VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY
INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

STUDIE O SOUČASNÉM STAVU VIRTUÁLNÍ REALITY
STUDY ON THE CURRENT STATE OF THE VIRTUAL REALITY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Josef Bukvald
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Jiří Kroupa
SUPERVISOR

BRNO 2017

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky
Student:	**Josef Bukvald**
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce:	**Ing. Jiří Kroupa**
Akademický rok:	2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Studie o současném stavu virtuální reality

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Virtuální realita je v dnešní době rychle se rozvíjející technologií, která nalézá uplatnění nejen v zábavním průmyslu, ale i v mnoha vědních oborech. Tato práce se zabývá přehledem a zhodnocením dostupných zařízení pro VR a dále využitím VR v různých oblastech.

Cíle bakalářské práce:

1. Seznámení se s problematikou virtuální reality.
2. Seznámení se s dostupnými zařízeními pro virtuální realitu.
3. Seznámení se s použitím virtuální reality pro různé vědní obory.
4. Zhodnocení použití dostupných zařízení pro popsané aplikace včetně ekonomického zhodnocení.

Seznam literatury:

EDITORS PHILIPPE FUCHS, Guillaume Moreau. Virtual reality: concepts and technologies. 2e édition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. ISBN 0415684714.

BY NASSIM KHALED. Virtual reality and animation for MATLAB® and Simulink® users visualization of dynamic models and control simulations. London: Springer, 2012. ISBN 1447123301.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Cílem bakalářské práce je studie o současném stavu virtuální reality. Práce je rešeršního charakteru a obsahuje základní informace k problematice virtuální reality. Dále se zabývá přehledem současných technologií a zařízení, uvedením příkladů aplikace v různých vědních oborech a zhodnocením jejich použití.

ABSTRACT

The aim of the Bachelor‘s Thesis is study of the current state of virtual reality. The work is of research character and contains basic information about virtual reality. It also deals with an overview of current technologies and equipment, with examples of application in various fields of science and evaluation of their use.

KLÍČOVÁ SLOVA

Virtuální realita, imerze, interakce, zařízení, aplikace

KEYWORDS

Virtual reality, immersion, interaction, equipment, application

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BUKVALD, J. *Studie o současném stavu virtuální reality,* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2017, 45 s., Vedoucí bakalářské práce Ing. Jiří Kroupa.

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji panu Ing. Jiřímu Kroupovi za vedení bakalářské práce, odborné konzultace a cenné rady, které mi při tvorbě práce pomohly.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Ing. Jiřího Kroupy a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 26. května 2017 ……

Bukvald Josef

OBSAH

ÚVOD **15**

1 DEFINICE VIRTUÁLNÍ REALITY **17**
1.1 Účel virtuální reality 17
1.1.1 Simulace určitých prvků reálného světa 17
1.1.2 Symbolický svět 17
1.1.3 Imaginární svět 18
1.2 Funkční definice 18
1.3 Technická definice 18

2 ZAŘÍZENÍ PRO INTERAKCI S VR **19**
2.1 Datová rukavice 19
2.1.1 Rukavice s optickými vlákny 19
2.1.2 Rukavice s technologií měření změny odporu 19
2.1.3 Rukavice s technologií Hallova efektu 19
2.1.4 Použití a cena 20
2.2 3D myš 20
2.3 CAT 21

3 ZAŘÍZENÍ PRO VR **23**
3.1 Částečně imerzní zařízení 23
3.1.1 Powerwall 23
3.1.2 Immersa-desk 25
3.1.3 Microsoft Hololens 25
3.2 Plně imerzní zařízení 26
3.2.1 HMD 26
3.2.2 CAVE 29

4 APLIKACE VR **33**
4.1 Průmysl 33
4.1.1 VR model výrobny železa 34
4.1.2 Aplikace VR ve výrobě 34
4.2 Zdravotnictví 35
4.3 Vzdělávání 35
4.3.1 Molekulární prohlížeč 35
4.4 Vojenské složky 36

5 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ VR **37**

6 ZÁVĚR **39**

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ **41**

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK **45**
8.1 Seznam zkratek 45
8.2 Seznam obrázků 45

ÚVOD

Systémy virtuální reality se začaly vyvíjet v druhé polovině 20. století. V těchto letech vznikaly první přístroje pro zobrazování stereoskopických obrazů, ale nebyly příliš rozšířené. Rapidní vývoj technologií v 21. století přispěl také k vývoji a zdokonalení systémů virtuální reality a umožnil jejich rozšíření do různých oblastí, od herního průmyslu až po vědní obory. Zařízení virtuální reality dokáží vytvořit 3D scénu, ve které se člověk může pohybovat a pomocí zařízení pro interakci může tuto scénu měnit. Vše potom přispívá k umocnění zážitku dané situace.

První část práce se věnuje stručnému úvodu k virtuální realitě. Řekneme si, co to vlastně virtuální realita je, popíšeme její účel a uvedeme některé definice. Další část je zaměřena na používané zařízení pro interakci s virtuální realitou a dále pro její zobrazení. Popíše se jejich funkční princip, uvedou se možnosti aplikace, zástupce a orientační cena. V třetí části se popíšou možnosti použití virtuální reality v jednotlivých oborech a blíže se přiblíží některé konkrétní aplikace. Poslední část se věnuje zhodnocení použití dostupných zařízení pro popsané aplikace a jejich ekonomickému zhodnocení.

1 DEFINICE VIRTUÁLNÍ REALITY

Pojem “virtuální realita“ se používá již více než 15 let. Tento termín je podnětem k debatě a mnohými byl zpochybňován. Při doslovném výkladu získáme dvě slova, které si svým významem protiřečí. Bylo by tedy lepší použít pojem “náhradní realita“, “zástupná realita“ nebo nejlépe “zástupné prostředí“. [1]

Definování virtuální reality je ale nezbytný úkon. V literatuře se stále ještě setkáváme s definicemi, které nevhodně míchají účel virtuální reality, její funkci, aplikaci a metody, na kterých je založena. Tyto nepřesné představy byly hojně cirkulovány v médiích, které nám zobrazily virtuální realitu jako displej připevněný na hlavu a použití různých zařízení k interakci (datová rukavice, volant, atd.), které jsou připojeny k počítači. Tento přístup musíme odmítnout, protože je zaměřen pouze na jednu určitou technologii a protože jsou extrémně omezující ve smyslu problémů, vztahujících se k interakci mezi uživatelem (člověk) a virtuálním prostředí. [1]

1.1 Účel virtuální reality

Účelem virtuální reality je umožnit provádět smyslové, pohybové a poznávací úkony pro člověka v digitálně vytvořeném umělém světě, který může být imaginární, symbolický a nebo simulací určitých prvků reálného světa. [1]

Základní myšlenka virtuální reality je taková, že člověk vnímá a koná fyzicky s entity a prvky virtuálního světa. Je také zřejmé, že člověk vykonává aktivity za účelem poznání. Avšak provést poznávací činnost ve virtuálním prostředí bez toho abychom vykonali fyzický úkon je mimo rozsah virtuální reality. Další prvek je rozmanitost původů “světů“ zastoupených ve virtuálním prostředí. Tento prvek právě dokazuje, že definice je jiná, než ta, že virtuální realita je pouhou kopií skutečného světa. [1]

1.1.1 Simulace určitých prvků reálného světa

Tyto prvky musí být určeny při návrhu aplikace. Tato počáteční fáze návrhu je důležitá a proto musí byt analyzována jasně. Chyby, kterých se často dopouštíme, jsou dosažení co největšího stupně reálnosti. Je absurdní očekávat, že chování virtuálního prostředí bude naprosto identické k reálnému prostředí. Pokud chceme vytvořit virtuální realitu, modifikování některých prvků skutečné reality je v mezích jejího účelu. [1]

Technické problémy nejsou jediným důvodem, proč je virtuální prostředí odlišné od reality. Virtuální realita nám umožňuje vytvořit simulaci reálného světa, ve kterém můžeme zlepšit zobrazení některých jevů. Například můžeme vizuálně zobrazit některé fyzikální jevy, jako je např. radioaktivita nebo infračervené paprsky. [1]

1.1.2 Symbolický svět

Můžeme také použít symbolickou reprezentaci, abychom zlepšili porozumění simulovaného prostředí. Virtuální realita je tedy použita k reprezentaci určitého jevu (struktura molekul, tok kapalin, atd.) nebo k přidání symboliky do simulovaného reálného světa. Toto umožňuje uživateli lépe porozumět danému problému. Informace může být zobrazena v grafech nebo schématu. Potenciální nebezpečí může být reprezentováno změnou barvy. [1]

1.1.3 Imaginární svět

Základem pro tvorbu tohoto světa je představivost tvůrce, vzniká tedy nereálný svět. V tomto virtuálním prostředí nemusí platit zákony reálného světa. [1]

1.2 Funkční definice

V roce 1995, Fuchs navrhl taxonomii založenou na teoretické funkčnosti. Navzdory vlastního porozumění reality, člověk rozčlenil pojmy čas a prostor s kterými, může vzájemně působit pouze skrze neměnitelných fyzikálních zákonů. Virtuální realita nám pomůže překonat tuto fyzikální realitu a umožní nám prakticky měnit čas, prostor a typ interakce. Tento přístup umožní vytvořit funkční taxonomii aplikace virtuální reality použitím kombinací těchto tří funkcí. [1]

