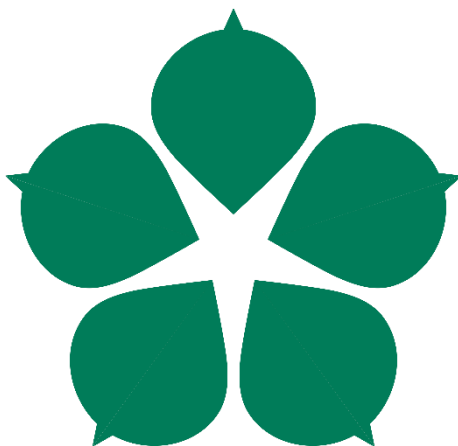


**Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích
Přírodovědecká fakulta**



Interaktivita v prostředích s prostorovým zobrazováním

Diplomová práce

Bc. Tomáš Severa

Vedoucí práce: PhDr. Miloš Prokýšek, Ph.D.

České Budějovice 2017

Severa, T., 2017: Interaktivita v prostředích s prostorovým zobrazováním.

[Interactivity in an environment with spatial visualization. Mgr. Thesis, in Czech] – 85 p.,
Faculty of Science, University of South Bohemia, České Budějovice, Czech Republic.

Prohlášení

Prohlašuji, že svoji diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu citované literatury. Prohlašuji, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb. v platném znění souhlasím se zveřejněním své diplomové práce, a to v nezkrácené podobě elektronickou cestou ve veřejně přístupné části databáze STAG provozované Jihočeskou univerzitou v Českých Budějovicích na jejich internetových stránkách, a to se zachováním mého autorského práva k odevzdanému textu této kvalifikační práce. Souhlasím dále s tím, aby toutéž elektronickou cestou byly v souladu s uvedeným ustanovením zákona č. 111/1998 Sb. zveřejněny posudky školitele a oponentů práce i záznam o průběhu a výsledku obhajoby kvalifikační práce. Rovněž souhlasím s porovnáním textu mé kvalifikační práce s databází kvalifikačních prací Theses.cz provozovanou Národním registrem vysokoškolských kvalifikačních prací a systémem na odhalování plagiátů.

V Českých Budějovicích dne 18.04.2017

.....

Tomáš Severa

Název:

Interaktivita v prostředích s prostorovým zobrazováním

Autor:

Bc. Tomáš Severa

Katedra:

Ústav aplikované informatiky

Školitel:

PhDr. Miloš Prokýšek, Ph.D.

Abstrakt:

Předmětem diplomové práce je zkoumání fenoménu prostorového zobrazení a rozdílných způsobů interakce. Práce se zabývá problematikou interaktivity a vymezení jednotlivých specifíků rozdílných technologií. V rámci práce jsou jednotlivé koncepty empiricky ověřovány. Práce usiluje o nalezení specifíků požadavků na interakci v rámci prostorového zobrazení.

Klíčová slova:

Prostorové zobrazení, interakce, interaktivní prostředky, rozšířená realita, virtuální realita, specifikace interaktivních prostředků.

Title:

Interactivity in an environment with spatial visualization

Author:

Bc. Tomáš Severa

Department:

Department of Applied Informatics

Supervisor:

PhDr. Miloš Prokýšek, Ph.D.

Abstract:

This work deals with the phenomena of spatial visualization and interaction of different ways. Thesis definition of interactivity and individual specifications of different technologies. In this work the terms empirically verified. Practical part is trying to find specific requirements for interaction in different types of spatial visualization.

Keywords:

Spatial visualization, interaction, interactive devices, augmented reality, virtual reality, specification of interaction devices

Poděkování

Děkuji PhDr. Miloši Prokýškovi, Ph.D., za odborné vedení a především motivující vedení při vypracování této diplomové práce

Obsah

1	Úvod.....	7
2	Vymezení výzkumného pole, cílů a úkolů práce	10
2.1	Formulace výzkumného problému	11
2.2	Cíle a úkoly práce	11
2.3	Výzkumné metody	12
3	Vymezení základních pojmů	13
3.1	Vymezení pojmů v oblasti prostorového zobrazení.....	13
3.2	Funkčně-technologické charakteristiky prostorového zobrazování	24
3.3	Vymezení základních pojmů interaktivity	26
3.4	Funkčně-technologické charakteristiky interaktivních prostředků	28
4	Technologie prostorového zobrazení.....	29
4.1	Technologie rozšířené reality (AR)	30
4.2	Technologie rozšířené virtuality (AV).....	36
4.3	Technologie virtuální reality (VR)	38
4.4	Technologie holografické projekce	42
5	Technologie interaktivních prostředků	43
5.1	Zařízení využívající inerciální senzorky	43
5.2	Zařízení založená na zpracování obrazu	45
5.3	Datové / Haptické rukavice	47
5.4	Zařízení založené na sledování polohy uživatele / objektu	49
5.5	Neurologické snímání	49
5.6	Speciální zařízení.....	50
6	Klasifikace zkoumaných technologií.....	51
7	Praktická část.....	53
7.1	Analýza	53
7.2	Popis experimentů.....	54
7.3	Souhrnná klasifikace experimentů	64
7.4	Technické řešení 3DIY pyramidy	66
7.5	Dotazníkové šetření.....	67
8	Závěr	73
9	Seznam použité literatury	74
10	Seznam obrázků.....	80
11	Seznam tabulek	82
12	Přílohy	83

1 Úvod

Předmětem diplomové práce je problematika interaktivity v prostorovém zobrazení. Práce vychází z obecného předpokladu, že rozdílné způsoby zobrazení vyžadují zároveň i odlišné formy interaktivity. Obsah práce se zaměřuje na nalezení těchto odlišností a specifikaci požadavků na interaktivitu či omezení u rozdílných metod prostorového zobrazení.

První známé záznamy, které se zabývají prostorovým zobrazením, můžeme datovat kolem roku 1020, kdy se arabský vědec Alhazen zabýval optikou a lomem světla¹. Od roku 1838 se již objevují jednoduchá zařízení, která využívají stereoskopického² zobrazení.³ V průběhu 90. let minulého století můžeme zaznamenat řadu experimentu zabývajících se právě prostorovým zobrazením, ovšem až s rozvojem nových technologií v oblasti ICT⁴ lze pozorovat silící trend, který se zaměřuje právě na oblast prostorového zobrazení. Díky tomu jsou zařízení, které byla představitelná pouze v laboratorních podmínkách, nyní k dispozici i běžným uživatelům. Příkladem takových zařízení jsou 3D televizory, kterých se v roce 2015 prodalo téměř 160 milionů.⁵

Jak již bylo zmíněno prostorové zobrazení, je oblastí ICT, která se v poslední době výrazně akceleruje a současně lze zaznamenat silící diverzifikaci jednotlivých technologických řešení. Vedle již klasických technologií, založených převážně na binokulární paralaxy⁶, vznikají i zařízení pracující s holografickou projekcí⁷ či technologie pracují na principu přímého zobrazení v prostoru a reprodukci světelného pole.^{8,9} V návaznosti na druhu použité technologie a zvolené implementaci může mít prostorové zobrazení nejrůznější podoby.

