har uttryckt intresse om att hämta funktionaliteten med nästa generation och FOVE lanserade en lyckad kickstarter-kampanj av sin HMD med inbyggd ögonspårning. (Mason, 2015)

2.2.3 Constellation: Oculus spårningssystem

Oculus använder en eller fler kameror som är kopplade till datorn för att spåra användaren. HMD:n och kontrollerna emitterar infrarött ljus med hjälp av flera LED-ljus som kameran ser och använder för att räkna ut användarens position samt var händerna rör sig ifall kontroller används. (Feltham, 2015) En tidigare produkt på marknaden som spårar användaren på motsvarande sätt är TrackIR.

2.2.4 Lighthouse: Valves spårningssystem

Lighthouse fungerar annorlunda från de flesta spårningssystemen på marknaden. Teknologin består av en eller fler basstationer som fyller rummet med horisontala och vertikala laserstrålar. När laserstrålarna träffar fotosensorer på HMD:n och handkontrollerna determineras användarens position beroende på vilka sensorer träffas och i vilken vinkel. Basstationerna behöver endast ström och de synkroniserar sig med varandra med hjälp av ljus eller en kabel, systemet kan spåra ett utrymme på 5 m² utan att introducera märkbar latens. Användaren kan lära systemet rummets storlek för att få varningar när en vägg

närmas. HMD har ytterligare en kamera som kommer att användas för varning av oväntade hinder samt för att se omgivningen utan att ta bort enheten. (Spoonauer, 2015)(Tested, 2015)

2.3 Audio

Medan människan kan determinera källan av ett ljud med på olika sätt som volym, fördröjning mellan ljudets startpunkt, eko och ändringar i frekvensen över distanser är fasskilnaden det den mest påverkande faktorn. När ljudets källa räknas ut i en virtuell miljö är det krävande att räkna med alla faktorer och modellen måste förenklas. När vi ser en virtuell värld omkring oss ställer det högre krav på ljudets lokalisering, om vi vänder på vårt huvud förväntar vi att höra ljudet på ett annat sätt. Eftersom HMD:n spårar var vi ser kan informationen användas för att ändra på ljudet enligt huvudets position.

Vårt huvud och axlar påverkar hur ljudet når våra öron, för att få reda på hur människan hör ljud från olika vinklar kan en person sättas i en eko-fri kammare med mikrofoner utanför öron-kanalen och spela ljud från olika vinklar. Alla har en annorlunda kropp men mätningen (HRTF) ger resultat som är tillräckligt kompatibla med andra personer för att ge en realistisk modell. Förutom att använda en HRTF modell kan också reflektioner i rummet kalkyleras enligt virtuella utrymmets geometri, detta ställer höga krav på renderingsmaskinen och därför används en förenklad modell som alltid utgår ifrån att rummet är en rektangel. (Oculus 2016c)

2.4 Jämförelse mellan Rift och Vive

Tekniska specifikationerna mellan produkterna är mycket lika och medan de erbjuder liknande funktionalitet fokuserar produkterna på olika områden. Eftersom displaytekniken är likadan i produkterna är optiken sannolikt orsaken till skiljande artefakter (se kap. 2.1.1).

Tabell 1.: Rift och Vive specifikationer. (Digitaltrends, 2016)

	Oculus Rift	HTC Vive
<i>Display</i>	OLED 2160x1200	OLED 2160x1200
<i>Plattform</i>	Oculus Home	SteamVR
<i>FOV</i>	110	110
<i>Area som kan spåras</i>	1,5*3,5m	5*5m
<i>Inbyggd audio o. mikrofon</i>	Ja	Ja
<i>Systemkrav (minimi)</i>	<ul style="list-style-type: none"> - Nvidia GTX 970/AMD Radeon 290 eller motsvarande - Intel i5 4590 eller motsvarande - 8GB RAM - 2*USB 3.0 portar 	<ul style="list-style-type: none"> - Nvidia GTX 970/AMD Radeon 290 eller motsvarande - Intel i5 4590 eller motsvarande - 4GB RAM - En USB 2.0 port
<i>Pris (€) + VAT</i>	699	899
<i>Pris (€) på datordelar från verkkokauppa.com som uppfyller kraven (utan kringutrustning)</i>	900	900
<i>Summa* (€)</i>	1599	1799

Resolutionen som beskrivs ovan som 2160x1200 är resolutionen som visas över två skärmar, i båda produkternas fall ser ögat en 1080x1200 panel. Det är också värt att notera att FOV är väldigt svårt att mäta samt beror på justeringar som görs användarvis (se Figur 3).

*För att få liknande funktionalitet till Rift som Vive måste Oculus Touch och en till kamera köpas som inte är lanserade. HTC Vive och Oculus har integrerad audio men Vive kommer med typiska öronsnäckor medan Oculus har inbyggda hörlurar.

2.4.1 Oculus

Oculus konsumentversion inkluderar en kamera, xbox one kontroller och HMD:n. Oculus touch, som är deras egna kontroller som spårar användarens händer lanseras senare. Oculus är fokuserad att leverera en sittande upplevelse med lanseringen av produkten. Funktionaliteten kan senare ökas med fler kameror och Oculus Touch som tillåter spårning av händerna, för tillfället är Touch en prototyp men lanseras i andra halvan av 2016 (Oculus VR, 2016e). Oculus VD Brendan Iribe motiverar användningen av kameror med att i framtiden när spårning av hela kroppen är aktuell kommer kameror att användas. (Shanklin, 2015).

2.4.2 Vive

Vive inkluderar två lighthouse basstationer, två handkontroller och HMD:n (HTC, 2015). Enheten har en kamera som användaren kan aktivera för att se omkring sig utan att hoppa ur virtuella värden, kameran är också öppen för utvecklare (Lang, 2016b). Vive är mer fokuserad på att leverera stående och utrymmes-upplevelser, eftersom två basstationer levereras minskar mängden ocklusion av användaren. Vive är tillverkad av HTC i partnerskap med Valve och kommer att använda SteamVR som en plattform för produkten på PC.