1.3 Technická definice

Imerze a interakce jsou dvě klíčová slova virtuální reality. Technická definice zní:“Virtuální realita je vědní a technická doména, která používá počítačovou vědu a behaviorální rozhraní k simulaci ve virtuálním světě chování 3D entity, které vzájemně působí v reálném čase mezi sebou a s jedním nebo více uživateli v pseudo-přírodní imerzi skrze senzomotorické kanály.“ [1]

Je nezbytné zužitkovat potenciál počítačové vědy, jak hardware tak i software, abychom vytvořili interaktivní prostředí, které dokáže komunikovat s uživatelem. Entity (objekty, virtuální postavy, atd.) pracují v reálném čase podle fyzikálních a behaviorálních zákonů. [1]

Používáme materiálové rozhraní virtuální reality, které nazýváme behaviorální rozhraní. Je tvořeno senzorickým rozhraním, motorickým rozhraním a senzorimotorickým rozhraním. V senzorickém rozhraní je uživatel informován o vývoji ve virtuálním prostředí pomocí jeho smyslů. Motorické rozhraní informuje počítač o motorických činnostech uživatele ve virtuálním prostředí. Senzomotorické rozhraní pracuje v obou směrech. [1]

Je nezbytné vytvořit virtuální prostředí, které je interaktivní v reálném čase. Tvorba virtuálního světa je hlavní problém virtuální reality (modelování, digitalizování a počítačové zpracování). [1]

Interakce v reálném čase je dosažena, když uživatel nepociťuje časovou prodlevu mezi jeho úkony ve virtuálním prostředí a jejich senzorickou odpovědí. Tento požadavek je ale obtížné naplnit. Uživatel musí být v co nejefektivnější “pseudo-přirozené imerzi“, kterou je možné vytvořit ve virtuálním světě. Imerze nemůže být přirozená, protože jsme se naučili chovat přirozeně v reálném světě, nikoliv ve virtuálním. Tento vjem je částečně subjektivní představa, která závisí na aplikaci a použitých zařízení. [1]

Z této analýzy můžeme vyvodit základní princip virtuální reality. Uživatel provádí úkony na virtuální prostředí pomocí motorických rozhraní, které zachytí jeho akce (gesta, pohyby, zvuk, atd.). Tyto aktivity jsou přeneseny do kalkulátoru, který je interpretuje jako požadavek ke změně prostředí. V souladu s tímto požadavkem pro změnu, kalkulátor posoudí změny, které mají být provedeny ve virtuálním prostředí a senzorické reakce (obrazy, zvuk, efekty, atd.), které mají být převedeny do senzorického rozhraní. [1]

2 ZAŘÍZENÍ PRO INTERAKCI S VR

Jsou to zařízení, která se používají v kombinaci s např. HMD, pro interakci s virtuálním prostředím. Díky těmto zařízením můžeme ovládat objekty nebo jinak měnit virtuální scénu. Mezi tyto zařízení patří datová rukavice, 3D myš, CAT a ovladače.

2.1 Datová rukavice

Datová rukavice pomáhá měřit relativní pohyb prstů vůči dlani. Je také nutné označit pozici dlaně trackerem, abychom kompletně určili absolutní pohyby. Typy používaných trackerů jsou hlavně elektromagnetické a občas ultrazvukové senzory. Hlavním problémem je měření rotace článků prstů přístroji. Existuje několik principů – měření pomocí deformace optického vlákna, Hallova efektu a nebo změny odporu. [1]

2.1.1 Rukavice s optickými vlákny

Jedná se o první princip použitý pro rukavici, který byl navrhnut americkou společností VPL. Dvě (nebo tři) optické vlákna jsou připojeny ke každému prstu rukavice. Jsou zarovnány s prsty a jsou více či méně dlouhé, aby detekovaly pohyby u různých kloubů. [1]

Optické vlákna jsou připojena k optoelektronickému zařízení. Jeden konec každé smyčky je připojen k LED a druhý konec je připojen k fototranzistoru. Pokud je vlákno rovné, nedochází k redukci přeneseného světla. Pokud je ale vlákno ohnuté, intenzita osvětlení je snížena, protože podmínky perfektního odrazu nadále neexistují. Změna intenzity světla odraženého vláknem je funkcí kloubního úhlu, což pomáhá odvodit jeho hodnotu. Vztah mezi intenzitou a úhlem není lineární. Není také konstantní v čase, zvláště, pokud je rukavice používána jedinci s jinou morfologií ruky. Proto musíme provést kalibraci této rukavice před každým novým použitím. [1]

Další princip nespočívá ve sledování ohýbání vláken, ale můžeme měřit relativní posun vláken. Jeden ze dvou konců zasuneme do rukávu opatřeného LED diodou a jeho stěna je pokryta reflexním povrchem. Podle úhlu ohnutí prstu se vlákno více či méně posune od diody, fototranzistor na druhém konci vlákna obdrží intenzitu světla úměrnou relativnímu pohybu vlákna v rukávu a tedy úhlu ohybu. [1]

2.1.2 Rukavice s technologií měření změny odporu

Tato rukavice pracuje na principu změny odporu podle rozšíření podpěry, na které je upevněna. Tato rukavice je vytvořena z elektricky vodivé vrstvy, která obsahuje uhlíkové částice. Když se materiál přeloží, vzdálenost mezi částicemi uhlíku se zvětší a odpor senzoru vzroste. Můžeme přibližně určit pohyby prstů s pomocí kalibračního postupu. [1]

2.1.3 Rukavice s technologií Hallova efektu

Používá se železná konstrukce (exoskeleton), která se nasadí na zadní část ruky. Obsahuje čtyři senzory pozice na každém prstu a tedy dvacet na celé rukavici. Jakákoliv rotace článku prstu je měřena pomocí snímače Hallova efektu umístěného na mechanických kloubech rukavice. Rozlišení pohybů je 0.1°. Tyto charakteristiky se vztahují k rotaci kloubů mechanické konstrukce, nikoliv článků prstů. Váha a celkové rozměry jsou nevýhodou tohoto typu. [1]

2.1.4 Použití a cena

Datová rukavice se používá při studii zachycení gest nebo při jakékoliv aplikaci, kde se využívá pohybu zápěstí, dlaně nebo prstů. Nahrazuje tedy potřebu použití gamepadu, joysticku a nebo myši. Používá se pohybů ruky a prstů ke kontrole virtuálního prostředí, robotů, simulátorů. Používá se také jako komunikační zařízení. Dokáže zachytit gesta a interpretovat je do textové podoby nebo použít tyto gesta k vykonání činnosti na obrazovce. [2]

Cena datových rukavic se odvíjí od použité technologie a počtu senzorů. Rukavice Data Glove 5 Utra (Obr. 1) od výrobce 5DT (Fifth Dimension Technologies), která obsahuje 5 senzorů stojí přibližně 24000 Kč (995 USD) a stejná rukavice, která má 14 senzorů stojí 145000 Kč (5945 USD). Tato cena může odradit běžného zákazníka, a proto se používá spíše pro vědecké účely. [3]

Obr. 1 Data Glove 5 Ultra [3]

2.2 3D myš

Toto zařízení nám umožňuje ovládat 3D objekty jednodušeji a intuitivněji než při použití 2D myši. To je díky tomu, že pomocí 3D myši dokážeme ovládat tři směry pohybu zároveň. 3D myš také umožňuje rotaci kolem každé osy. Používá se spolu s normální myší k zajištění vyváženějšího, kooperativnějšího pracovního stylu. Pomocí 3D myši manipulujeme s objektem a zároveň můžeme normální myší používat menu. Toto nám zajistí lepší práci s 3D aplikacemi. [5]

Hlavní částí 3D myši je senzor. Ten může mít různé podoby, např. to může být koule nebo válec. Některé typy myši obsahují tři joysticky, které vykonávají stejnou funkci jako koule, ale jednotlivé pohyby jsou rozděleny do každého joysticku. Ovládání je prováděno pomocí tlaku, otáčení nebo posunutí senzoru, který tyto pohyby vyhodnotí a odpovídajícím způsobem posune, otočí nebo změní pohled daného objektu. 3D myš může být ještě opatřena tlačítky a nebo displejem. [4][5]

3D myš se používá např. v CAD aplikacích, kde nám umožňuje lepší, efektivnější a snadnější manipulaci s 3D objekty a nebo při vytváření návrhů. Je to software jako AutoCAD, Inventor, 3ds Max od firmy Autodesk, Solidworks nebo CATIA od firmy Dassault Systemes a nebo Rhinoceros. Může se také použít pro navigaci v aplikaci Google Earth. Mezi firmy, které tuto technologii používají se řadí Boeing, BMW, EADS, Honda, General Motors a JCB. [5]

Ceny se pohybují od 3000 Kč do 14000 Kč. Například 3D myš SpaceNavigator od firmy 3dconnexion, což je nejlevnější verze, stojí 3570 Kč a model SpaceMouse Enterprise (Obr. 2), který obsahuje i další tlačítka a displej, stojí 12852 Kč. [6]

Obr. 2 3D myš SpaceMouse Enterprise [40]

2.3 CAT

CAT (Control Action Table) byl vyroben v LaBRI, výzkumném centru v Bordeaux, aby se umožnilo více uživatelům ovládat virtuální prostředí zobrazené na plátně. CAT připomíná konferenční stolek, jehož plošina může být neomezeně natáčena (Obr. 3). Tři úhlové senzory umístěné v kloubech umožňují určení pozice v jakýkoliv okamžik. Obsahuje také potenciometr, který zachycuje síly, které na plošinu působí. Rotace, které mají být aplikovány ve virtuálním prostředí jsou přímým důsledkem natáčení plošiny, zatímco posun je úměrný velikosti sil působících na tuto plošinu. [1][7]