¹ *Ibn al-Haytham ARAB ASTRONOMER AND MATHEMATICIAN* [online]. www.britannica.com [cit. 2016-08-24]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Ibn-al-Haytham>

² Stereoskopie: způsob projekce do levého a pravého oka, která vytváří iluzi prostorového zobrazení.

³ *Stereoscopic cinema*. Lexington, Ky.: The University Press of Kentucky, c2007, s. 9-13. ISBN 0813124611.

⁴ ICT – informačně komunikační technologie

⁵ Shipments of 3D TVs worldwide from 2010 to 2015 (in million units). www.statista.com [online]. [cit. 2016-11-27]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/272956/forecast-of-worldwide-3d-tv-sales/>

⁶ *Enhanced visualization: making space for 3-D images*. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience, c2007, s. 74-80. ISBN 9780471786290.

⁷ *An updatable holographic display for 3D visualization* [online]. In: . 2014 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/224137514_Materials_for_an_Updatable_Holographic_3D_Display

⁸ *Collaborative Interaction with Volumetric Displays* [online]. In: . 2008 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008_collaborativevolumetric.pdf

⁹ *A light field of Michelangelo's statue of Night* [online]. 1999 [cit. 2016-11-30]. Dostupné z: <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/lightfield-of-night/>

Existuje i řada dalších aplikačních projektů využívajících nejrůznějším způsobem prostorového zobrazení jak pro vizualizaci specifických reálných objektů, tak i objektů virtuálních či komplexních simulací, ale i řadu dalších informací, které se snaží zprostředkovat uživateli prostorové zobrazení. Z hlediska uplatnění postupně prostorové zobrazení nachází využití v řadě aplikačních sfér od technických oborů, přírodních věd, medicíny, matematiky, ale i vojenského uplatnění. Především nesmíme opomenout rozvoj v oblasti herního průmyslu, kinematografie a spotřební elektroniky.

Vztah vstupně – výstupních zařízení

V průběhu vývoje ICT prostředků, lze vysledovat trend souvisejících změn v oblasti dané reprezentace dat a způsobu interakce. Přičemž je možné konstatovat, že zařízení vyvinutá pro zobrazení mají přímý vliv na vývoj zařízení určených k interakci s daným systémem.

Z hlediska moderní historie byl jedním z prvních zástupců počítačů systém ENIAC. Práce na tomto systému začala již v roce 1944 a byla financována armádou Spojených států. Systém ENIAC byl sálovým počítačem, který měl velice limitovanou vnitřní paměť. Vstup i výstup u tohoto systému tvořily nejběžněji děrné štítky, které si lze představit jako sekvenci znaků – povelů, jež měl daný systém vykonávat. Po vykonání dané sekvence povelů systém navrátil výsledek, opět ve formě sekvence. Z pohledu interakce neměl uživatel téměř žádnou možnost zasahovat do zpracování povelů, či sledování daného stavu zpracování.¹⁰

S vývojem v šedesátých letech souvisí i změny ve způsobu interakce. Nově byly vyvíjeny systémy, které umožňovaly přímé zadání povelů. Jedním z prvotních zařízení určených k přímé interakci byla raná podoba klávesnice. V kombinaci s terminály, určených k zobrazení informace (VDI)¹¹, získal uživatel okamžitou odezvu o právě vykonávaném povelu a jeho výsledku.¹² Vůbec prvním zařízením pro interakci, pracujícím v rámci dvourozměrného prostoru je považován Sketchpad vyvinutý v roce 1962. Tento způsob interakce se stal revolučním díky přístupu, který umožňoval pracovat uživateli zcela odlišným způsobem než zadáváním jednotlivých povelů a stalo se tak předlohou pro většinou dalších zařízení. O rok později byla vynalezena myš, která se svou podobou a mechanismem velice přibližuje současnému zařízení.

¹⁰ *The first computers: history and architectures*. Cambridge, Mass [u.a.]: MIT Press, 2002, s. 73-76. ISBN 9780262681377.

¹¹ Video-display-terminal: prvotní jednoduché monitory, které obvykle pracovali s mono-zobrazením.

¹² *Hardware bible: [your complete guide to all PC's and all peripherals]*. 6th ed. Indianapolis, Ind.: Que, 2003, s. 694-696. ISBN 9780789728593.

Zatímco myš v 70. letech nebyla běžně používána, v současnosti společně v kombinaci s klávesnicí se jedná o nejběžnější zařízení určené k interakci s ICT¹³. Revoluce v oblasti ICT v 80. letech přinesla první grafické systémy – GUI¹⁴, zapříčinila právě masové rozšíření těchto zařízení. Jedním z faktů, který bezesporu přispěl k rozšíření ICT, je forma interakce. Uživatel již nebyl odkázán na znalost jednotlivých příkazů, ale v rámci systému pracoval s grafickými prvky.^{15 16}

Lze se domnívat, že prostorové zobrazení má určitá percepční specifika v porovnání s plošným zobrazením¹⁷. Posun od plošného zobrazení k prostorovému zobrazení, lze též vnímat jako přirozený vývoj, který umožnil rozvoj moderních technologií a výpočetního výkonu současných zařízení. Interakce v rámci prostorového zobrazení musí zároveň zohlednit dané technologické řešení, ale i aplikační určení.

Zkoumání interaktivity v rámci prostorového zobrazení je stále v rané fázi vývoje. Tato diplomová práce usiluje o zmírnění uvedené disproporce. Základním záměrem práce je provést identifikaci a analýzu dostupných technologií prostorového zobrazení a technologií použitelných k interakci.

Pro hledání odpovědí na výzkumné otázky plynoucí z hlavního problému a plnění dílčích cílů a úkolů práce derivovaných z hlavního cíle bylo užito teoretických i empirických metod. Z teoretických metod byly užity tyto teoretické metody: analýza, komparace a případně reinterpretační jak primárních pramenů, tak pramenů sekundárních. Tento teoretický výzkum použitý v první části práce poslouží ke zmapování současného stavu ve zkoumané oblasti. Empirické metody použité v rámci realizace výzkumných projektů, jejichž cílem bylo ověřit teoretické předpoklady užití daných technologií pro interakci v rámci prostorového zobrazení.

Práce je členěna do několika základních úzce souvisejících částí. V úvodu je po vymezení výzkumného pole, cílů a úkolů práce pozornost věnována zejména základnímu pojmovému aparátu, který tvoří spolu s identifikací výzkumného problému a specifikací výzkumných otázek výchozí bod pro stanovení cílů práce. Další část práce je věnována teoretickým základům prostorového zobrazení, a především jednotlivých aspektů interakce. Dále jsou

¹³ Telefunken's "Rollkugel". [Http://www.oldmouse.com](http://www.oldmouse.com) [online]. [cit. 2016-09-01]. Dostupné z: <http://www.oldmouse.com/mouse/misc/telefunken.shtml>

¹⁴ GUI – Graphic user interface

¹⁵ *HCI remixed: essays on works that have influenced the HCI*. London: MIT Press, c2008, s. 45-50. ISBN 978-0-262-05088-3.