3 PRESTANDA

Prestanda är ett viktigt ämne inom VR. Sättet som bilder på en HMD renderas ställer stora krav på hårdvaran. Eftersom en bild inte räcker för att skapa en tre dimensionell omgivning måste en scen renderas för båda ögonen ofta med hjälp av två paneler. Medan panelernas resolution inte är särskilt hög så överskrider kraven av deras kombinerade renderings-resolution en 4K resolution vid 30 Hz.

3.1 Resolution och VR

På HTC Vive rekommenderas en 1,4 gånger högre renderings-resolution än skärmens nativa resolution, detta blir en resolution på 1512x1680 per öga, dessutom är det som mål att nå 90 Hz. För svagare grafikkort kan renderings-resolutionen sänkas för att uppehålla 90 bilder per sekund (FPS) på bekostnad av kvalitet. (Vlachos, 2015)

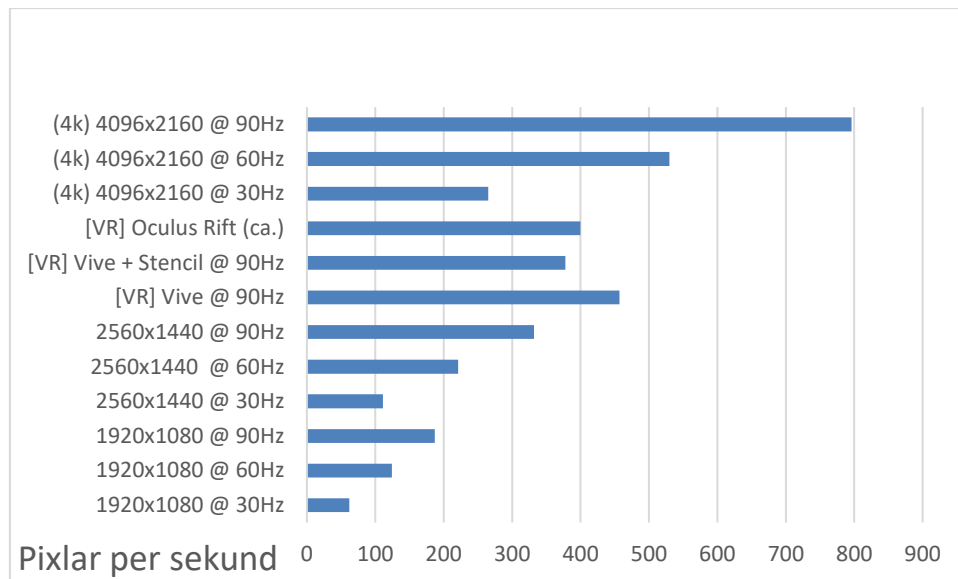
Med enkel multiplikation kan man räkna hur många pixlar renderas per sekund med olika resolutioner och uppdateringsfrekvenser.

HTC Vive @ 90Hz: $1512 * 1680 * 2 * 90 = 457228800$ (~457 miljoner pixlar/sekund)

Valve inkluderar ett sätt att spara på pixlar i sin API som de kallar för stencil mesh. Med hjälp av optimeringen kan mängden pixlar som renderas minska till 378 miljoner pixlar/s med att inte rendera pixlar utanför synfältet. (Vlachos, 2015)

Oculus går inte lika djupt i att förklara exakt hur deras rendering sköts men de nämner att Rift renderar ca. 400 miljoner pixlar/sekund och skärmarna har samma resolution och uppdateringsfrekvens som Vive (Tabell 1). (Oculus VR, 2015c)

För att ge perspektiv på systemkraven kan typiska resolutioners systemkrav jämföras med VR.



Figur 5: Pixlar per sekund som måste renderas för diverse resolutioner för att matcha olika uppdateringsfrekvenser.

3.2 Steam statistik

Av Steam användare har 35,73% en skärm på 1920x1080 och 4,39% har GTX 970 som grafikkort, nästa grafikkort av Nvidia på listan som är nära att uppfylla VR rekommendationer är GTX 960 (2,82%) första kortet i Nvidias serie i som är bättre än GTX 970 är GTX 980 som ligger på 0,92%. För AMD:s grafikkort finns inte specifika modeller utlistade men R9 200 serien har en 1,42% andel men endast 2/8 kort i serien uppfyller kraven (Valve, 2016c).