Uživatel požívá plošinu k ovládání zobrazené scény. Identická orientace platformy a scény napomáhá intuitivnímu ovládání. Šest stupňů volnosti může být ovládáno zároveň nebo jednotlivě. Záleží na tom, jestli chceme vytvářet složité pohyby nebo jen pohyby, které obsahují malé množství stupňů volnosti. Je také opatřen grafickým tabletem, který obstarává 2D interakci. [1]

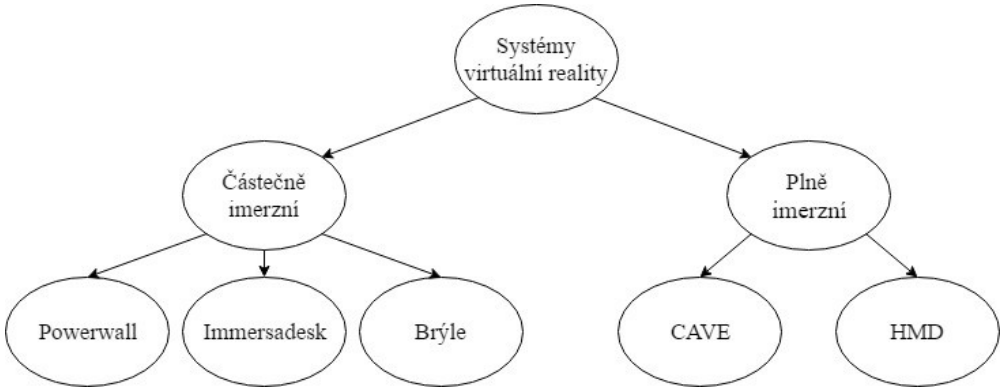
Obr. 3 Způsob provedení CAT plošiny [41]

Přidání omezení 2D ve 3D virtuálním prostoru pomáhá s přesností provádět úkoly výběru a manipulace a také usnadňuje používání 2D menu v 3D prostoru k ovládání prostředí, zatímco zůstáváme vnořeni ve virtuálním prostředí. Platforma zůstává po upuštění stabilní a tudíž nijak nemodifikuje virtuální prostředí. Tyto funkce umožňují kolektivní použití systému CAT. Je to univerzální a efektivní příkazové rozhraní pro aplikace VR. [1]

CAT byl primárně navrhnut pro ovládání imerzního prostředí s velkým displejem. Tyto systémy jsou nedostatečně využívané z důvodu obtížné interakce s 3D prostředím. CAT poskytuje efektivní, účinnou, intuitivní, přesnou, citlivou a neomezující interakci. Může být použit pro ovládání komplexních 3D aplikací. Kromě kontroly zobrazení modelu můžou být prováděny přesné manipulace s použitím plošiny. Než se přímo snažit umístit objekt v 3D prostoru, může se nejprve vybrat rovina, ve které se objekt bude posouvat a potom pohybovat s objektem ve 2D rovině s přesností a rychlostí. [7]

3 ZAŘÍZENÍ PRO VR

Zařízení pro virtuální realitu se mohou rozdělit podle určitých kritérií. Například nutnost použití dalších zařízení nebo podle úrovně imerze (Obr. 4). Podle úrovně imerze se dají zařízení rozdělit do dvou skupin – částečně a plně imerzní. Mezi částečně imerzní patří např.: powerwall, Immersa-desk a nebo brýle (monokulární HMD). Druhá skupina plně imerzní obsahuje např.: HMD a CAVE. [8]



Obr. 4 Rozdělení systémů virtuální reality

3.1 Částečně imerzní zařízení

Částečně imerzní systémy virtuální reality se skládají z relativně výkonného grafického výpočetního systému, který doplňuje velkoplošná obrazovka nebo velkoplátnový projekční systém. Použitím širokého zorného pole tyto systémy zvyšují pocit imerze. Při částečné imerzi není účastník plně vnořen do virtuálního prostředí, ale vnímá i prvky reálného světa. [12]

3.1.1 Powerwall

Skládá se z velkého plátna, na který je promítán obraz pomocí jednoho nebo více projektorů. Pokud se zvyšuje počet projektorů použitých pro jedno plátno, zvyšuje se kvalita obrazu, ale také se zvýší složitost systému. Pokud se použije více než jeden projektor, musí se poskytnout systém, který zajistí kontinuitu sousedících obrazů. To se docílí dvěma způsoby. Buďto můžeme postavit promítané obrazy vedle sebe a perfektně je zarovnat nebo můžou trochu přesahovat. V druhém případě je potřeba použít software na smíchání okrajů, aby tyto přesahující zóny byly pro oko neviditelné. Promítání může být 2D nebo 3D. To je docíleno pomocí zvolení typu projektoru. Při promítání se používá trackování pohybu pomocí kamer upevněných na promítacím plátně (Obr. 5). To zajišťuje interakci s prostředím, které se právě promítá. Uživatel používá brýle, které mají na sobě senzory, kamery jsou schopné tyto senzory zaměřit a tím určit polohu. Stejný princip se používá pro interakci. Používají se různé zařízení (např. ovladač), které také obsahují senzory, s jejichž pomocí se ovládá scéna promítaná na plátně. [1]

Obr. 5 Umístění kamer pro tracking [42]

Pro ovládání projektorů se používá skupina počítačů. Principem je rozdělení výpočetního zatížení do sítě více zařízení, které pracují současně. Každé zařízení je potom odpovědné za kalkulaci části obrazu. Tento systém je výhodný, protože umožňuje použití systému, který je méně nákladný než vyhrazený počítač a také je více flexibilní z hlediska vývoje a upgradu komponent. [1]

Používá se dvou základních metod distribuce obrazu. První metoda spočívá v tom, že se aplikace zkopíruje na všechny zařízení v síti a každé zpracovává část finálního obrazu. Tato metoda je pravděpodobně nejjednodušeji realizovatelná. V druhé metodě je aplikace použita na jediném zařízení a veškerá data, která tato aplikace odešle grafické kartě jsou zachycena. Tato zachycená data jsou přesměrována dalším zařízením v síti podle určitého třídícího kritéria a zařízení tato data zobrazí. Tato metoda je složitější, protože vyžaduje vývoj funkce, která zachycuje data směřující ke grafické kartě. [1]

Získat promítaný obraz, který je geometricky a barevně v souladu s teoreticky vypočítaným obrazem, je náročný úkol. Faktory, které ovlivňují obraz, jsou relativní pozice projektoru a plátna, nastavení projektoru, charakteristiky plátna a další. Parametrů, které je potřeba ovládat, abychom dostali co nejoptimálnější kvalitu obrazu, je mnoho. [1]

Jedním z klíčových elementů těchto systémů, je typ použitých projektorů. Typy používaných projektorů jsou DLP, LCD a LCOS. Projektory používající technologii DLP obsahují matici tisíce mikrozrcadel osvětlovaných lampou, kde každé zrcadlo odpovídá jednomu pixelu. Zrcadla mohou být individuálně orientována, aniž by ovlivnila ostatní a mohou být natáčena, čímž ovlivní intenzitu pixelu. Rozlišení dosažené touto technologií je střední s maximem 2047 x 1080. Technologie DLP umožňuje vytvářet projektory, které jsou malé a zároveň lehké. [1]

Technologie LCD produkuje tři primární barvy. Světlo vycházející z lampy prochází moduly z tekutých krystalů. Tyto krystaly modulují množství přeneseného světla. Rozlišení, které tato technologie dosahuje je 1920 x 1080. Technologie LCOS používá kombinaci předchozích dvou technologií. Jako DLP používá reflektivní technologii, která používá tekuté krystaly, které jsou přímo aplikovány na zrcadla. Intenzita svítivosti každého pixelu je upravovaná změnou průhlednosti tekutých krystalů a ne natáčením zrcadel. [1]

Pro Powerwall se dají vyvíjet aplikace v enginu Unity, ale je zapotřebí instalace určitých pluginů, které udělají Unity kompatibilní s tímto zařízením. Těmito pluginy jsou MiddleVR nebo getReal3D. Dále se dají také vytvářet aplikace v InstantReality a IC:IDO. IC:IDO nahrazuje fyzické prototypy interaktivní digitální replikou. Podporuje CAD a PMD systémy pro rychlou integraci procesů. [9][10][11]

Používá se např. v automobilovém průmyslu k zobrazení modelu auta nebo interiéru v plné velikosti. Toto umožní lepší analýzu a následné provedení úprav. Může se také použít k prezentaci. Například architekti můžou prezentovat svůj design zákazníkovi, který si tak lépe představí, jak bude výsledný produkt vypadat. [13]

Cena projektorů se pohybuje od těch nejlevnějších, které začínají na 7 000 Kč až po ty nejdražší, které se pohybují okolo 500 000 Kč. Cena závisí na použité technologii, rozlišení, kontrastu, atd. Cena plátna se pohybuje od 2 000 Kč do 50 000Kč. [40][49]

3.1.2 Immersa-desk

Tento typ rozhraní dokáže zobrazit stereoskopické obrazy na povrchu o rozměrech stolu nebo kreslící tabule. Tyto imerzní stoly operují jako stereoskopické obrazovky, kde separaci zajišťují brýle, ale obraz je promítnut na jednu (nebo dvě) obrazovku projektorem a pokud je potřeba, tak i pomocí zrcadel. Stereoskopické obrazy jsou oddělené použitím aktivních nebo pasivních brýlí. Poskytuje dva druhy 3D vizualizace. Pohled na promítané obrazy je pevný. Uživatel musí udržovat hlavu v jedné pozici, aby se mu vizuálně nedeformovala virtuální scéna. [1]