¹⁶ Apple Lisa I Mouse. [Http://www.oldmouse.com](http://www.oldmouse.com) [online]. [cit. 2016-09-01]. Dostupné z: <http://www.oldmouse.com/mouse/apple/lisa.shtml>

¹⁷ Plošné zobrazení – zobrazení, které pracuje v omezeném prostoru.

zkoumány jednotlivé technologie z hlediska funkčně technologických specifik se záměrem vytvořit příslušnou kategorizaci jednotlivých technologií, která bude využita pro nalezení společných rysů a požadavků. Na tuto teoretickou část práce navazuje část orientovaná empiricky. V této části jsou popsány jednotlivé experimenty a jejich výsledky. Práce pak dospívá do poslední části shrnující závěry předchozích kapitol.

Výsledkem práce by měla být identifikace a analýza problematiky interakce v rámci prostorového zobrazení. Práce tudíž usiluje o nalezení jednotlivých specifik, hodlá podat přehled technologií teoreticky použitelných pro interakci v rámci rozdílných způsobů prostorového zobrazení, včetně nalezení možných rozdílů způsobu interakce oproti plošným systémům.

2 Vymezení výzkumného pole, cílů a úkolů práce

Diplomová práce se zabývá problematikou interakce z pohledu rozdílných způsobů vyobrazení informace, především pak prostorovému zobrazení. Předmětem zájmu této práce jsou již zavedené interaktivní prostředky, ale i technologie ve stádiu experimentálním či laboratorním, které predikují budoucí možné využití. Studie se tudíž zabývá relativně širokým spektrem technologií, přičemž nemůžeme vycházet z obecně přijímaného konceptu, či zavedené kategorizace dané oblasti technologií z hlediska funkčního nebo percepčního. Představitelé jednotlivých technologií jsou podrobeny zkoumání z hlediska funkčního a percepčního, zároveň jednotlivé představitelé technologií práce zkoumá z hlediska jejich budoucího potenciálu.

Práce vychází z obecně intuitivního předpokladu, že prostorové zobrazení se stane všedně využívaným prostředkem a jako důsledek lze očekávat vznik rozdílných požadavků pro metody interakce. Uvedený předpoklad rozšíření prostorového zobrazení vychází z dostupných informací a současného vývoje v oblasti ICT. Dosavadní práce se zabírají problematikou prostorového zobrazení z pohledu rozdílných funkčních konceptů, ale řeší neuspokojivě jednotlivé požadavky na interaktivitu spojené s odlišnostmi u technologií prostorového zobrazení.

2.1 Formulace výzkumného problému

Hlavní výzkumný problém lze formulovat do otázky, zda prostorové zobrazení vyžaduje specifické způsoby interakce v porovnání s plošným zobrazením a pokud ano, zda jsou zároveň vhodné rozdílné metody interakce pro rozdílná technologická řešení.

Na základě tohoto obecného hlavního problému narážíme na řadu dílčích problémů, které jsou nezbytné pro úspěšné vyřešení hlavního problému.

1. Lze vůbec k rozvoji v dané oblasti definovat interaktivitu v rámci prostorového zobrazení?
2. Mohou mít rozdílné způsoby interakce vliv na práci a vnímání zobrazení?

2.2 Cíle a úkoly práce

Hlavním cílem této práce je vymezení specifík interaktivity v rámci prostorového zobrazení a zároveň přispět touto prací k rozvoji problematiky s tím související.

Praktická část je věnována vytvoření funkčního konceptu interaktivního systému v rámci prostorového zobrazení. Hlavní cíl lze pak v kontextu k dílčím problémům a otázkám redefinovat do následujících cílů:

1. Identifikovat existující způsoby prostorového zobrazení z hlediska jejich funkčně-technologických principů.
2. Vyhledat a popsat dostupné technologie použitelné k interakci v prostorovém zobrazení.
3. Vymezení specifických požadavků na interakci v rámci prostorového zobrazení.
4. Kategorizovat interaktivní prostředky.
5. Vytvoření modelových systému.
6. Uživatelské testy modelových systému.

2.3 Výzkumné metody

Pro dosažení stanovených cílů a splnění úkolů vytyčených v této práci budou použity metody teoretické a empirické. V první fázi práce se jedná o studium – analýzu dostupných informací týkajících se prostorového zobrazení a interaktivity, zařízení určených k těmto účelům. Tato část je založená na studiu primárních i sekundárních pramenů a jejich interpretace.

V druhé fázi práce se zaměříme na klasifikaci a stanovení funkčně technologických specifik jednotlivých technologií. Ke splnění tohoto úkolu bude převážně využito studium – analýza dostupných informací. V práci budou využity explanační a obecně teoretické metody jako analýza a syntéza srovnání. V případě dostupnosti technologií bude provedeno ověření podložené experimentem.

3 Vymezení základních pojmů

Ve vztahu k výše formulovaným cílům se úvodní teoretická část zaměřuje na analýzu fenoménu prostorového zobrazení a způsobů interakce z hlediska terminologického a technologického. Hlavním cílem této části je vymezit problémovou oblast, analyzovat základní principy a funkce stávajících prostředků.

3.1 Vymezení pojmů v oblasti prostorového zobrazení

Terminologie prostorového zobrazení je velice obsáhlá. V rámci této práce budou definovány základní pojmy týkající se zobrazení. Dále v této práci budeme zobrazení rozdělovat do dvou základních skupin, a to na zobrazení plošné a prostorové.

3.1.1 Zobrazení

Zobrazení, též vizualizace (v angličtině projection či visualization) se jako pojem využívá v řadě vědních disciplín s rozdílným významem. V rámci této práce pojem zobrazení představuje počet dimenzí-rozměrů. Způsob a počet dimenzí ovlivňuje výsledné zobrazení. Z pohledu psychologického způsob vyobrazení ovlivňuje zároveň kognitivní schopnosti uživatele. Dále zobrazení rozdělíme na následující skupiny¹⁸:

Označení	Dimenze	Skupina
1D – jednorozměrné	X	Plošné
2D – dvourozměrné	X-Y	Plošné
2.5D – dva a půl rozměrné	X-Y (hloubka objektu)	Nepravé prostorové zobrazení
3D – třírozměrné	X-Y-Z	Prostorové