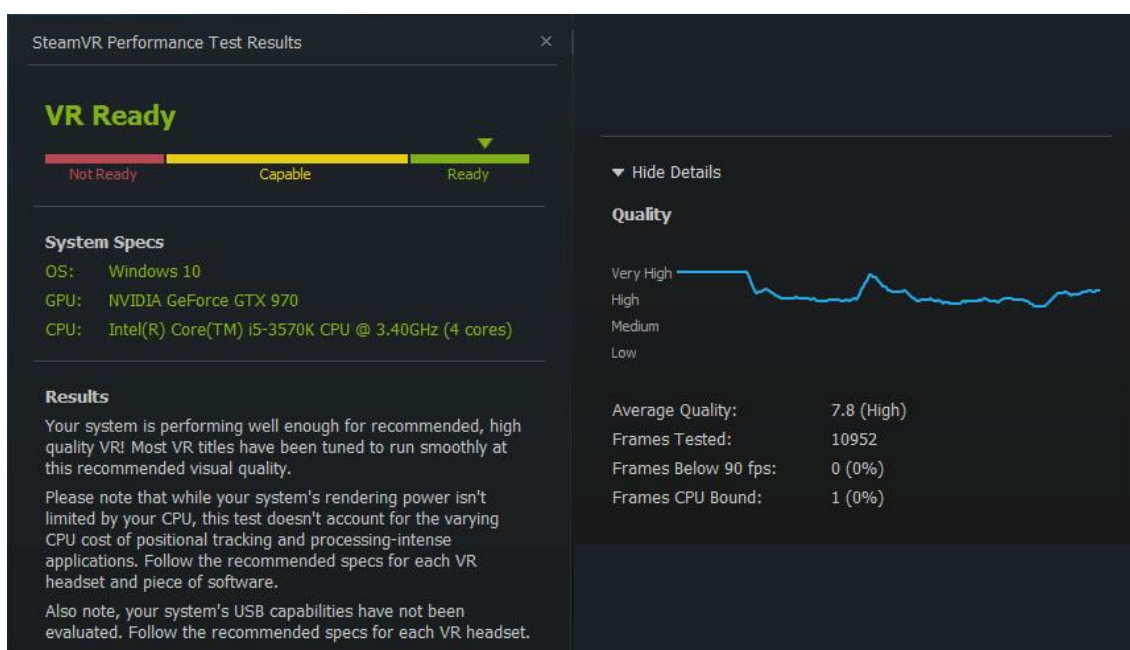
3.3 SteamVR prestandatest

Valve har ett enkelt prestandatest som går att ladda ner från Steam, detta test simulerar krav som ställs på användarens dator av VR och poängsätter användarens hårdvara och ger rekommendationer. En brist som testet har är att ingen spårning används som i riktiga applikationer skulle lägga extra press på processorn. Som exempel körde jag ett test med en dator som motsvarar rekommenderade specifikationerna. Processorn är överklockad för att nå liknande prestanda som nyare generationen och grafikkortet är väldigt lätt överklockat (155Mhz) som inte spelar en stor roll, dessutom varierar klockfrekvensen på GTX 970 enligt tillverkare.

Tabell 2: Test-pc Specifikationer

Processor:	Intel Core i5-3570k @ 4,6 GHz (fabrik: 3,4GHz)
Moderkort:	Asus Maximus V Gene
Grafikkort:	Nvidia GTX 970 (MSI 970 Gaming) @ 1400 MHz
Hårdskiva:	2*Seagate ST2000DM001 2TB (Raid 1)
Spårning:	TrackIR 5, programversion 5.4.1 med TrackClip
Resolution:	2560x1440

Testen påpekar att huvud och handspårningen inte tas i beaktan som i riktiga fall kan påverka processorn. För att närmare simulera en VR applikation visas en simulering i nästa kapitel.



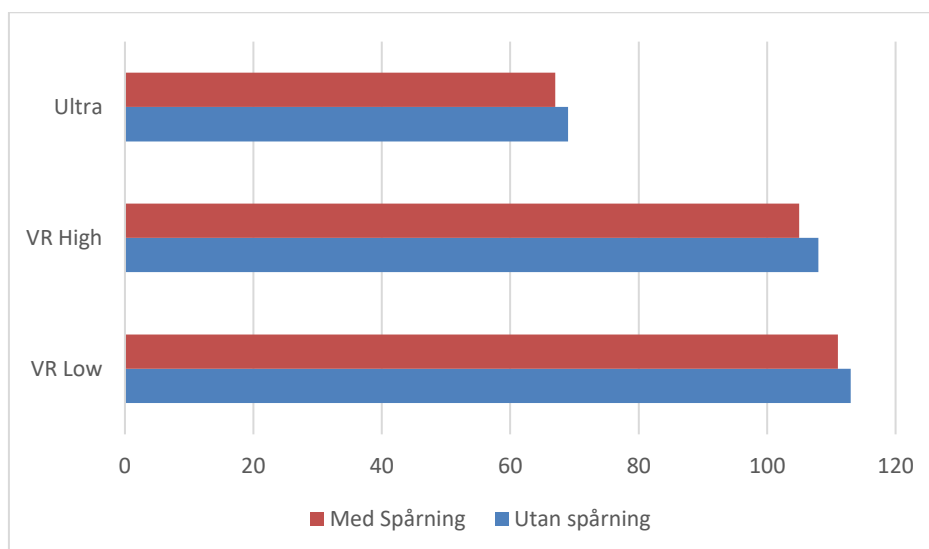
Figur 6: Resultat av SteamVR:s prestandatest, innehåller minimal teknisk information.

3.4 Skräddarsytt Prestandatest: 'Elite: Dangerous'

För att simulera systemkrav av en HMD används TrackIR för att spåra spelarens huvud i ett spelscenario. TrackIR använder en infraröd kamera för spårning och kan jämföras med Oculus spårningsmetod. Mjukvara som används för att spara prestandainformation är FRAPS. Här presenteras resultat som använder olika förinställningar som spelet erbjuder och jämförelse av prestanda med huvudspårning och utan för att demonstrera skillnaden.

Scenariot är en lektion i spelet "Elite: Dangerous" som tränar spelaren att landa på en rymdstation, landningen sker alltid på plattformen längst borta från ingången. När huvudspårning används ser spelaren omkring sig utanför och innanför stationen åt alla möjliga håll en gång, utan huvudspårning ser spelaren alltid rakt fram. Medan testet innehåller vanligaste scenariot i spelet var en station renderas ut- och inifrån samt en planet kan mer krävande situationer uppkomma.

För att resolutionen av testmaskinen skulle motsvara mängden pixlar en HMD måste rendera ökar vi minimala kraven för FPS till 105, medeltal och högsta FPS spelar ingen roll eftersom en HMD är låst till skärmens uppfrysningfrekvens (90 Hz på Vive och Rift).



Figur 7: Elite: Dangerous prestandatest resultat

Med högsta förinställningen ligger FPS med spårning omkring 60 som är acceptabelt på en monitor. Spelet hade färdiga inställningar för VR och med VR High förinställningen

låg lägsta FPS vid 105 som är på gränsen av våra krav, VR Low gick aldrig under 111 FPS. Medan resultaten tyder på att spelet kommer att fungera med hårdvaran i testen så har Frontier developments högre rekommenderade krav för spelet, nämligen GTX 980 och Intel i7-3770K. Kortet i testen uppfyller dock minimikraven (Martindale, 2015).



Figur 8: Grafikskillnader mellan förinställningar.

4 VIRTUELLA VÄRLDAR

Ett stort fokus för Oculus och Valve är spel, Oculus började sin kickstarterkampanj med sloganen: 'Step into the game' och Valve har alltid varit ett företag fokuserat på spel och deras distribueringsprogram Steam har över 10 miljoner samtidiga användare dagligen (Valve 2016b). Efter Facebooks uppköp av Oculus har vidare planer för sociala upplevelser avslöjats och Oculus har också en filmstudio (Zuckerberg, 2014).