Pozice hlavy uživatele je sledována. Úhel pohledu se mění s pozicí hlavy. 3D percepce virtuální scény je efektivnější. Uživatel si může objekt prohlédnout z více úhlů. Tyto úhly jsou ale limitované. Pozorovatel, jehož hlava je sledovaná, by měl vnímat sledovaný objekt i když pohybuje hlavou. Toto je možné jen tehdy, je-li senzor polohy dosti přesný. [1]

Příkladem immersa-desk je Consul od firmy Barco. Obsahuje dvě obrazovky umístěné do tvaru L. Podporuje video s rozlišením 1600 x 1200 pixelů. Celkové rozměry jsou 2.2 m x 2.2 m x 1.6 m, které jsou relativně malé pro tento typ zařízení. Dalším zástupcem je ImmersaDome System od Elumens. Obraz je promítán na sférický povrch, který je umístěn před uživatelem, takže zabírá velkou část jeho výhledu. Nevýhodou je, že projektor je umístěn mezi uživatelem a kupolí. Deformace obrazu je kompenzována použitím hardwarové součásti, kterou je speciální čočka, která ale musí být přepočítaná za pomoci softwaru, což způsobuje prodlevu. Promítání je zajištěno projektorem s technologií DLP. Rozměr kupole je od 2 do 5.6m. [1]

Pro Immersa-desk se dají vyvíjet aplikace v enginu Unity při použití pluginu MiddleVR. Immersa-desk je vhodný pro vývoj a posouzení technických aplikací. [9]

3.1.3 Microsoft Hololens

Jedním z přístrojů spadajícím do kategorie částečně imerzní virtuální reality jsou brýle od společnosti Microsoft. Skládají se ze dvou částí (Obr. 6). V první části je uložen veškerý hardware, který je potřebný a druhá část slouží k upevnění na hlavu. [14]

Optický systém tohoto zařízení obsahuje několik části, které zajišťují zobrazení 3D objektů. Mezi tyto části patří: mikrodisplej, zobrazovací optika, vlnovod, slučovač a mřížky. Klíčem ke správnému fungování celého systému je expanze výstupní pupily, používající “eye box“. “Eye box“ je objem prostoru, ve kterém je vytvořen efektivně viditelný obraz pomocí systému čoček nebo displeje, reprezentující kombinaci velikosti výstupní pupily a vzdálenosti od očí. Dalším pojmem je interpupilární vzdálenost (IPD), která není stejná pro všechny a to

je problém při vytváření VR. Musíme mít prostředek, který tuto vzdálenost dokáže upravovat. Hololens má dvoudimenzionální IPD. To znamená, že můžeme upravovat “eye box“ horizontálně i vertikálně. [16]

Obr. 6 Dvě části brýlí Hololens [43]

Hololens obsahuje LCOD displeje. Na můstku čoček jsou připevněny dva zdroje světla, které promítají obrazy, které procházejí přes slučovač a ten promíchá promítaný obraz s reálným světem. Má také řadu senzorů, např. pro sledování hlavy, očí, hloubky aj. Microsoft Hololens nevyžaduje připojení k počítači, je plně soběstačné. [16]

Ovládání holografických projektů se provádí pomocí gest ruky. Tato gesta jsou limitovaná a musí se provádět tak, aby je zachytila kamera, která je umístěna v přední části. Například uchopení předmětu se provede pomocí sevření dvou prstů, poté můžeme objekt přesunout a uvolněním prstů jej zase uvolníme. [15]

Pro vývoj aplikací pro Hololens se používá engine Unity a Vuforia. Pomocí Unity byl vyvinut například HoloStudio, které umožňuje vytvářet 3D objekty. Vuforia se může použít například k přidání návodu na obsluhu na zařízení nebo k přidání digitálních funkcí do produktu. [17][20]

Cena je stanovena na 73 421 Kč (3 000USD) pro Development Edition a 122 369 Kč (5 000USD) pro Commercial Suite. [20]

3.2 Plně imerzní zařízení

Plně imerzní zařízení poskytují tu nejlepší implementaci virtuální reality. Je používán hardware jako binokulární HMD ke stimulování všech smyslů uživatele. Jsou schopné poskytnout realistické zážitky díky použití širokého zorného pole, vysokého rozlišení, zvýšené obnovovací frekvence a vysokého kontrastu. [21]

3.2.1 HMD

HMD je zařízení, které se připevní na hlavu a prezentuje vizuály přímo do očí a také do periferního vidění. Tyto zařízení mají širokou škálu použití. Abychom získali co nejlepší možný zážitek, používá se řada technologií.

Jednou z těchto technologií jsou senzory. Nejpoužívanější senzory jsou magnetometry, akcelerometry a gyroskopy, které sledují pohyby a orientaci v prostoru. Jejich cílem je dosáhnout šesti stupňů volnosti, což pokrývá všechny stupně pohybu pro objekt v prostoru.

Magnetometr určuje, kterým směrem je zařízení orientováno. Chová se tedy jako kompas. Pracuje na principu měření magnetických polí. Akcelerometr je zařízení používané pro měření jiných zrychlení, než gravitačních. Gyroskop využívá gravitačního zrychlení k určení orientace. Pokud je zařízení v klidu, akcelerometr je schopný měřit i gravitační zrychlení. Pokud se ale těleso pohybuje, akcelerometr nedokáže rozlišit mezi gravitačním zrychlením a zrychlením v jiném směru. Tuto práci obstará gyroskop. [21][23]

Další částí HMD jsou čočky. Čočky jsou umístěné mezi okem a displejem. Zaměřují a upravují obraz pro každé oko tím, že vychylují dva 2D obrazy, aby napodobovali, jak naše oči přijímají pohled na svět. Toto vytváří dojem hloubky a pevnosti, kterou vnímáme jako 3D obraz. Čočky na zařízeních virtuální reality nejsou univerzální a musí být upraveny pro počáteční použití. [21]

Mezi nejdůležitější parametry HMD zařízení, od kterých se odvíjí míra imerze patří rozlišení, snímková frekvence, zorné pole a latence.

Jako první si řekneme něco o typu použitých obrazovek a rozlišení. Obrazovky zobrazují obraz, který uživatel vidí skrze čočky. Video se posílá buď na jednu nebo dvě obrazovky. Přenos je zajištěn pomocí bezdrátového připojení, připojení smartphonu a nebo HDMI. Nejběžnějším typem použité technologie je LCD. Alternativní technologií je OLED. Dalším důležitým parametrem je rozlišení. Obraz se skládá z malých teček, které se nazývají pixely. Čím více pixelů je obsaženo v čtverečním centimetru obrazovky, tím ostřejší dostaneme obraz. Tato skutečnost je u HMD umocněna, protože se obrazovky nachází ve výrazné blízkosti očí, takže množství pixelů může být rozdíl mezi rozmlženým a ostrým obrazem. [21][22]

Zorné pole je další důležitý pojem používaný ve virtuální realitě. Poskytuje uživateli realistický vjem prostředí. Zorné pole se měří na základě stupně zobrazení. Pro dosažení přesvědčivého zobrazení virtuální reality je potřeba zorné pole, které zaujímá od 90° do 110°. Tento efekt je dosažen použitím čoček. [21][22]

Snímková frekvence udává rychlost, jakou se na obrazovce zobrazují po sobě jdoucí snímky. Ve virtuální realitě je potřeba aspoň 60 snímků za sekundu (fps–frames per second), aby se předešlo sekání obrazu a simulační nemoci. Například Oculus Rift poskytuje 90fps. Snímková frekvence se bude v budoucnosti nadále zvyšovat a tím poskytne reálnější vjem. [21]

Latence je množství času, které je potřeba, aby se zobrazený obraz v headsetu překreslil při změně pozice hlavy. Můžeme o tom uvažovat jako o zpoždění, které je měřeno v milisekundách (ms). Pro to, aby se virtuální prostředí jevilo jako reálné, je potřeba prodleva 20 ms a méně. Čím menší je tato prodleva, tím lépe. Při vyšší prodlevě pozorujeme nepřirozené zpoždění. [21]

Audio je také nedílnou součástí zážitku virtuální reality. Některé headsety umožňují použití vlastních sluchátek. Jiné je mají jako součást headsetu. Audio virtuální reality ještě více umocňuje iluzi 3D prostředí. Poziční audio je způsob “vidění ušima“ a používá se ve virtuální realitě, protože poskytuje podněty k získání pozornosti uživatele a nebo informace, které nemusí být dané vizuálně. [21]

Dalším důležitým úkonem je sledování pohybů hlavy, očí a těla (př.: rukou). Sledování hlavy odkazuje na způsob, jak se mění výhled před námi když pohybujeme hlavou nahoru–dolů a ze strany na stranu. Sledování hlavy se provádí pomocí senzorů. Tato technologie, aby

byla efektivní, musí mít nízkou latenci (50ms a méně). Pro sledování pohybu částí těla se používají zařízení jako rukavice, ovladače, joysticky a další pohybové zařízení. Sledování očí se provádí pomocí infračervených senzorů, které sledují oči uvnitř HMD. Hlavní výhodou je, že hloubka ostrosti se stane více realistickou. Virtuální postavy můžou reagovat na pohled a nebo se mohou pomocí pohledu vybírat objekty. [21]

V další části uvedeme některé typy používaných zařízení.