Tabulka 1 – Skupiny zobrazení

Jako jednoduché příklady daných zobrazení si lze představit základní geometrické útvary, kde reprezentací 1D je přímka, která se orientuje v rámci jedné osy. 2D je založené na dvourozměrném systému, jehož příkladem je bod, který je přesně definován pomocí dvou souřadnic. Zatímco 1D i 2D jsou plošná zobrazení, 2.5D je zobrazením, které pracuje v rámci 2D s 3D modely. 3D model je degradován do 2 rozměrného systému a pro simulaci prostorového zobrazení je využito hloubky objektu – paralaxa¹⁹. 3D pracuje se třemi rozměry

¹⁸ *The Effects of Individual Differences in Spatial Visualization Ability* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: http://lap.umd.edu/lap/Papers/Dissertations/Alonso_Dissertation_1998/partII.html

¹⁹ Paralaxa: simulace prostorového zobrazení za pomoci rozdílné hloubky objektů

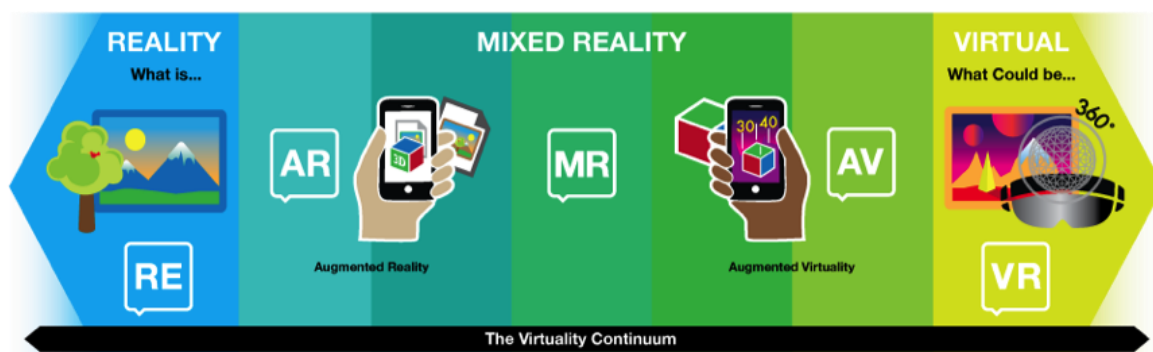
(x, y, z). Vzhledem k tomu, že lidské oko vnímá třírozměrný prostor, jedná se o nejpřirozenější způsob projekce.²⁰

3.1.2 Realita

Pojem realita (latinsky *realitas*) je odvozen od pojmu věc a úzce souvisí s pojmy svět, skutečnost či existence. Často je danými pojmy i nahrazován. V běžném použití lze termínem realita označit vše, co existuje, aniž by se rozlišovalo, zda daná skutečnost existuje nezávisle na člověku – zařízení.²¹

Z našeho pohledu definujeme realitu podle Randové, která označuje realitou vše, co existuje nezávisle na lidském vědomí. Neomezuje realitu pouze na hmotné předměty, ale zahrnuje pod ní i další prvky vnějšího světa, mezi které patří například i zvuky, události, děje, podměty poznání a jiné nemateriální složky vnějšího světa.²²

V oblasti ICT je bráno jako taxonomie pro jednotlivé způsoby vyobrazení reality Milgramovo virtuální kontinuum, rozdělující realitu do třech základních skupin, které se dále štěpí na další podskupiny.



Obrázek 1 - Diagram Milgramovo virtuálního kontinua²³

²⁰ *Beginning 3D game development with Unity 4: all-in-one, multi-platform game development*. Second edition. s. 18-19. Technology in action series. ISBN 1430249005.

²¹ JEŘÁBEK, Tomáš. *Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání* [online]. 2014, s. 16 [cit. 2016-12-20]. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

²² *Objektivismus a filozofie Ayn Randové* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.aynrand.cz/pages/intro2obj.html>

²³ *Augmented or Virtual? How do you like your reality?* [online]. www.trekk.com [cit. 2016-08-24]. Dostupné z: <http://smartideablog.trekk.com/augmented-or-virtual-how-do-you-like-your-reality>

- **REALITY** – „realita“ **RE**
- **MIXED REALITY** – „smíšené realita“ **MR**
 - **AUGMENTED REALITY** – „rozšířená realita“ **AR**
 - **AUGMENTED VIRTUALITY** – „rozšířená virtualita“ **AV**
- **VIRTUAL REALITY** – „virtuální realita – virtualita“ **VR**

3.1.2.1 Virtualita a virtuální realita

Dle Milgrama lze definovat virtuální realitu na základě třech aspektů. Prvním aspektem je skutečnost daného zobrazení. Zatímco virtuální objekt existuje pouze ve formě zakódované informace či modelu, které pro svou reprodukci vyžadují konkrétní technické zařízení. Reálný objekt může být vizualizován pomocí určité technologie (nasnímáním a následné reprodukce dat a zobrazení, tzv. non-direct viewing), kdy je zprostředkovan reprodukován obraz daného objektu, tak přímým pohledem na reálný objekt bez potřeby technologií (tzv. direct viewing). Virtuální objekt oproti tomu může být nahlížen jen jako virtuální obraz za pomoci přídavné technologie (non-direct viewing).²⁴

Druhý aspektem je kvalita zobrazovaného obrazu, jenž ani při současných technologiích nedosahuje srovnatelné kvality jako u reálného obrazu (direct viewing). Milgram v této souvislosti definuje unmediated reality jako standard sloužící k porovnání kvality zprostředkovaného vůči nezprostředkovanému obrazu, v jehož rámci jsou zásadní dva procesy při rekonstruování obrazu. Prvním (realspace imaging) je zobrazování vnímatelných informací nerozeznatelně od nezprostředkované skutečnosti z hlediska prostoru. Druhým (realtime imagine) je zobrazení vnímatelných informací v čase nerozeznatelně od nezprostředkované skutečnosti.²⁵

Třetím aspektem jsou optické vlastnosti zprostředkovaného obrazu a na jeho základě vzniklé difference vnímané a skutečné lokalizace objektu. Vnímaný obraz respektive jeho jednotlivé body vznikají v místě průsečíku odražených světelných paprsků od referenčního objektu (v případě nepřímého zobrazení vysílaných paprsků pomocí zobrazovacího zařízení). Na tomto místě člověk lokalizuje, resp. předpokládá existenci referenčního objektu. Reálný obraz je pak

²⁴ *A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

²⁵ *Elements of Realspace Imaging: A Proposed Taxonomy* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.naimark.net/writing/realspace.html>

jakýkoliv obraz, který vzniká pomocí odražených či vyzařovaných světelných paprsků daným objektem přesně na tomto místě, kde má být lokalizován.²⁶

Vzniklý reálný obraz reflektuje referenční objekt v maximální míře vzhledem k odraženým paprskům. Virtuální obraz je naopak tvořen paprsky, které se neseťkají v daném bodě, kde je existence daného objektu předpokládána, ale vytváří se mimo (před či za tímto místem). Typickým příkladem je hologram, obraz vzniklý pomocí astigmatického optického systému či stereoskopie, kde levý i pravý obraz je skutečný, ale výsledek vyvolaný stereoskopií je obrazem virtuálním.²⁷