Valve och Oculus har fått mycket feedback av spelutvecklare, båda företagen har ordnat tillfällen där utvecklare har möjlighet att testa olika metoder att skapa virtuella upplevelser. Under dessa tillfällen har det kommit fram olika observationer om hur ett spel för VR kan utvecklas. VR ändrar hur utvecklare designar spel eftersom lösningar som fungerat på en skärm inte nödvändigtvis fungerar med en HMD. Hårdvaran som är tillgänglig för utvecklare nu är tillräcklig för att leverera trovärdiga VR upplevelser. Ansvaret ligger nu på spelutvecklare. (Faliszek, 2015)(Reynolds, 2015)

4.1 Interaktivitet

När spelaren spåras i 1:1 skala känns VR väldigt verkligt och användaren finner det ofta lättare att vänja sig med hur spelet fungerar eftersom det känns som de vore där och deras handlingar översätts direkt till spelet. När en spelare är så fördjupad i en spelvärld är det viktigt att inte orsaka orealistiska rörelser som inte överförs till verkligheten.

Exempel på saker som är obekväma i VR kan vara kollision med väggar i virtuella värden när det inte finns en vägg i verkligheten. I stort sätt försöker användare undvika kollision i spel eftersom det känns som ett verkligt hinder, ifall misstag händer kan spelare tillåtas att sätta huvudet genom väggen men bara se svart för att undvika dissonans. Det känns också fel ifall spelaren upplever höjdskillnader i virtuella miljön. En bra regel är att omgivningen kan reagera på spelaren, men omgivningen får inte påverka spelaren. Spel som bryter mot denna regel kan lätt orsaka rörelsesjuka. (Alger, 2015)

4.1.1 Budget Cuts

Budget cuts är ett spel var användaren skall smyga i ett kontor för att komma åt ett dokument. Spelet kräver att användaren rör sig i ett stort virtuellt utrymme och stöder endast Vive för tillfället. Med hjälp av spårning i ett utrymme kan spelaren göra begränsade rörelser i med att gå, för att täcka längre distanser implementerades ett teleporteringssystem. För att påbörja teleporteringen skjuter spelaren ett vapen på önskat ställe, spelaren presenteras med ett fönster framför sig var hen kan se en förhandsgranskning av omgivningen spelaren kommer att förflyttas till. När spelaren bestämt att förflyttningen skall ske växer fönstret tills nya omgivningen har omringat spelaren. (Tested, 2016)

4.1.2 Luckey's Tale

Efter att spelstudion Playful Corp. hade gjort demon av olika typers spel blev de överraskade av vad som fungerar i VR. Till skillnad från första persons upplevelser är Lucky's tale ett tredje persons plattformsspel, spelet är enbart för oculus och använder xbox-spelkontrollern. Spelet använder en liknande kameravinkel som Super Mario 64. Eftersom kameran (HMD) måste följa efter karaktären bryter spelet mot Oculus bästa praxis som lyder att acceleration skall initieras av spelaren (Oculus VR, 2016f). För att minska illamående är kameran längre ifrån karaktären, då behöver inte kameran göra snabba rörelser. Andra faktorer som hjälper mot illamående är att spelaren har en punkt att fokusera på, karaktären. (Shanklin, 2016)



Figur 9: Lucky's Tale visualisering av spelarens synfält (Shanklin, 2016)

4.2 Användargränssnitt

I traditionella spel ligger informationen vid kanterna av skärmen men eftersom en HMD måste förvränga bilden leder det oskärpa nära kanterna (Atomhawk Design, 2015). För att göra övergången till VR smärtfri bör användargränssnittet och interaktionssättet vara så naturligt som möjligt, alla vet hur en datormus och tangentbord används men hur kan vi göra samma saker i VR när vi inte ser hårdvaran framför oss? Nedan visas exempel av olika spel och hur de har planerat användargränssnittet och vad som är fortfarande ett problem.

4.2.1 Exempel 1: 'Elite: Dangerous'

Spelet är utvecklat av Frontier developments och är planerat för att fungera bra med VR (Frontier, 2016). Spelet lider inte av möjliga problem som kan orsakas av att fysiskt röra på sig eftersom spelaren sitter stilla och opererar ett rymdskepp. För att styra skeppet använder spelaren inte rörelsekontroller utan vanliga och lätt tillgängliga former av inmatning som Tangentbord, mus, handkontroll (xbox kontroller) eller joystick. Eftersom spelaren sitter i virtuella och riktiga miljön är det lättare att skapa en trovärdig upplevelse. Användargränssnittet reagerar på var du ser, det finns olika menyer omkring hytten som kommer fram när spelaren ser på dem men är inte i vägen när spelaren fokuserar framåt, en del menyer är utanför spelarens synfält för att se dem måste spelaren vända på huvudet. Scenariot kan jämföras med en bil, eftersom vi kan vända på huvudet måste inte alla instrument vara framför oss.

Elite är ett multiplayer-spel och det är möjligt att kommunicera med andra spelare med mikrofon eller text, ett problem vi stöter på här är att alla inte kan skriva utan att se på tangentbordet och ifall tangentbordet används för att styra skeppet blir problemet större. Med en HOTAS kan användaren vila händerna på kontrollerna utan att se men med en Xbox kontroller måste tangentbordet användas för komplicerade funktioner där knapparna på kontrollerna inte räcker till.



Figur 10: Elite: Dangerous cockpit, spelarens normala synfält är innanför röda sträcken (2560x1440 & 55 FOV)

4.2.2 Exempel 2: 'Google Tiltbrush'

Tiltbrush är ett program av Google som är planerat med spårade handkontroller i åtanke. Användaren kan spåras i ett utrymme och med hjälp av kontrollerna kan spelaren måla tre-dimensionellt. Här används en kontroll som pensel och den andra som en digital palett med menyfunktioner som omringar den, för att avslöja mer funktioner på paletten kan användaren vända på sin hand. (Node, 2015) Tidigare nämnda Budget cuts är ett annat spel som använder en GUI som fungerar på liknande sätt.