HTC Vive

Vive (Obr. 7) vznikl ve spolupráci HTC a herní společnosti Valve. Obsahuje displej s vysokým rozlišením 2160x1200, který když se rozdělí na obě oči, dostaneme rozlišení o hodnotě 1080x1200. Poskytuje jeden z nejlepších vizuálních zážitků ze všech dostupných headsetů. Obnovovací frekvence je nastavena na 90Hz, což umocňuje celkový zážitek. Headset spolu s příslušenstvím obsahuje více než 70 senzorů (32 headset a 48 ovladače), které sledují pohyby hlavy i o 1/10 stupně. HTC Vive používá dvě stanice, které sledují pozici uživatele v prostoru (max. 4.5m x 4.5m), které umožňují se fyzicky pohybovat ve virtuálním prostředí. Balení obsahuje i dva ovladače, ale můžou se použít jakékoliv jiné herní ovladače. [24]

Pro vývoj aplikací je k dispozici Unity nebo Unreal Engine 4. Pro oba dva enginy je nutné stáhnout plugin SteamVR, což je knihovna, která usnadňuje vývoj aplikací. Použitím OpenVR získáme větší integraci do platformy SteamVR a jejich nástrojů pro HTC Vive. Unity poskytuje základní API (rohraní pro programování aplikací) a funkce s kompatibilitou pro více zařízení. Podporuje import formátů FBX, OBJ, 3DS a umožňuje skriptování v jazycích C# a UnityScript. Unreal Engine podporuje formát FBX a skriptování v jazyce C++. [17][18][28]

Cena balíčku HTC Vive je 23 834 Kč (899 EUR), ale pro plné využití je zapotřebí výkoného počítače. Minimální technické parametry by měli být procesor Intel Core i5–4590, NVIDIA GeForce GTX 1060, 4 GB RAM, 1x HDMI 1.4 nebo Display Port 1.2, 1x USB 2.0 a operační systém Windows 7 SP1 nebo novější. Cena sestavy s minimálními požadavky je 12 000 Kč (500USD) a může se vyšplhat i na cenu kolem 100 000 Kč pro high-end sestavu. Minimální cena pro pořízení HTC Vive je tedy cca 38 000 Kč. [25][26]

Obr. 7 Zařízení HTC Vive a ovladače [44]

Oculus Rift

Oculus Rift (Obr. 8) byl vyvinut a je produkován společností Oculu VR, která spadá pod Facebook Inc. Obsahuje OLED displej s rozlišením 2160x1200, který je stejný, jako u konkurenta od HTC. Obnovovací frekvence je 90 Hz a poskytuje zorné pole 110°. Ovladač, který je dodáván k headsetu je k Xbox One, ale dá se samostatně dokoupit i ovladač navržen speciálně pro Oculus Rift nazvaný Oculus Touch. [27]

Pro vývoj je možné využít Unity a Unreal Engine. Součástí těchto enginů musí být sada Oculus SDK. Ta je u novějších verzí (Unity 5.1, Unreal Engine 4) implementována, pro starší verze je nutné tuto sadu doinstalovat ručně. Unity podporuje skriptování v jazyce C# a UnityScript, Unreal Engine pak skriptování v jazyce C++. Sadu Oculus SDK lze také využít k vývoji samostatných C++ aplikací. Další nástroj pro vývoj je InstantReality, poskytující jednoduché aplikační rozhraní pro vizualizaci a interakci ve virtuálním prostředí. Podporuje formáty VRML a X3D a skriptovací jazyky C#, Java a JavaScript. [17][19][30]

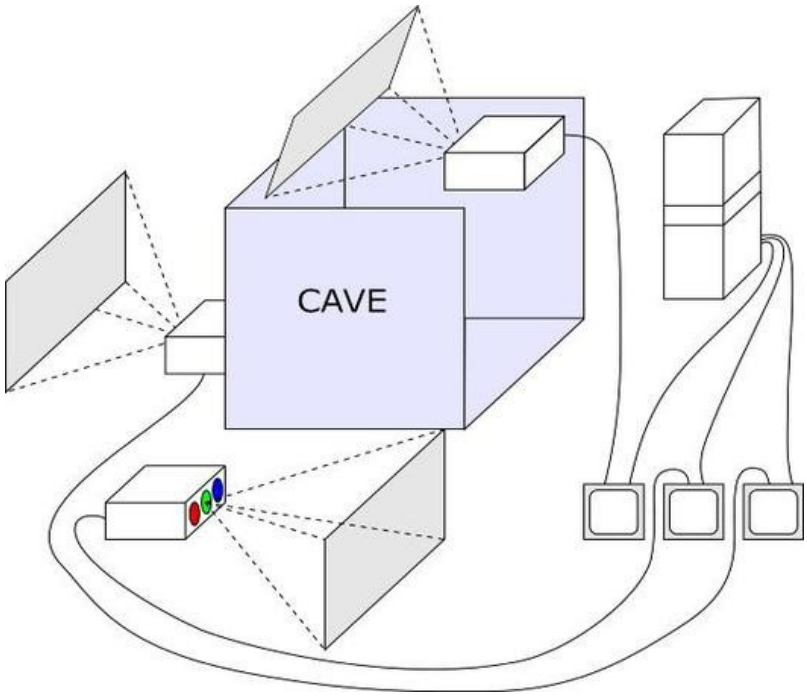
Cena Oculus Rift je 14 134 Kč (598 USD), ale jako u předchozího zástupce je nutné vlastnit počítač s určitými minimálními požadavky. Tyto minimální požadavky jsou grafická karta NVIDIA GTX 960, procesor Intel i5–4590, 8 GB RAM, kompatibilní HDMI 1.3 video výstup, 3x USB 3.0 a 1x USB 2.0 port a operační systém Windows 7 SP1 nebo lepší. Cena sestavy je tedy přibližně stejná pro obě zařízení, ale pro lepší zážitek je potřeba ještě dokoupit ovladač Oculus Touch, který vyjde na 2 340 Kč (99 USD). Pro provoz Oculus Rift při minimálním požadavcích zaplatíme 28 500 Kč. [29]

Obr. 8 Zařízení Oculus Rift [45]

3.2.2 CAVE

CAVE Automated Virtual Environment je příkladem plně imerzního systému na bázi místnosti. Byl vyvinut v roce 1992 skupinou vědců na Univerzitě Illinois. Byl navržen a implementován jako odezva na výzvu vytvoření vizualizačního systému pro více lidí, který používá velké plátna. Systém CAVE se od té doby pomalu zdokonalil. [8]

CAVE je obvykle kubické rozlohy (3m x 3m x 3m), která je posazena do větší zatemněné místnosti. Krychlový tvar se používá jako aproximace koule. Postranní stěny jsou vyrobeny z plátna se zadní projekcí, zatímco podlaha je vyrobena z plátna se spodní nebo zadní projekcí. Moderní systémy umí také promítat scény na strop a vytváří tak šesti–stranný CAVE. Zobrazované scény jsou odráženy zrcadly (Obr. 9) umístěnými a natočenými mezi projektory s vysokým rozlišením a plátny. [8]



Obr. 9 Promítání obrazu v systému CAVE [46]

První modely měly rozlišení 1024x768 nebo 1024x492 pixelů na plátno, každé plátno má obnovovací frekvenci 96Hz nebo 120Hz. Dnešní CAVE systémy využívají daleko vyššího rozlišení. Na každou stěnu se promítají dva vychýlené obrazy. Speciální brýle (shutter) nám umožní zobrazovat různé obrazy do každého oka. Díky tomu, uživatel používající tyto brýle, získá dojem 3D iluze. [8]

Interakce se systémem je zprostředkována několika způsoby. První způsob je přímý, kdy uživatelé používají gesta nebo pohled k ovládání scény. Dalším způsobem je fyzické ovládání, které je zprostředkováno použitím zařízení jako je ovladač nebo datová rukavice. Dalším způsobem je interakce s nějakým činidlem, což může být člověk nebo počítačem řízená bytost. [8]

Systémy CAVE se liší ve velikosti a vybavení, od malých prostředí až po velké scény mířené na veřejné exhibice a zábavu. Moderní CAVE systémy můžou být rozděleny do tří kategorií. Profesionální řešení, které jsou mířené pro specialisty. Další jsou domácí řešení, které můžou obsahovat méně stěn a nebo můžou být přenosné. Poslední je nízko-nákladové řešení. Příkladem je HIVE, který má tři stěny. Tyto systémy jsou používány především pro vzdělávání. [31]

Příkladem použití CAVE systému je aplikace pro studování molekulární struktury. Virtuální realita umožní vědcům získat lepší porozumění komplexních molekulárních struktur ve 3D. Dalším příkladem je simulace chování polovodičového laseru. Napřed simulace

vypočítá několik fixních bodů pro zadané parametry. Tyto body jsou startovní body simulace a uživatel si může vybrat, z které bodu uvedená simulace začne. Vypočítaná trajektorie je poslána do systému CAVE a je zviditelněna a může se s ní manipulovat. [31]

Pro CAVE je možné vyvíjet aplikace v enginu Unity s použitím pluginu MiddleVR nebo getReal3D. Unity poskytuje jednoduché rozhraní pro vývoj aplikací v mnoha systémech virtuální reality. Dalším nástroj, který se může použít je Unreal Engine 4, InstantReality nebo IC:IDO. [9][10][11]

Cena se pohybuje v řádově stovek tisíc korun a může se dostat i do milionů. Tato cena proto vylučuje rozšířené domácí použití a spíše se tyto systémy používají ve velkých společnostech, kterým se tato investice může vyplatit.