3.1.2.2 Smíšená realita

Pojem smíšená realita (MR – mixed reality) představuje spojení pro prostředí, která vznikají spojením reálného a virtuálního prostředí. Smíšenou realitu lze definovat též jako ohraničený prostor na jedné straně reálným prostředím (prostředím s maximální mírou reálných prvků a minimální příměsí virtuálních), na straně druhé naopak s převažujícími virtuálními prvky. Do takto vymezeného Milgramova virtuálního kontinua lze zařadit veškeré současně známe typy smíšené reality, přičemž každé prostředí se bude více či méně blížit ke skupině rozšířené reality nebo k virtuálnímu prostředí neboli rozšířené virtuality.²⁸

Tyto dvě základní skupiny smíšené reality jsou podle Milgrama vymezeny poměrem míry zastoupení levého či pravého extrému virtuálního kontinua. Zároveň míra reálných a virtuálních prvků není hlavním ukazatelem jednotlivých rozdílů. Rozšířená realita je založená na principu obohacení reálného prostředí, kde reálné prostředí a jeho elementy mají řídicí úlohu pro začlenění přidaných informací. Uživatel rozšířené reality se nachází primárně ve skutečném prostředí, které i bez virtuálních prvků je stále komplexní. Zobrazením pouze virtuálních prvků by naopak bylo zcela mimo kontext rozšířené reality.

Rozšířená virtualita oproti tomu vychází ze zcela uměle vytvořeného světa, do kterého je účastník zasazen a reálné prvky jsou zde přidány s cílem dodat fyzický aspekt (skutečnosti) vzniklé rozšířené virtualitě. Reálné prvky představují modely, objekty, jenž opět bez zasazení do virtuálního prostředí pozbývají svůj význam, který získávají v rámci rozšířené virtuality.

²⁶ JEŘÁBEK, Tomáš. *Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání* [online]. 2014, s. 22-23 [cit. 2016-12-20]. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

²⁷ Ibid.

²⁸ MILGRAM, Paula Fumio KISHINO. In: *A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram_IEICE_1994.pdf

Milgram v souvislosti s třídídimenzionální taxonomií zobrazovacích zařízení pro MR uvádí tři klíčové faktory pro vymezení nahlíženého prostředí v rámci virtuálního kontinua, konkrétně vzájemného vymezení rozšířené reality a rozšířené virtuality. První faktor určuje, zda se jedná primárně o reálné či virtuální prostředí, tedy simulované pomocí ICT, přičemž termín primárně je zde užit ve smyslu převahy zobrazovaných prvků daného prostředí ve výsledném obraze. Druhým faktorem je míra imerze²⁹, kterou daný zobrazovací systém smíšené reality pozorovateli zprostředkuje. Třetím faktorem je přítomnost zobrazení (direct viewing). Tyto faktory se přímo či částečně odrážejí v následujících dimenzích Milgramovy taxonomie.³⁰

První dimenze (EWK) vymezuje rozsah informací o zobrazovaném prostředí ve smyslu míry dostupných informací o zobrazovaných objektech pro daný zobrazovací systém smíšené reality. Na straně levé je EK vymezena extrémem, kde není známo nic o daném prostředí (např. přímé zobrazení, resp. percepce reálného prostředí), v druhém extrému systém naopak má plnou míru informací o zobrazovaných objektech, jsou mu známy koordináty i charakter objekt v obraze (typicky u plně virtuálně vykresleného prostředí, kdy systém dané objekty dosazuje na konkrétní požadované lokalizace). Další dimenze je věrohodnost reprodukce, již Milgram vymezuje relativní kvalitu obrazu zobrazovaných reálných či virtuálních informací, kterou systémy smíšené reality disponují.³¹

Poslední dimenze vyjadřuje míru „zpřítomnění se“ pozorovatele se zobrazovaným prostředím, přičemž rozsah této dimenze jde, jak uvádí Milgram, od oblasti plně imerzních prostředí, resp. systému, které nabízejí velkou míru zpřítomnění a většinou jsou založena na částečně polopropustných displejích, po oblast výrazně excentrickou, kde je uživatel postaven zcela mimo vnímané prostředí a na dané prostředí nahlíží s určitým odstupem.

Tato dimenze v podstatě reflektuje zobrazovací schopnosti systémů MR (od monoskopického zobrazení přes panoramatické zobrazení až po zcela časově, prostorově a kvalitativně realistické zobrazení) a jejich základní princip zprostředkování daného prostředí. Milgram zde částečně vychází z Naimarkovy taxonomie skutečného zobrazení, které propojuje s konkrétním

²⁹ Imerze – míra jakým způsobem daný systém ovlivňuje pozorovatele a navozuje mu pocit, že se nachází na jiném místě, než ve skutečnosti je.

³⁰ MILGRAM, Paula Fumio KISHINO. In: *A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JBo-Milgram IEICE 1994.pdf>

³¹ JERÁBEK, Tomáš. *Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání* [online]. 2014, s. 17-26 [cit. 2016-12-20]. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

technickým řešením (od nejjednoduššího zobrazení pomocí monitoru přes velkoplošnou projekci k HMD displejům).^{32 33}

3.1.2.3 Rozšířená realita

Samotný koncept rozšířené reality je známý stejně dlouho jako pojem virtuální realita. Lze též konstatovat, že v minulosti virtuální realita a prvotní zobrazovací zařízení virtuální reality úzce souvisí s rozšířenou realitou. Toto tvrzení potvrzují i průběžné snahy o vymezení rozšířené reality vůči virtuální realitě či smíšené reality.

V rámci rozdílných prací se lze setkat s rozdílným pochopením rozšířené reality. Někteří autoři uvádí, že rozšířená realita je variantou virtuální reality, oproti tomu další chápou rozšířenou realitu jako oddělenou technologii či koncept. Obdobně jako u virtuální reality se vyskytují pojetí rozšířené reality jako systému, technologie, konceptu či prostředí. V základním principu se veškeré definice shodují.

Rozšířenou realitu v rámci této práce definujeme jako obraz reálné vrstvy (která obklopuje účastníka) a virtuální vrstvy, který vznikne doplněním počítačem generovaných virtuálních objektů „virtuální vrstvy“ do reálné vrstvy. Virtuálními objekty rozumíme grafické, zvukové a další virtuální prvky. Při pohybu v rámci reálné vrstvy dochází i ke změnám v rámci virtuální vrstvy, virtuální objekty se generují na lokacích přesně tak, jako by aktuálně v dané scéně existovaly.³⁴

Na základě uvedené definice, lze konstatovat, že principem rozšířené reality je propojení reálné vrstvy s vrstvou virtuální, jejichž vzájemným propojením vzniká nová realita (z hlediska obsahu informací oproti původní realitě). Původní realita plní roli primárního zdroje informace, a to nejen pro uživatele, ale i pro samotnou rozšířenou vrstvu. Rozšířená realita principiálně umožňuje využití všech smyslových oblastí: zrak, sluch, hmat, čich i chuť. Současné technologie nejsou schopné všechny vjemy reprodukovat, nicméně je zapotřebí s těmito percepčními oblastmi v rámci rozšířené reality počítat.