Figur 11: Google Tiltbrush UI (Node, 2015)

4.3 Leap Motion som metod av interaktion

Leap motion är en 3D sensor som som kan spåra användarens hand-rörelse. Enheten kostar 69 € (Leap Motion, 2016). Teknologin kan jämföras med Microsofts Kinect med skillnaden att Kinect kan spåra med 1,5 cm noggrannhet medan Leap klarar av noggrannhet under 1 mm. (Weichert m.fl., 2013)

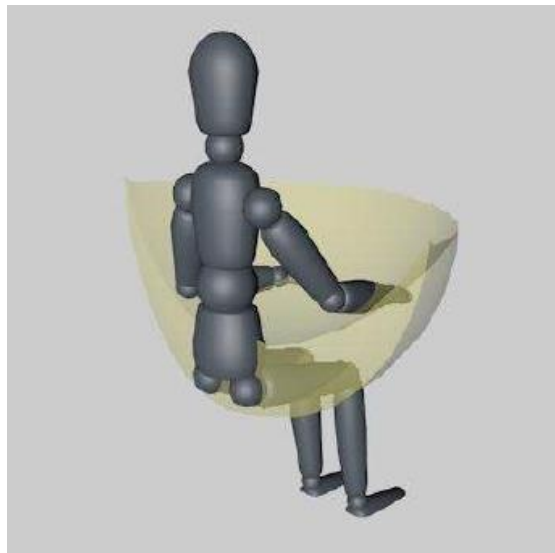
Leap Motion har designat ett sätt att använda enheten med en HMD så att användaren kan spåra sina händer i en virtuell miljö. För att kombinera produkten med VR fastsätts enheten på framsidan av en HMD. (Leap Motion, 2016) På deras utvecklarsida kan utvecklare publicera applikationer som använder en kombination av HMD och Leap.



Figur 12: Leap motion fastsätt på HTC Vive (Leap Motion, 2016)

Med hjälp av Leap kan s.k. hybrid-gränssnitt skapas där användaren utnyttjar funktionaliteten av Leap och samtidigt använder andra handen för att t.ex. hålla i en spårad handkontroll eller en HOTAS. Ett exempel på Leap Motions utvecklarsidor finns en demonstration av en rymdfarkost var spelaren kan samspele med en holografisk meny med händerna, demonstrationen kan också rikta användarens händer med en virtuell och fysisk HOTAS för att se hårdvara utanför VR. (Dplemmons_leap, 2015). Det har också skapats ett projekt som låter användaren skriva på ett virtuellt tangentbord med hjälp av leap och VR (JCorvinus, 2015).

Andra kombinationer som har skapats är en virtuell arbetsmiljö som demonstrerar hur hantering av fler fönster i VR kan implementeras. I en arbetsmiljö är det viktigt att positionen är bekväm och fönstren som fokuseras på är vid ett passligt avstånd. När hårdvarubegränsningar av Rift DK2 och Leap motion kombineras med ergonomiska rekommendationer kan ett optimalt arbetsområde räknas ut. För att hämta in fönster till arbetsområdet har Mike Alger använt sig av ett hybrid-system som består av en hand spårad med Leap och en spårad hand-kontroller i andra handen. För att hämta in objekt utanför arbetsområdet används en handkontrollers virtuella laserstråle och när objektet är inne i arbetsområdet kan Leap användas. Att spåra händerna möjliggör också mer utrymme för en UI eftersom element kan fästas på händerna eller armarna. (Alger, 2015c) (Alger, 2015b s. 36-51 och 72)



Figur 13: Optimala arbetsområdet av Leap kombinerat med Oculus DK2 (Alger, 2015b)

Användarens händer kan gå igenom UI element. Här gäller regeln att låta användare göra det utan att stoppa handen i virtuella världen (se kap. 3.1). Om användargränssnittet är designat så att användaren förstår att knappen är virtuell accepteras ofta händelsen eftersom den inte är riktig. Alger har också använt naturliga färger som påminner om vatten och gör fingrets dränkande i knappen möjligtvis mer väntat. (Alger, 2015b s. 33)(Alger, 2015c)

4.4 Story Studio

Oculus story studio är en filmstudio av Oculus som har skapat två virtuella upplevelser som påminner om film men är gjorda för att utnyttja VR. Max Planck som hade jobbat hos Pixar sedan 2004 såg potentialen i nya mediet och började skapa interaktiva upplevelser för Oculus. När film skapas för VR måste innehållet anpassas för mediet eftersom traditionella regler inte stämmer i VR. I film kan regissören visa en vacker utsikt men i VR är tittaren inne i världen och kan själv se omkring sig, därför kan virtuella världar förmedla en oöverträffad känsla av närvaro. (Planck, 2015)

Story studio har visat två upplevelser, ”Lost” och ”Henry”. Under produktionen av upplevelserna berättar Oculus på sin blogg om olika riktlinjer som ofta gör en VR film bättre. Här är några punkter som Saschka Unseld berättar om på Oculus blogg (Unseld, 2015):

- Det är viktigt att låta spelaren se världen i sin egen takt och inte konstant försöka styra blicken.
- Om händelser fokuseras för mycket på ett ställe känns resten av världen tom. Utanför VR händer det sällan bara en sak.
- Hålla upplevelsen enkel, rendering i realtid är inte lätt.

4.4.1 Teknik

Tekniskt sett skiljer sig virtuella upplevelser från en animerad film då allting måste renderas i realtid eftersom användaren väljer var kameran pekar. Många VR spel är gjorda med en relativt simpel grafik eftersom det är otroligt krävande att rendera i realtid. Förhandsrendering av CGI filmer tar också en lång tid att rendera. Animerade filmen ”Cars 2” renderade en bild på 11,5 timmar med 12500 kärnor (Terdiman, 2011). En VR film måste rendera 90 bilder per sekund i realtid, därför kan inte lika bra bildkvalitet som dagens i CGI filmer uppnås. Story Studios ”Lost” är en upplevelse som utspelas i en skog och sätter mycket press på hårdvaran medan ”Henry” är en animation med enklare grafik. (Unseld, 2015)

5 HÄLSA

Virtuell verklighet kan påverka din hälsa kortvarigt i form av rörelsesjuka men det finns också användningar av teknologin inom hälsovård. VR har använts för att hjälpa patienter med PTSD och för att lindra smärta under operationer. Här utforskas hur VR har varit i användning redan en lång tid inom hälsoindustrin och hur nya produkterna på marknaden kan förbättra vård med hjälp av VR.