4 APLIKACE VR

Virtuální realita se v dnešní době používá v mnoha odvětvích, kde pomáhá v tréninku, vizualizaci nebo ve vzdělávání personálu, a to vše v bezpečném prostředí. Mezi tyto odvětví se řadí průmysl, zdravotnictví, vzdělávání, obchod, sport a telekomunikace. [22]

4.1 Průmysl

Ve strojírenství zahrnuje použití 3D modelovacích zařízení a vizualizačních technik jako součást návrhového procesu. Tato technologie umožní prohlédnout si projekt ve 3D a tím získat lepší porozumění o funkčnosti nebo odhalit případné nedostatky. Umožňuje to také dělat změny v návrhu, což šetří čas i peníze. Důležitá je také schopnost virtuální reality zobrazovat jemné detaily strojírenského produktu, aby zachovala iluzi. [22]

V automobilovém průmyslu je to prostředek pro zlepšení návrhu a výroby vozidel. Před implementací virtuální reality se musely nové návrhy otestovat vytvořením prototypů. Díky této technologii se nemusí spoléhat jen na fyzické prototypy. Vývoj může začít dříve a s více přístupy k testování a experimentování v průběhu návrhového procesu. Inženýři se můžou dostat do auta ve virtuálním prostředí a získat tak lepší porozumění, jak bude jejich design užíván zákazníky. To vede ke konstrukci vhodnějších modelů. Virtuální realita se také používá ke zjištění, jak se auto bude chovat na různých typech vozovky a jak budou fungovat bezpečnostní prvky v případě nehody. Potom se může předpovědět, jak budou spolu všechny bezpečnostní prvky spolupracovat, aby se zajistila co největší bezpečnost. [32][33]

Další využití virtuální reality je komerční a vojenské letectví. Mění směr, jakým tento průmysl operuje od trénování až po navigaci. Nejzřejmější aplikací virtuální reality v letectví je trénink. Letecké simulátory jsou tu již řadu let. Na profesionální úrovni, firmy (př. Boeing) vytvořily simulátor (Obr. 10), který se skládá z kokpitu letadla, kde okna byla nahrazena plátny. Tyto simulátory jsou efektivní, na druhou stranu jsou ale také drahé a objemné. [34]

Budování konstrukčního projektu ve virtuální realitě přináší řadu výhod. Jednou z výhod je schopnost otestovat množství faktorů dříve, než začneme se stavbou a tím zredukujeme počet chyb přítomných v hotové budově. Dalším faktorem, který můžeme otestovat je proveditelnost dané stavby a můžeme nasimulovat i vlastní konstrukci. Toto umožní stavebním firmám doladit konstrukční proces a zajistit maximální efektivnost. [22]

Obr. 10 Simulátor kokpitu letadla [47]

4.1.1 VR model výrobny železa

Použit byl VR systém skládající se z různých komponent jako komerční VR software, imerzivní ovladače, 3D projektor, emitor infračerveného záření, pracovní stanice, a shutter brýle pro stereoskopickou vizualizaci ve VR modelu prototypu. Konstrukce továrny byla docílena integrací různého softwaru a hardwaru s detailními plány hlavních zařízení a pomocných jednotek typické továrny používající dřevěné uhlí na výrobu železa. [35]

V první části byly vytvořeny 2D návrhy jednotlivých komponent v CAD programu. V druhé části byly tyto návrhy převedeny do 3D a byly na ně aplikovány realistické textury pomocí softwaru 3ds Max. Poslední fází byla konverze na model virtuální reality. To bylo provedeno použitím "pluginu" softwaru od firmy Siemens. Použitý software byl Comos Walkinside, který je kompatibilní s většinou CAD formátů. [35]

Použitím avatara dostupného ve VR aplikaci můžeme získat přístup ke všem částem továrny. Používá se pohled třetí osoby. Uživatel je schopen simulovat omezení, jako je gravitace, překážky, hrboly a skutečné rozměry reálného světa. Různé další funkce dostupné v aplikaci byly implementovány ve virtuálním modelu, jako 3D zvuk pro čerpadla, kompresory a alarm. Je také možné simulovat některé kritické situace jako požár a únik plynu. [35]

Tento projekt může být použit pro trénink pracovníků a technického personálu v továrnách tohoto typu. Může být také použit k vylepšení některých částí. Dále je to nástroj, který poskytuje technické informace návštěvníkům, studentům, výzkumníkům a výrobcům zařízení. Je to nástroj, který přispívá ke zdokonalení technik výuky a učení stejně jako aspektů konstrukčních operací a kontroly procesů. [35]

4.1.2 Aplikace VR ve výrobě

Virtuální realita může hrát velmi významnou roli při návrhu nového produktu. Uplatňuje se v návrhu designu a tvorbě prototypu. Virtuální realita poskytuje virtuální prostředí pro návrháře, kteří můžou vytvořit 3D návrh daného produktu. V tomto stadiu se můžou provádět funkční experimenty k vyhodnocení návrhu a případně se provedou modifikace. Virtuální "prototyping" může být použit před vytvořením fyzického prototypu k ověření alternativ designu, provedení analýzy, naplánování výrobního procesu nebo k získání odezvy od potenciálního zákazníka. [36]

Dále se uplatňuje při výrobním procesu. Výrobní proces můžeme rozdělit do tří kategorií: obrábění, montáž a inspekce. Virtuální obrábění zahrnuje vrtání, frézování, broušení atd. Tato technologie se používá ke studování faktorů ovlivňující kvalitu, čas a také relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. [36]

Virtuální montáž je klíčový element virtuální výroby a je definovaný jako "použití počítačových nástrojů k vytvoření nebo pomoci vytvořit rozhodnutí týkající se montáže za použití analýzy, prediktivních modelů, vizualizace a prezentaci dat bez realizace produktu nebo pomocných procesů". Používá se hlavně k prozkoumání montážních procesů, mechanických charakteristik nástrojů, vzájemný vztah mezi různými částmi a faktory ovlivňující kvalitu založenými na modelování a simulaci. [36]

Virtuální inspekce využívá této technologie k simulování inspekčního procesu, a fyzikálních a mechanických vlastností kontrolních zařízení. To má za cíl studovat metody kontroly, detekce kolize, plán kontroly, faktory ovlivňující přesnost kontrolního procesu a jiné. [36]

4.2 Zdravotnictví

Využití virtuální reality ve zdravotnictví zahrnuje simulaci operací, léčení fobií, robotickou chirurgii a trénink. Výhodou této technologie je, že pro jednotlivé aplikace vytváří bezpečné prostředí pro uživatele a nedochází k ohrožení pacientů. Používá se také jako prostředek pro diagnózu, kde spolu s dalšími testy pomáhá určit příčiny zdravotního problému. [22]

Chirurgové jsou nyní schopni provádět operace za pomoci robotů ve virtuální realitě. Jako relativně nová inovace, robotická operace umožňuje provádět přesné řezy, ale můžeme to sledovat pouze na obrazovce. S pomocí virtuální reality může chirurg provádět operace skrze "oči" robota. Problémem s implementováním této technologie je doba odezvy, která může při operaci hrát klíčovou roli. [39]

Schopnost naplánovat proces operace je nedílnou součástí přípravy. Možnost provést toto plánování v prostředí virtuální reality to posunuje ještě o kus dále. Konzultanti se mohou doslova procházet skenem mozku nebo těla (Obr. 11). [39]

Obr. 11 Plánování operace pomocí VR [48]

4.3 Vzdělávání

Virtuální realita je také nástroj ke vzdělávání. Jsme schopni prezentovat složité údaje přístupnou cestou a studenti můžou tyto objekty ovládat a tím se dozvědět více o daném problému. Toho může být využito například v astronomii pro prezentování solárního systému a jak funguje. Studenti můžou pohybovat planetami, prohlížet objekty ze všech stran nebo sledovat trajektorii komet. Toto jim také umožňuje vidět, jak se abstraktní koncepty chovají v 3D prostředí, což jím může usnadnit jejich pochopení. [22]

4.3.1 Molekulární prohlížeč

Caffeine je molekulární prohlížeč navržený pro moderní technologie imerzní virtuální reality. Je implementovaný v C++ použitím Qt framework a používá Open Babel jako základní zdroj informací. Dokáže zobrazit jak statické, tak i dynamické molekulární struktury, a číst z PDB, XYZ a Gaussian Cube formátů. Jako většina molekulárních prohlížečů podporuje grafické reprezentace jako "all–atoms" vizualizace a stužkové diagramy. [38]

Existují dvě hlavní verze. Jedna pro počítače a druhá pro systémy virtuální reality jako je CAVE. Verze pro virtuální realitu obsahuje funkce, které jsou speciálně dělané pro CAVE systémy. Je to například korekce lichoběžníkového zkreslení obrazu a možnost nastavit bod

pohledu a parametry projekce virtuální kamery jako funkci pozice a orientace hlavy uživatele, abychom dosáhli koherentní stereoskopické vizualizace. Ovládání je uskutečněno pomocí jednoduché aplikace pro mobilní zařízení (např. tablet), což nám umožní rotovat, posouvat, zvětšovat–zmenšovat molekulární systém a přehrávat trajektorie. [38]