³² Ibid.

³³ MILGRAM, Paul a Fumio KISHINO. In: *A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS* [online]. [cit. 2016-12-20]. Dostupné z: <https://cs.gmu.edu/~zduvic/cs499/Readings/r76JBo-Milgram-IEICE-1994.pdf>

³⁴ *Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum* [online]. [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf

Z hlediska obecné platnosti lze použít definice rozšířené reality od Azuma, který definuje, že systémy rozšířené reality musí splňovat tři základní podmínky:

1. Kombinují reálnou vrstvu s vrstvou virtuální.
2. Jsou interaktivní v reálném čase.
3. Registrují virtuální prvky, obsažené ve virtuální vrstvě, v rámci 3D.

První podmínka je nejdůležitější a je podstatou rozšířené reality, tuto podmínku je možné nalézt ve všech definicích rozšířené reality. Kombinací reálné vrstvy s virtuální vzniká rozšířená realita, která se informačně liší od původní vrstvy. Interaktivitu v reálném čase, lze definovat tak, že systémy rozšířené reality jsou schopné okamžitě reagovat na změnu okolního prostředí (reálné vrstvy) a dle způsobu umístění ovlivnit i vrstvu virtuální (umístění, změna polohy, velikosti, rotace a podobně). Poslední podmínkou je registrace virtuálních prvků v rámci 3D, což znamená, že zasazení virtuálních prvků do reálné vrstvy počítá s třírozměrným prostorem reálného prostředí, respektive systém registruje virtuální prvky do souřadnicového systému, který reflektuje reálnou vrstvu.^{35 36}

3.1.3 Vnímání prostoru a metody stereoskopické projekce

Pojem prostor je v rámci této práce spojen se subjektivním vnímáním prostoru člověkem. Samotné problematice vnímání prostoru byla věnována pozornost již od středověku. Významné objevy přinesl výzkum Charlese Wheatstona, který popisuje princip stereoskopu a publikuje i obrázky (stereogramů) pro vytvoření prostorového vjemu pomocí tohoto zařízení. Mezi další důležité výzkumy patří práce Béla Julesz, který ve své práci dokazuje, že vjem hloubky sledovaného obrazu může vzniknout i bez přítomnosti známých tvarů v obraze. Dále bylo dokázáno, že pro vytvoření prostorového vjemu stačí i relativně málo informací (několik posunutých bodů).

Na vnímání prostoru, především hloubky, je možné nahlížet ze dvou základních aspektů. Prvním je odhad vzdálenosti předmětu od pozorovatele (někdy označované jako odhad absolutní vzdálenosti). Druhým aspektem je odhad vzdálenosti dvou bodů (relativní vzdálenost). Schopnost odhadovat realitní vzdálenost je v mnoha případech lepší než odhad

³⁵ AZUMA, Ronald. [online]. In: . [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> *AUGMENTED REALITY: A CLASS OF DISPLAYS ON THE REALITY-VIRTUALITY CONTINUUM* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/SPIE94/SPIE94.full.html

³⁶ AZUMA, Ronald T. In: *A Survey of Augmented Reality* [online]. [cit. 2017-01-03]. Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>

vzdálenosti absolutní. Vnímání prostorové hloubky je komplikovaný proces, na kterém se podílí mnoho podnětů. V rámci této práce bude dostatečně definovat základní pojmy ohledně zpracování prostoru lidským okem.³⁷

3.1.3.1 Metody stereoskopické projekce

Stereoskopie je technika pro vytvoření či navýšení iluze hloubky v obraze pro binokulární vidění. Stereoskopické projekce lze dosílit pomocí různých metod. Základní princip je pro všechny způsoby společný. Každému oku je promítán jiný obraz a výsledný obraz je následně složen v lidském mozku. Jednotlivé obrazy se od sebe liší tím, že jsou posunuté, či prolnuté. Jednotlivé technologie se liší právě ve zprostředkování obrazu do levého a pravého oka.³⁸

3.1.3.1.1 Anaglyf

Anaglyf patří mezi nejzákladnější metody stereoskopického zobrazení. Mezi základní výhody anaglyfické stereoskopie je nízká cena brýlí potřebných pro tento způsob projekce, a především možné použití na všech současných zobrazovacích zařízeních.

Levý a pravý obraz je v anaglyfu oddělen barevně. Anaglyf je tvořen barvami, které jsou vzájemně doplňkové a jejich smícháním vzniká černá a aditivní bílá. Dnes se nejčastěji používá kombinace červené a azurové, přičemž barevný filtr je uspořádaný pro levé oko červeným a pro pravé oko azurovým filtrem. Anaglyfický obraz vznikne převedením obrazu, kde levý obraz (červený filtr) převede do azurovobílé škály a obraz pro pravé oko (azurový filtr) do červenobílé škály. Získané obrazy se poté překryjí. V místech, kde dojde k prolnutí červené a azurové barvy vzniká černá barva, nebo odpovídající odstín šedé. Pozorovatel následně pomocí brýlí vidí každým okem černobílý obraz tvořený doplňkovou barvou k filtru brýlí a ze dvou dílčích obrazů dochází k navození prostorového vjemu.³⁹

Původně byl anaglyf pouze černobílý až v 20. století bylo docíleno barevnosti anaglyfu, ale tou dobou byla tato metoda překonána pomocí polarizované projekce. Z principu anaglyfu není možné zobrazit všechny barvy, problém je zejména s barvami, které jsou použité jako filtr. Řešením tohoto problému je polo-barevný anaglyf, který problémové barvy nahrazuje odstíny m

³⁷ PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování* [online]. 2012, s. 22-27 [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/93840/?lang=en>. Dizertační práce. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

³⁸ Stereoskopie – jak funguje 3D kin. *Magazin.stahuj.centrum.cz* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://magazin.stahuj.centrum.cz/stereoskopie-jak-funguje-3d-kino/>

³⁹ Anaglyf aneb barevná separace obrazů. *Stereofotograf.eu* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://stereofotograf.eu/navody/anaglyf/>

šedi. Druhým způsobem je anaglyf dle Erica Duboise, který problémové barvy nahrazuje rozdílnými barvami. Výsledné anaglyfy mají ve všech případech nereálné barvy. ⁴⁰

Problém anaglyfu je již zmíněné omezení v možnosti zobrazení reálných barev. Mezi další nevýhody této technologie patří, že někteří uživatelé nejsou schopní anaglyfické zobrazení zpravovat, nedochází u nich k rekonstrukci iluze prostorového zobrazení. Posledním významným problémem anaglyfů je vznik takzvaných duchů, které nejčastěji vznikají na hranách, kde se střídají tmavé a světlé plochy, dalším důvodem vzniku duchů je použití grafického formátu ukládajícího při malé kompresi data po čtvercích.