5.1 Posttraumatiskt stressyndrom

Posttraumatiskt stressyndrom eller PTSD orsakas av händelser som ligger utanför människans normala upplevelser. Exempel på dylika händelser är olika krigssituationer eller stress över diagnos av en livsfarlig sjukdom. Alvarligaste formerna av PTSD är ofta orsakade av andra människor i form av skottlossning, bombningar och kamp. En person som lider av PTSD kan reagera oväntat och ställa sig själv eller andra i risk vid påminnelse av händelsen som orsakade tillståndet. Ofta har den drabbade svårigheter att återuppleva händelsen under terapeutiska tillfällen med hjälp av bilder och det är typiskt för drabbade att undvika situationer som påminner om en traumatisk händelse. För fall som traditionell terapi inte kan åtgärda har VR visat resultat. (Rizzo m.fl., 2006)

Till lyckade behandlingar av PTSD med hjälp av VR hör en patient som efter 9/11 attackerna plågades av PTSD och depression. Vanlig form av terapi visade inte resultat och patienten vägrade att emotionellt engagera sig i diskussion om händelsen. Efter VR sessioner väcktes känslor och minnen av händelsen hos patienten. Terapin fungerade med att långsamt visa mer och mer av attacken för patienten, i början visades ingen explosion eller ljud, bara ett flyg och byggnaden. Efter två sessioner kunde patienten återuppleva den mest realistiska versionen av händelsen och efter terapin kunde patienten inte mera klassas att ha PTSD och svår depression. (Difede, 2002)

Behandlingen gjordes med en HMD som hade 40 graders FOV och en resolution av 1024*768, huvudspårningen, displaytekniken och programvaran som visar grafiken i VR sköttes av skilda produkter. (Difede, 2002 s. 532)

5.2 Snow World

En virtuell värld som används under operationer för att distrahera patienter från smärta. Simulationen har patienten och flyta omkring i en kanjon på en förutbestämd rutt. På kanter av kanjonen sitter snögubbar och patienten kan kasta snöbollar på dem. Snow world har effektivt använts för att lindra smärta orsakad av bandagebyte på brännskador. Det har också utförts subjektiva tester som antyder att Snow world kan användas i kombination med opiater för att vidare minska smärta. (Hoffman m.fl., 2007)

6 SLUTSATSER OCH DISKUSSION

Medan VR har sett en otrolig tillväxt på de senaste åren och 2016 är året som produkter äntligen når konsumentmarknaden är det fortfarande en första generation av en produkt. Medan olika problem med kvalitet, resolution och rendering har tagits fram har de förbättras enormt under de senaste 5 åren. Det finns dock en massa som kan förbättras men höjning av bildkvalitet kräver också mer kraft av datorn som renderar bilden. Resolutionen som valts för produktionsversionen av Rift och Vive är inget sammanträffande eftersom det mest använda entusiastgrafikkortet (GTX 970) klarar av att rendera de flesta upplevelserna. Det återstår att se om hurdana nya renderingsmetoder kommer att användas i framtiden för VR. Medan det finns förslag för nya renderingsmetoder så är fortfarande DirectX och OpenGL de dominanta API:na och styr marknaden för tillfället. Andra optimeringar som kan göras utan att ändra renderingsmotorn är Valves stencil mesh som sparar på pixlar som måste renderas.

Skräddasydda testet som utfördes producerade resultat som antyder att testsystemet klarar av vanligaste scenarion i spelet Elite på höga inställningar även om grafikkortet ligger en modell under rekommendationen av Frontier Developments. För stabilaste FPS som tillåter variation i scenariot är dock låga inställningar med GTX 970 rekommenderade utgående från mina tester och Frontiers uttalande. Slutsatser som kan dras ur testet är att ganska precisa resultat om hur VR fungerar på ett system kan granskas med en enkel simulering. Viktigaste är att höja och sänka FPS kraven i simuleringen enligt resolution så att pixlar per sekund ligger nära kraven av en HMD, för extra press på processorn kan ett spårningssystem användas som kan sänka prestandan.

Oculus och Valves utbud är för tillfället fokuserade på skilda saker, medan Vive kommer med rum-skala VR och handspårning håller sig Oculus till ett välkänt styr i form av xbox spelkontrollern. Medan spel för Oculus är för tillfället planerat mer som sittande upplevelser är det möjligt att i framtiden uppdatera systemet till liknande funktionalitet som Vive. Skillnaden i funktionalitet är antagligen också orsaken till en prisskillnad på 200 €. Största skillnaden med produkterna efter att Oculus lanserat Touch kommer att vara kameran på framsidan av Vive som tillåter användaren att se omgivningen utan att ta bort enheten. Andra skillnader är att Oculus HMD och kameror kopplas till USB 3.0. Senare kommer 3 portar att behövas för att använda Touch eftersom en till kamera kommer att användas. Vive behöver endast plugga in HMD:n med en USB 2.0 port eftersom deras spårningssystem inte behöver kameror och basstationerna är passiva. Med tanke på systemkraven och priset av en HMD överskrider priset för ett VR system lätt över 1600 €.

Förflyttning i virtuella världar över långa distanser med HTC vive har möjliggjorts med att låta spelaren teleportera sig till önskad position med att peka med ett styr. I spel som Elite: Dangerous krävs inte förflyttning eftersom användaren sitter men eftersom spelet utnyttjar tangentbordet för att kommunicera förekommer problemet att användaren inte ser tangentbordet. Om man skulle kombinera teknologier som Leap Motion med en HMD kunde man placera ett virtuellt tangentbord i Elite och spåra användarens fingrar i VR. Det vore också möjligt att rikta instrumenten med en riktig HOTAS och då kunde användaren se sina egna händer i VR på instrumenten. Frågan som kvarstår är att hur många utvecklare sätter tid på detta eftersom VR har redan en begränsad mängd användare utan att räkna med tilläggshårdvara.