4.4 Vojenské složky

Dalším odvětvím, kde se uplatňuje virtuální realita jsou vojenské složky. Používá se hlavně pro trénink jednotlivých jednotek (armáda, námořnictvo a letectvo). Virtuální realita umožňuje nácvik bojových simulací bez rizika smrti nebo vážného zranění. Trénink se provádí pomocí HMD se zabudovaným systémem sledování a datovou rukavicí pro interakci ve virtuálním prostředí. [22]

Společnost Plextek vytváří tréninkové simulace pro britské Ministerstvo obrany od konce 80. let 20. století. Specializuje se pro vytváření tréninkových programů pro armádní zdravotníky. Tradičně by se sestrojila mohutná kabina, v které by se mohla vyzkoušet teorie, jak např. Obvázat zranění pod nepřátelskou palbou aj. Tato prostředí by se pohybovala v řádech milionů liber. S příchodem virtuální reality a HMD se tato cena pohybuje v řádech desítek tisíc. [39]

Plextek není jediným vojenským dodavatelem, který experimentuje s virtuální realitou. V Jižní Korei, DoDAAM poskytuje celou řadu programů. V jednom se používá postroj, zavěšený ze stropu a HMD simuluje let padákem (Obr. 12). Uživatel musí navádět padák na dopadovou plošinu zatímco mu průmyslový ventilátor, který simuluje reálné podmínky, fouká vzduch do obličeje. Další je navržen k tréninku odstřelovačů a jejich pozorovatelů. Odstřelovač si lehne na zem v obrovském klenutém prostředí a je mu promítnuta scéna města. Pozorovatel používá Oculus headset jako dalekohled, aby vybral cíl pro svého partnera. [39]

Obr. 12 Simulace seskoku s padákem [39]

5 ZHODNOCENÍ POUŽITÍ VR

V této části se budeme zabývat hodnocením použití zařízení virtuální reality pro různé aplikace vzhledem k jejich náročnosti a také zohledníme ekonomickou efektivitu použití vzhledem k pořizovací ceně a nároků na provoz.

První technologie, na kterou se zaměříme, je Powerwall. Používá se v případech, kdy potřebujeme mít větší přehled o tom, co právě zkoumáme nebo chceme prezentovat. Její použití zahrnuje např. návrh nového výrobku nebo ukázka daného výrobku zákazníkovi. Této technologie využívají automobilové společnosti, které ji používají pro zhodnocení nového designu, protože se tohoto hodnocení může zúčastnit více lidí ve stejných podmínkách. Může být také použita k prezentaci návrhu zákazníkovi, který se může podílet na jejím zdokonalení. Powerwall může promítat 2D nebo 3D obraz. Tato skutečnost a relativně velký rozptyl cen komponent ji dělá vhodnou technologií i pro vzdělávání. Může se použít ve školách, knihovnách aj.

Immersa desk se používá především ke konstrukci nebo návrhu různých objektů. Poskytuje kvalitní 3D vizualizaci pro jednoho člověka. Pokud požadujeme možnost použití pro více lidí, není tato technologie příliš vhodná, protože sledována je pouze jedna osoba, která má nasazený headset. Rozměry také nepodporují použití pro více osob.

HMD poskytuje asi nejširší možnosti použití z popsaných zařízení. Používá se v celé řadě aplikací. Mezi ně patří návrh a úprava komponent v CAD programech, trénink osob v různých oborech (zdravotnictví, armáda, atd.), léčba fobií, atd. Na trhu existuje celá řada headsetů, z nichž nejvýkonnější a nejdražší je HTC Vive s cenou cca 26 000 Kč. Pro provoz je potřeba i dostatečně výkonný počítač. Cena požadovaných sestav se pohybuje od 12 000 Kč. Skutečnost, že hodně lidí, kteří by si tuto technologii chtěli vyzkoušet již odpovídající sestavu vlastní, podporuje použití i v domácnostech. Velké využití zaznamenává v herním průmyslu. Pro HDM se vyvíjí čím dál víc aplikací, ať už to jsou hry nebo jiný software.

CAVE je cenově i prostorově nejnáročnější z uvedených technologií. Používá se především v automobilových společnostech, kterým se tato investice může vyplatit přilákáním nových zákazníků. Poskytuje kvalitní obraz a imerzi pro více osob, což ji dělá vhodnou pro prezentace. Dalším použitím může být pro výzkum v různých vědních oborech.

6 ZÁVĚR

V bakalářské práci je zpracována rešeršní studie na téma studie o současném stavu virtuální reality. Cílem bylo seznámit se s problematikou virtuální reality, uvést jednotlivé technologie pro zobrazení virtuální reality a interakci s virtuální realitou, sepsat možná použití virtuální reality ve vědních oborech a nakonec zhodnotit tato použití z ekonomického hlediska a hlediska vhodnosti použití.

V úvodu bakalářské práce je představena problematika virtuální reality. Je zde řečeno, co to virtuální realita je, její účel a možné definice. V další části jsou popsána jak zařízení pro interakci s prostředím virtuální reality, tak i samotná zařízení pro její zobrazování. Jsou zde uvedeny přístroje pro interakci a to datová rukavice, 3D myš, CAT a ovladače. Je zde popsáno, jak tyto zařízení pracují a možnosti jejich použití. Datová rukavice se používá pro manipulaci virtuální scény nebo tam, kde se pro ovládání využívá pohybů částí ruky. Hlavní využití 3D myši je v modelovacích programech jako je AutoCAD nebo Inventor. CAT se nepoužívá tak, jako předchozí dvě zařízení, ale najde své uplatnění v systémech CAVE nebo Powerwall pro snadnou manipulaci virtuálního prostředí.

Zařízení pro zobrazení virtuální reality se nejprve rozdělily do dvou skupin a to plně a částečně imerzní systémy. Částečně imerzní systémy nedokáží účastníka plně vtáhnout do virtuální reality na rozdíl od plně imerzních. Tyto dvě skupiny byly dále rozděleny na používané zařízení, u kterých se uvedla základní charakteristika daného zařízení a bylo popsáno, jak jednotlivá zařízení fungují a z jakých komponent se skládají. V případě HMD se blíže specifikovala zařízeni HTC Vive a Oculus Rift, které se řadí mezi nejvýkonnější produkty v této kategorii. Byl zmíněn i zástupce rozšířené reality, brýle Microsoft Hololens. Pro jednotlivé kategorie byly uvedeny možnosti jejich použití a cena. U každého zařízení byl uveden software umožňující vývoj aplikací. Univerzálními nástroji pro vývoj aplikací, které se mohou použít u většiny zařízení je Unity a Unreal Engine 4. Pro Powerwall nebo CAVE se dá využít ještě InstantReality nebo IC:IDO. Dalšími příklady softwaru je OpenVR pro HTC Vive a Oculus SDK pro Oculus Rift.

Další část byla věnována použití virtuální reality v různých oborech. Jsou zde uvedeny příklady použití v průmyslu, zdravotnictví, vzdělávání a ve vojenských složkách. Využití virtuální reality v průmyslu je celá řada, od strojírenství, automobilového a leteckého průmyslu až po architekturu. Ve strojírenství se virtuální realita používá pro návrh, kontrolu nebo prezentaci výrobků. V automobilovém průmyslu se používá k vytváření prototypů, prezentaci a otestování návrhů designu. Používá se také pro trénink nebo školení personálu. V zdravotnictví se používá hlavně pro trénink a plánování zákroků. K provádění operací ve virtuální realitě pomocí robotů by bylo zapotřebí eliminovat odezvu úplně, jelikož může mít negativní dopad na výsledek. Ve vzdělávání se používá k prezentaci informací způsobem, který může pomoci k lepšímu vstřebání informací než 2D podklady. Použití ve vojenských složkách je hlavně výcvikového charakteru.

Poslední část byla věnována zhodnocení vhodnosti použití jednotlivých zařízení pro různé aplikace. Na základě předem zpracovaných informací se vyvodila vhodnost použití z hlediska funkčního a ekonomického. Největší rozsah použití je u HMD. Relativně nízká pořizovací cena, nároky na prostor a použití systému, který odpovídá běžné herní sestavě, dělá tento systém ideální i pro domácí použití. Powerwall a CAVE jsou prostorově i cenově

náročnější. Powerwall se používá ve firmách, školách nebo i knihovnách k prezentaci, vzdělávání nebo vytváření obsahu. CAVE, jehož cena se pohybuje řádově ve stovkách tisíc až milionů najde uplatnění ve vědeckých odvětvích pro výzkum nebo v automobilkách, kterým se tato investice může vrátit přilákáním nových zákazníků.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] FUCHS, Philippe, Guillaume MOREAU a Pascal GUITTON, ed. *Virtual reality: concepts and technologies*. 2e édition. Boca Raton, FL: CRC Press, 2011. ISBN 04-156-8471-4.