3.1.3.1.2 Pasivní 3D projekce (polarizace)

Pasivní 3D projekce byla vynalezena v druhé polovině 19. století a postupně nahradila anaglyf. V současnosti se s pasivní 3D projekcí můžeme setkat například v multikinech. Technologie je vhodná k použití pro více účastníků. Princip pasivní 3D projekce je velice podobný anaglyfu, s tím rozdílem, že brýle obsahují polarizační filtr.⁴¹

Princip polarizačního filtru spočívá v propouštění světelných paprsků (obraz) pouze v určitém směru. Díky tomu je obraz rozdělen a distribuován do každého oka samostatně. Polarizační filtr je orientován tak, že do jednoho oka jsou propuštěny pouze horizontální (kmitající) paprsky a do druhého vertikální světelné paprsky.

Obraz je promítán dvojicí zařízení, kde každé z nich vysílá separátní obraz pro jednotlivé oko. Výsledný obraz je promítnutý na projekční plochu, kterou divák vidí před sebou a následně pomocí polarizačních brýlí je obraz rozložen do levého a pravého oka, čímž vzniká prostorový vjem – 3D projekce.

Mezi hlavní výhody pasivní 3D projekce patří odstranění problému anaglyfu, např. nemožnost zobrazit některé barvy. Nevýhodou této metody je požadavek na použití speciálního zařízení, takže není možné ji použít na běžných zobrazovacích zařízeních. Druhou nevýhodou je opětovný vznik duchů, především u snímků s vysokou světlostí a kontrastem.

⁴⁰ Ibid.

⁴¹ Active and passive 3D: What's the difference, and which is better? *Gcn.com* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://gcn.com/articles/2013/03/06/differences-active-passive-3d.aspx>

3.1.3.1.3 Aktivní 3D projekce

Aktivní 3D projekce je založená na odlišném principu než předchozí uvedené technologie. Je založená na poskytnutí odlišného obrazu pro každé oko. Aby bylo možné poskytnout odlišný obraz pro levé a pravé oko, musí být základem zobrazovací zařízení umožňující pracovat na frekvenci 120 Hz a více a samozřejmě opět speciální brýle.

Princip aktivní 3D projekce je takový, že zobrazovací zařízení střídavě promítá obraz do levého a pravého oka. Během jedné sekundy je tak obraz 60x promítnutý do levého a 60x do pravého oka. Klíčem správného rozdělení obrazu jsou právě brýle, které střídavě ztmavují levé či pravé oko, jako důsledek vždy oko vidí obraz právě pro něj určený.⁴²

Oproti pasivní 3D projekci je tato technologie poměrně drahá a vyžaduje vysoké nároky na zobrazovací zařízení, včetně brýlí, které jsou oproti polarizačním těžší a vyžadují napájení. Ovšem samotné výhody této technologie přecházejí nad nevýhodami. Aktivní 3D projekce dosahuje nejlepší 3D reprodukce s velmi dobrými barvami a minimální tvorbou duchů.⁴³

3.1.3.1.4 Auto-stereoskopie

Auto-stereoskopie je první technologií, která nevyžaduje speciálních brýlí. V budoucnu můžeme očekávat vývoj právě této technologie. Výhodou je eliminace brýlí pro rozdělení obrazu. Zobrazovací zařízení obsahuje na svém povrchu tenkou vrstvu (*fólii*). Vrstva láme směr obrazu tím způsobem, že liché sloupce (pixely) jsou směřovány jedním směrem a sudé druhým.

Současné nevýhody této technologie jsou pozorovací úhly, kdy uživatel musí být v přesné pozici, aby se docílilo 3D efektu. Z tohoto důvodu se tato technologie doposud používá pouze u kompaktnějších zařízení, příkladem je herní konzole Nintendo 3Ds.⁴⁴

⁴² Ibid.

⁴³ Ibid.

⁴⁴ Stereoskopie - jak funguje 3D kin. *Magazin.stahuj.centrum.cz* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <http://magazin.stahuj.centrum.cz/stereoskopie-jak-funguje-3d-kin>

3D filmmaking: techniques and best practices for stereoscopic filmmakers. New York: Routledge, Taylor, 2016, s. 93-101. ISBN 9781315726328.

A guide to 3D display technology: its principles, methods, and dangers. *Techcrunch.com* [online]. [cit. 2017-01-04]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2010/06/19/a-guide-to-3d-display-technology-its-principles-methods-and-dangers/>

3.1.3.1.5 Stereoskopie vyžívající fyzické bariéry

Oproti předchozím technologiím neprokládá jednotlivé obrazy pro levé a pravé oko. Namísto toho je obraz rozdělený na dvě části. Obraz je rozdělený přesně na polovinu, kde levá část je určená pro levé a pravá část pro pravé oko.⁴⁵

Princip spočívá ve využití dvou 2D obrazů, které představují dva pohledy na stejný objekt, s menší odchylkou, která je téměř rovná přirozené odchylce pro binokulární vidění. Po složení obou obrazů dochází k navození 3D efektu uživatelem.

Výhodou této technologie je její nenáročnost z pohledu zařízení, kdy je zapotřebí pouze jednoduchého prostředku pro složení a zaostření obrazu. Naproti tomu tato technologie není vhodná pro dlouhodobé užívání, jelikož dochází velice rychle k únavě očí a zároveň musíme počítat s tím, že nemáme k dispozici celkovou šířku obrazu zařízení.⁴⁶

3.1.3.2 Holografická projekce

Vznik holografické projekce se datuje od roku 1947, kdy Dennis Gabor založil teorii holografie během své práce na elektronickém mikroskopu. Vývoj v 50. letech byl však omezen z pohledu dostupných technologií. Tento nedostatek byl překonán až v 60. letech vynálezem laserového paprsku (intenzivního zdroje světla). V současnosti je možné stále tvrdit, že vývoj v oblasti holografie stále probíhá a nedosáhl svého potenciálního možného použití.

Princip rekonstrukce holografu je přeměna světelného paprsku na obraz. Existuje celá řada způsobů, jakým docílit holografického efektu, ale v rámci této práce se zaměříme pouze na základní metody.⁴⁷

⁴⁵ *3D filmmaking: techniques and best practices for stereoscopic filmmakers*. New York: Routledge, Taylor, 2016, s. 106-108. ISBN 9781315726328.

⁴⁶ Ibid.