Hälsoindustrin har använt VR för olika applikationer men hårdvaran för systemet har ofta varit av en kombination av hårdvara samt skild programvara. Billiga komponenter och en produkt som sköter visuella sidan samt spårningen minskar behovet av separat hårdvara. Med liknande produkter på marknaden vore det lätt att skapa applikationer som Snow World som fungerar direkt med en konsumentprodukt utan komplicerad uppsättning. Virtuellt verklighet som ett medium har en massa möjliga användningsscenario, bara några är presenterade i denna text. Facebook har uttryckt intresse för att göra VR en social

upplevelse, hur de gör det får vi se i framtiden. Kanske en grupp vänner kan sitta i ett virtuellt utrymme och spela bordsspel? Produkterna i fråga lanserades dock främst med spel och en del olika sätt att spela har upfunnits och jag tror att bara ytan har skrapats. Spelmarknaden har saktat ner utvecklingen inom grafik eftersom vi har nått en punkt var betydligt bättre grafik kräver mycket mer beräkningskraft, VR kan drar nytta av höga resolutioner och kanske teknologin driver grafikkortsmarknaden mot kraftigare produkter.

KÄLLOR

Albert Rizzo, Jarrel Pair, Ken Graap, Brian Manson, Peter J. McNerney, Brenda Wiederhold, Mark Wiederhold, James Spira. 2006, *A virtual reality exposure therapy for Iraq War military personnel with post-traumatic stress disorder: From training to toy to treatment*. NATO Security through Science Series E Human and Societal Dynamics 6.

Alger, Mike. 2015, *Lessons learned at Vive game jam*, Youtube. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=tQQPuZPWCN4> Hämtad: 13.10.2015

Alger, Mike. 2015b, *Visual design methods for virtual reality*. Manifest. Tillgänglig: http://aperturesciencellc.com/vr/VisualDesignMethodsforVR_MikeAlger.pdf, Hämtad: 5.4.2016.

Alger, Mike. 2015c, *VR Interface Design Pre-Visualisation Methods*, Youtube. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=id86HeV-Vb8>, Hämtad: 8.4.2016.

Atomhawk Design. 2015, *Designing UI for VR: Develop 2015*, Youtube 7-8 min. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=4lRhTPQroi0> Hämtad: 6.4.2016

Clark, Taylor. 2014, *How Palmer Luckey Created Oculus Rift*, Smithsonian, 45, 7, p. 1. Tillgänglig: Academic Search Elite, EBSCOhost. Hämtad 27.4.2016

Difede, Joann, Hunter G. Hoffman. 2002, *Virtual reality exposure therapy for World Trade Center post-traumatic stress disorder: A case report*. Cyberpsychology & Behavior 5.6: 529-535.

Digitaltrends. 2016, *Spec Comparison: The Rift is less expensive than the Vive, but is it a better value?*, Designtecnica Corporation. Tillgänglig: <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/> Hämtad: 27.4.2016.

Reynolds, Matthew. 2015, *What's it like creating in VR? Developers on the huge potential and unique challenges of virtual worlds*, Digital Spy. Tillgänglig: <http://www.digitalspy.co.uk/gaming/feature/a658925/whats-it-like-creating-in-vr-developers-on-the-huge->

potential-and-unique-challenges-of-virtual-worlds.html#~pqZQYrTjExovIU, Hämtad: 13.10.2015

Dplemmons_leap (användarnamn). 2015, *VR Cockpit*, Leap Motion / Developer. Tillgänglig: <https://developer.leapmotion.com/gallery/vr-cockpit> Hämtad: 8.4.2016.

Faliszek, Chet. 2015, *Valve: The year ahead in VR*, Eurogamer Expo (YouTube). Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=o8Ea6NqxnY4> Hämtad: 27.4.2016.

Feltham, Jamie. 2015, *Palmer Luckey Explains Oculus Rift's Constellation Tracking and Fabric*, vrfocus. Tillgänglig: <http://www.vrfocus.com/2015/06/palmer-luckey-explains-oculus-rifts-constellation-tracking-and-fabric/> Hämtad: 21.3.2016.

Frontier developments. 2016, *Made for VR*. Tillgänglig: <https://www.eli-tedangerous.com/en/made-for-vr/> Hämtad: 6.4.2016.

GamereactorTV, 2012, *E3 12: John Carmack's VR Presentation*, Youtube. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=kW-DIWwlXHo> Hämtad: 12.10.2015

Hoffman, H. G., Richards, T. L., Van Oostrom, T., Coda, B. A., Jensen, M. P., Blough, D. K., & Sharar, S. R. 2007, *The analgesic effects of opioids and immersive virtual reality distraction: evidence from subjective and functional brain imaging assessments*, *Anesthesia & analgesia*, 105(6), 1776-1783.

HTC. 2015, *HTC Vive*, Produktsida. Tillgänglig: <http://www.htcvr.com/> Hämtad: 12.10.2015

JCorvinus (användarnamn). 2015, *VR Keyboard*, Leap Motion / Developer. Tillgänglig: <https://developer.leapmotion.com/gallery/vr-keyboard> Hämtad: 26.4.2016.

Kickstarter. 2012, *Oculus Rift: Step into the game*. Tillgänglig: <https://www.kickstarter.com/projects/1523379957/oculus-rift-step-into-the-game> Hämtad: 12.10.2015

Lang, Ben. 2015, *Oculus Says Consumer Rift Has IPD Adjustment and Better Design for Glasses*, RoadtoVR. Tillgänglig: <http://www.roadtovr.com/oculus-says-consumer-rift-has-ipd-adjustment-and-better-design-for-glasses/> Hämtad: 17.03.2015

Lang, Ben. 2016b, *Hands-on: HTC Vive Pre Brings Notable Improvements to Visuals, Tracking, and Ergonomics*, RoadtoVR. Tillgänglig: <http://www.roadtovr.com/hands-on-htc-vive-pre-brings-notable-improvements-to-visuals-tracking-and-ergonomics/> Hämtad: 23.03.2016

Leap Motion, 2016, *Leap Motion Controller*, Webb-butik. Tillgänglig: <http://store-eur.leapmotion.com/products/> Hämtad: 8.4.2016.