[2] Acceleglove Applications. *META Motion* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://metamotion.com/hardware/motion-capture-glove-applications.html

[3] Data Gloves. *Fifth Dimension Technologies* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.5dt.com/data-gloves/

[4] SpaceMouse. *Virtual Realities* [online]. League City (Texas), c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.vrealities.com/products/3d-controllers/spacemouse

[5] SpaceControl [online]. Seefeld [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.spacecontrol.us/spacecontrol-3d-maus-spacecontroller.html

[6] *3Dconnexion* [online]. [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.3dconnexion.cz/

[7] HACHET, Martin, Pascal GUITTON a Patrick REUTER. The CAT for efficient 2D and 3D interaction as an alternative to mouse adaptations. *Proceedings of the ACM symposium on Virtual reality software and technology - VRST '03*. New York, New York, USA: ACM Press, 2003, , 225-. DOI: 10.1145/1008653.1008689. ISBN 1581135696 Dostupné také z:http://portal.acm.org/citation.cfm?doid=1008653.1008689

[8] MUHANNA, Muhanna A. Virtual reality and the CAVE: Taxonomy, interaction challenges and research directions. *Journal of King Saud University - Computer and Information Sciences*. 2015, **27**(3), 344-361. DOI: 10.1016/j.jksuci.2014.03.023. ISSN 13191578. Dostupné také z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S1319157815000439

[9] MiddleVR for Unity. MiddleVR [online]. c2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.middlevr.com/middlevr-for-unity/

[10] GetReal3D fo Unity. Mechdyne [online]. c2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.mechdyne.com/software.aspx?name=getReal3D+for+Unity

[11] IC.IDO: 3D Immersive Product Experience. ESI Group [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-reality/icidoindustrial-grade-immerive-vr-solution

[12] COSTELLO, P. J. *Health and safety issues associated with virtual reality : A review of current literature*. Loughborough: Advisory Group on Computer Graphics, 1997.

[13] Powerwall Display. *Mepits* [online]. 2015 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://www.mepits.com/tutorial/360/Trending-Technologies/Powerwall-

[14] Hands on: Microsoft HoloLens review. *Techradar* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.techradar.com/reviews/wearables/microsoft-hololens-1281834/review

[15] Here's what the Microsoft HoloLens can do for designers and artists. *Digital Arts* [online]. 2017 [cit.2017-05-19]. Dostupné z: http://www.digitalartsonline.co.uk/features/creative-hardware/heres-what-microsoft-hololens-can-dofor-designers-artists/

[16] What's Inside Microsoft's HoloLens And How It Works. *Tom's HARDWARE* [online]. 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.tomshardware.com/news/microsoft-hololens-components-hpu-28nm,32546.html

[17] *Unity* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://unity3d.com/

[18] SteamVR Developers. Steam [online]. c2015 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://support.steampowered.com/kb_article.php?ref=1131-WSFG-3320

[19] Oculus Developer Center [online]. c2017 [cit. 2017-05-22]. Dostupné z: https://developer.oculus.com/

[20] *Microsoft* [online]. Redmond (Washington), c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://www.microsoft.com/cs-cz/

[21] The Ultimate Guide to Virtual Reality Technology. *Reality Technologies* [online]. c2016 [cit. 2017-0-19]. Dostupné z: http://www.realitytechnologies.com/virtual-reality

[22] *Virtual Reality Society* [online]. c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://www.vrs.org.uk/

[23] Accelerometer vs. Gyroscope: What's the Difference? *Live Science* [online]. 2013 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.livescience.com/40103-accelerometer-vs-gyroscope.html

[24] HTC Vive review. *TechAdvisor* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.pcadvisor.co.uk/review/wearable-tech/htc-vive-review-2017-3635648/

[25] Vive [online]. c2011-2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://www.vive.com/eu/

[26] Building a PC for Virtual Reality: Oculus Rift, HTC Vive, and VR Gaming. *Logical Increments* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.logicalincrements.com/articles/vrguide

[27] Oculus Rift hands-on review. *TechAdvisor* [online]. 2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.pcadvisor.co.uk/review/wearable-tech/oculus-rift-review-hands-on-experience-design-ukprice-drop-release-date-3643626/

[28] Unreal Engine [online]. c2004-2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://www.unrealengine.com/enUS/blog

[29] Oculus [online]. c2017 [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: https://www.oculus.com/

[30] Instantreality [online]. [cit. 2017-05-20]. Dostupné z: http://www.instantreality.org/

[31] MANJREKAR, Siddhesh, Shubhrika SANDILYA, Deesha BHOSALE, Sravanthi KANCHI, Adwait PITKAR a Mayur GONDHALEKAR. CAVE: An Emerging Immersive Technology -- A Review. 2014 UKSim-AMSS 16th International Conference on Computer Modelling and Simulation. IEEE, 2014, , 131-136. DOI: 10.1109/UKSim.2014.20. ISBN 978-1-4799-4922-9. Dostupné také z: http://ieeexplore.ieee.org/document/7046051/

[32] How Virtual Reality Tech is Changing the Auto Industry. *Ally* [online]. 2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://www.ally.com/do-it-right/car/how-virtual-reality-tech-is-changingthe-auto-industry/

[33] Virtual Reality for Automotive. *ESI Group* [online]. Paris, c2017 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: https://www.esi-group.com/software-solutions/virtual-reality/virtual-reality-automotive

[34] How Reality Technology is Used in Aviation. *Reality Technologies* [online]. c2016 [cit. 2017-05-19]. Dostupné z: http://www.realitytechnologies.com/aviation

[35] VIEIRA, Cláudio Batista, Varadarajan SESHADRI, Ricardo Augusto Rabelo OLIVEIRA, Pablo REINHARDT, Patrícia Moreira Procópio CALAZANS a José Batista VIEIRA FILHO. Applying virtual reality model to green ironmaking industry and education: 'a case study of charcoal mini-blast furnace plant'. *Mineral Processing and Extractive Metallurgy*. 2017, **126**(1-2), 116-123. DOI: 10.1080/03719553.2016.1278516. ISSN 0371-9553. Dostupné také z: https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03719553.2016.1278516

[36] MUJBER, T.S., T. SZECSI a M.S.J. HASHMI. Virtual reality applications in manufacturing process simulation. *Journal of Materials Processing Technology*. 2004, **155-156**, 1834-1838. DOI: 10.1016/j.jmatprotec.2004.04.401. ISSN 09240136. Dostupné také z: http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0924013604005618

[37] How virtual reality is shaping the healthcare industry. VR Bound [online]. c2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.vrbound.com/features/how-virtual-reality-is-shaping-the-healthcare-industry

[38] SALVADORI, Andrea, Gianluca DEL FRATE, Marco PAGLIAI, Giordano MANCINI a Vincenzo BARONE. Immersive virtual reality in computational chemistry: Applications to the analysis of QM and MM data. *International Journal of Quantum Chemistry*. 2016, **116**(22), 1731-1746. DOI: 10.1002/qua.25207. ISSN 00207608. Dostupné také z: http://doi.wiley.com/10.1002/qua.25207

[39] How VR is training the perfect soldier. Wareable [online]. 2015 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.wareable.com/vr/how-vr-is-training-the-perfect-soldier-1757

[40] Alza.cz [online]. c1994-2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: https://www.alza.cz/

[41] CAT – Control Active Table. Immersion [online]. [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://www.immersion.fr/en/cat-control-active-table/

[42] Projectors Christie 4K DLP in the center of the Fendt company virtual reality powerwall. Digital AV Magazine [online]. 2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.digitalavmagazine.com/en/2013/04/18/proyectores-christie-4k-dlp-en-el-powerwall-del-ce ntro-de-realidad-virtual-de-la-empresa-fendt/

[43] Microsoft opens HoloLens developer pre-orders as new hardware details arrive. Pocketnow [online]. 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://pocketnow.com/2016/02/29/hololens-pre-orders

[44] For this gadgethead, the HTC Vive may force my Oculus Rift to collect dust. Ars Technica [online]. 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://arstechnica.com/gaming/2016/05/why-vive-has-wonthe-early-vr-race-in-my-house/

[45] Oculus - Rift Headset for Compatible Windows PCs - Black. Best Buy [online]. c2017 [cit. 2017-0- -21]. Dostupné z: http://www.bestbuy.com/site/oculus-rift-headset-for-compatible-windows-pcs-black/4932000.p?skuId =4932000

[46] The CAVE Virtual Reality System. WritingAndMultimedia [online]. c2017 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://writingandmultimedia.wikispaces.com/The+CAVE+VR+System

[47] DOES FLIGHT SIMULATION PREPARE PILOTS FOR FLYING A REAL PLANE? Fly Away Simulation [online]. 2012 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: https://flyawaysimulation.com/news/4492/

[48] Fighter pilots invented a revolutionary way for surgeons to peer inside people's skulls. Business Insider [online]. 2016 [cit. 2017-05-21]. Dostupné z: http://www.businessinsider.com/virtual-reality-brain-surgery-2016-7

[49] Projekční plátna. PRODANCE [online]. c2017 [cit. 2017-05-23]. Dostupné z: http://www.prodance.cz/projekcni-platna?sort_method_id=1&direction=2#filters

8 SEZNAM ZKRATEK, SYMBOLŮ, OBRÁZKŮ A TABULEK

8.1 Seznam zkratek

Atd. - a tak dále
např. - například
cca - circa
aj. - a jiné
obr. - obrázek

8.2 Seznam obrázků

Obr. 1 Data Glove 5 Ultra [3] …… 20
Obr. 2 3D myš SpaceMouse Enterprise [40] ……..…….... 21
Obr. 3 Způsob provedení CAT plošiny [41] ……...……... 21
Obr. 4 Rozdělení systémů virtuální reality ……...……... 23
Obr. 5 Umístění kamer pro tracking [42] ……..……. 24
Obr. 6 Části brýlí Hololens [43] ……..…… 26
Obr. 7 Zařízení HTC Vive a ovladače [44] ……...…….. 28
Obr. 8 Zařízení Oculus Rift [45] ……..…… 29
Obr. 9 Promítání obrazu v systému CAVE [46] …….. 30
Obr. 10 Simulátor kokpitu letadla [47] ……..……. 33
Obr. 11 Plánování operace pomocí VR [48] …...…… 35
Obr. 12 Simulace seskoku padákem [39] ……..…….. 36