LinusTechTips, 2014, *30FPS vs high FPS discussion with Palmer Luckey*, YouTube video. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=BQoPvZGjYvQ> Hämtad: 13.10.2015

Martindale, John. 2015. *Elite: Dangerous minimum specs for VR are some of the highest yet*, Digital Trends. Tillgänglig: <http://www.digitaltrends.com/computing/elite-dangerous-minimum-specs-vr-highest-yet/> Hämtad: 27.4.2016.

Mason, Will. 2015, *Oculus is working on eye tracking technology for the next generation of VR*, uploadvr. Tillgänglig: <http://uploadvr.com/oculus-is-working-on-eye-tracking-technology-for-next-generation-of-vr/> Hämtad: 29.03.2016

Node. 2015, *VR PAINTING – TILTBRUSH*, Youtube video. Tillgänglig: <https://youtu.be/n97Q4sDawAs> Hämtad: 5.4.2016.

Oculus VR. 2013a, *John Carmack joins Oculus as CTO*, Oculus Blog. Tillgänglig: <https://www.oculus.com/en-us/blog/john-carmack-joins-oculus-as-cto/> Hämtad: 12.10.2015

Oculus VR. 2015b, *The Oculus Rift, Oculus Touch and VR games at E3*, Oculus Blog. Tillgänglig: <https://www.oculus.com/en-us/blog/the-oculus-rift-oculus-touch-and-vr-games-at-e3/> Hämtad: 12.10.2015

Oculus VR. 2015c, *Powering the Rift*, Oculus Blog. Tillgänglig: <https://www.oculus.com/en-us/blog/powering-the-rift/> Accessed 12.10.1015

Oculus VR, 2016d, *Introduction to VR audio, V 1.0.2*. Tillgänglig: <https://developer.oculus.com/documentation/audiosdk/latest/concepts/book-audio-intro/> Hämtad: 21.03.2016.

Oculus VR, 2016e, *Touch*. Tillgänglig: <https://www.oculus.com/en-us/touch/> Hämtad 24.3.2016

Oculus VR, 2016f, *Oculus best practises, version: 310-30000-02*. Tillgänglig: <https://www.oculus.com/en-us/touch/> Hämtad 24.3.2016

Planck, Max, 2015, *Breadcrumbs – a first blog post*, Oculus story studio blog. Tillgänglig: <https://storystudio.oculus.com/en-us/blog/breadcrumbs-a-first-blog-post/> Hämtad: 25.4.2016

Pohl, Daniel, Gregory S. Johnson, Timo Bolkart. 2013, *Improved pre-warping for wide angle, head mounted displays*. Proceedings of the 19th ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology. Tillgänglig: <http://www.qwrt.de/pdf/Improved-Pre-Warping-for-Wide-Angle-Head-Mounted-Displays.pdf> Hämtad: 27.4.2016.

Popa, Justin. 2014. *Oculus Rift: DK1 VS DK2*, in2gpu. Tillgänglig: <http://in2gpu.com/2014/08/10/oculus-rift-dk1-vs-dk2/> Hämtad: 27.4.2016.

Shanklin, Will. 2015, *Extended interview: The Oculus Rift, in its creators' own words*, Gizmag. Tillgänglig: <http://www.gizmag.com/oculus-rift-interview/38002/> Hämtad: 23.03.2016.

Shanklin, Will. 2016, *The inside story of Lucky's tale, the super Mario bros. of virtual reality*, Gizmag. Tillgänglig: <http://www.gizmag.com/luckys-tale-oculus-rift/41343/> Hämtad: 7.4.2016.

Spoonauer, Mark. 2015, *HTC: Why the vive will beat oculus VR at its own game*, Tom's Guide. Tillgänglig: <http://www.tomsguide.com/us/htc-vive-interview,news-21356.html>
Hämtad: 27.4.2016.

Starizona. 2014, *Optical Aberrations*. Starizona adventures in astronomy & nature. Tillgänglig: https://starizona.com/acb/basics/equip_optics101_distortion.aspx Hämtad: 27.4.2016.

Terdiman, Daniel. 2011, *New technology revs up Pixar's 'Cars 2'*, CBS Interactive. Tillgänglig: <http://www.cnet.com/news/new-technology-revs-up-pixars-cars-2/> Hämtad: 25.4.2016.

Tested. 2015, *SteamVR's "Lighthouse" for Virtual Reality and Beyond*, YouTube. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=xrsUMEbLtOs> Hämtad: 12.10.2015.

Tested. 2016, *Hands-on: Virtual reality portals in Budget cuts*, Youtube. Tillgänglig: <https://www.youtube.com/watch?v=QfwzM6NsY4c> Hämtad: 7.4.2016.

Unsold, Saschka. 2015, *5 Lessons learned while making lost*, Oculus Story studio blog. Tillgänglig: <https://storystudio.oculus.com/en-us/blog/5-lessons-learned-while-making-lost/> Hämtad: 25.4.2016.

Valve Corporation, 2016, *HTC Vive Pre: Installation Guide*. Tillgänglig: https://support.steampowered.com/kb_article.php?ref=2001-UXCM-4439&l=english Hämtad: 17.03.2015.

Valve Corporation, 2016b, *Steam & Game stats*. Tillgänglig: <http://store.steampowered.com/stats/> Hämtad: 30.3.2016.

Valve Corporation, 2016c, *Steam hardware survey: February 2016*. Tillgänglig: <http://store.steampowered.com/hwsurvey> Hämtad: 30.3.2016.

Vlachos, Alex, 2015, *Advanced VR Rendering*, Game Developer Conference PowerPoint. Tillgänglig: http://media.steampowered.com/apps/valve/2015/Alex_Vlachos_Advanced_VR_Rendering_GDC2015.pdf Hämtad: 30.3.2016.

Weichert, F., Bachmann, D., Rudak, B., & Fisseler, D. (2013). *Analysis of the accuracy and robustness of the leap motion controller*. *Sensors*, 13(5),s. 6380-6383 & 6391. Tillgänglig: MDPI - Open Access Publishing. Hämtad: 8.4.2016.

Zuckerberg, Mark. 2014, Facebook statusuppdatering. Tillgänglig: <https://www.facebook.com/zuck/posts/10101319050523971> Hämtad: 12.10.2015