⁴⁷ What is a hologram? *Holocenter.org* [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://holocenter.org/what-is-holography>

History of holography. *Holography.ru* [online]. [cit. 2017-01-05]. Dostupné z: <http://www.holography.ru/histeng.htm>

3.2 Funkčně-technologické charakteristiky prostorového zobrazování

V rámci předchozích kapitol bylo popsáno základní členění jednotlivých technologií zobrazení v případě prostorového zobrazení technologií navozující trojrozměrné vnímání (vjemu hloubky objektu). Kategorizace prostorového zobrazení vychází z práce Didaktické aspekty využití prostorového zobrazení, Prokýšek.⁴⁸

- **Pravé / nepravé prostorové zobrazení**
- **Percepční charakter prostorového zobrazení**
 - *Počet diváků*
 - *Aktivní / pasivní pohyblivá paralaxa*
 - *Forma prostorového zobrazení – míra imerze*

3.2.1 Pravé / nepravé prostorové zobrazení

Pravým prostorovým zobrazením, lze označit takové zobrazení, které vytváří disparitní obraz na stínících. Pravé prostorové zobrazení pracuje v rámci třírozměrného prostoru. Nepravého prostorového zobrazení je dosaženo za pomoci monokulárních vodiček. Příkladem nepravého prostorového zobrazení je 2.5D, kdy je 3D model degradován do 2D.

3.2.2 Percepční charakteristiky prostorového zobrazení

V rámci percepční charakteristiky je zahrnuto více faktorů, které jsou klíčové pro odlišení jednotlivých technologií a prostředků prostorového zobrazení. Mezi tyto faktory patří především vlastnosti z pohledu diváka a jeho vnímání dané technologie. Percepční charakteristiky jsou definovány na základě technologického konceptu daného zařízení.

3.2.2.1 Počet diváků (uživatelů)

Z pohledu počtu diváků lze rozdělit tuto klasifikaci na dvě základní skupiny: monoskopické (určené pro jednoho diváka) a polyskopické (určené pro více diváků). Monoskopickým zobrazením lze označit takové zobrazení, které ať už z důvodu technologie, nebo omezení daného zařízení, neumožňuje současné užití více uživateli. Polyskopické zobrazení umožňuje sledovat prostorové zobrazení více uživateli najednou, zároveň je výsledný vjem zobrazení ovlivněn i pohybovou paralaxou.

⁴⁸ PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování* [online]. 2012, s. 33-37 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/93840/?lang=en>. Dizertační práce. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

3.2.2.2 Aktivní a pasivní pohyblivá paralaxa.

Pohybová paralaxa je druhým faktorem, který umožňuje vnímání hloubky objektu a je zároveň velmi důležitá i pro navození reálného požitku. Pohybovou paralaxy je možné vnímat i v případě nepravého prostorového zobrazení. Pohybová paralaxa může vzniknout v důsledku pohybu uživatele (pozorovatele) nebo pohybu pozorovaného objektu.

Pohybová paralaxa navozená změnou pozorovaného objektu je v rámci práce označena jako pasivní pohyblivá paralaxa. Aktivní pohybová paralaxa je v této práci označení pro změnu v důsledku fyzické změny pozice uživatele, přičemž divák v důsledku změny pohledového místa vnímá změny na pozorovaném objektu.

3.2.2.3 Forma prostorového zobrazení – míra imerze

Formou prostorového zobrazení lze označit subjektivní pozici diváka vůči zobrazení a subjektivní intenzitu vnímání rozsahu zobrazení.

V závislosti na dané technologii se forma prostorového zobrazení může měnit od konvexní, rovinou až po konkávní. Jednotlivé úrovně si lze představit jako „křišťálovou kouli“ (konvexní), „okno“ (rovinné) a „místnost“ (konkávní).

Z pohledu vnímaného rozsahu, též míry zapojení, lze hovořit o dvou extrémech, a to o úplném konvexním a úplném konkávním zobrazení. V případě úplného konvexního zobrazení by uživatel byl schopný sledovat daný objekt vně křišťálové koule s tím, že je schopný jej sledovat ze všech stran a úhlů. Naproti tomu úplné konkávní zobrazení znamená, že divák by byl součástí prostoru křišťálové koule s tím, že má opět možnost sledovat libovonný směr a úhel.

3.3 Vymezení základních pojmů interaktivity

Pojem interaktivita pochází z latinského *inter-agere* „jednání mezi sebou“. Základní členění vychází z práce Interaktivita ICT prostředků, Kortan⁴⁹. V rámci této práce nás především zajímá interaktivita v rámci ICT, kde interaktivita znamená aktivitu uživatele se zařízením, které reaguje na dané podněty ze strany uživatele. V ICT, interaktivitou zabývá vědní obor *Human Computer Interaction*, dále jen HCI. HCI lze definovat na základě této kategorizace:

- *Skupina HCI (Mikro/makro)*
- *Komunikační model*
- *Přímou/nepřímou*
- *Modalita*

3.3.1 Skupina HCI (Mikro/makro)

Mikro-HCI se zabývá vývojem inovativních zařízení, slouží k interakci s ICT. Jedním ze základních problémů, se kterým se snaží vývojáři mikro-HCI vypořádat, jsou ergonomie zařízení, rozdílná úroveň uživatelů, ale i genderové, věkové či kulturní odlišnosti. **Makro-HCI** se naopak zaměřuje na návrh softwaru – rozhraní. Makro-HCI usiluje stejně jako mikro-HCI o vyřešení některých základních problémů, které jsou spojeny s interaktivitou, například rozdílné vzdělání. Příkladem může být odlišné vnímání barev napříč rozdílnými kulturami.⁵⁰

3.3.2 Komunikační model

Způsob interakce lze rozdělit na základě „směru“ interakce na tyto základní skupiny:

- *Jednosměrnou komunikaci*
- *Jednosměrnou komunikaci se zpětnou vazbou*
- *Obousměrnou komunikaci*

Příkladem **jednosměrné komunikace** je situace, kdy uživatel po zadání příkazu – vstupu nemá k dispozici zpětnou vazbu o jeho vykonání. **Jednosměrná komunikace se zpětnou vazbou** oproti předchozímu způsobu komunikace navrácí uživateli částečně, či kompletně informaci o

⁴⁹ KORTAN, Michal. *Interaktivita ICT prostředků* [online] 2014, s. 38-41 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/180650?ln=cs>. Bakalářská. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce Miloš Prokýšek.

⁵⁰ Micro-HCI and Macro-HCI. *Www.cs.umd.edu* [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://www.cs.umd.edu/~ben/ClaimingSuccess-Micro-MacroHCI-ACMinteractions.pdf> Web Science and Human-Computer Interaction. <https://openlab.ncl.ac.uk> [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <https://openlab.ncl.ac.uk/publications/HCIWebSci.pdf>

vykonání příkazu. Téměř všechny dnešní moderní grafické operační systémy pracují s tímto modelem komunikace. **Obousměrnou komunikaci** lze definovat pomocí Turingova paradigmatu, podle kterého uživatel není schopen rozpoznat, zda komunikuje s reálnou osobou či strojem – „umělou inteligencí“.⁵¹

3.3.3 Přímá / nepřímá interakce

Přímou interakcí je interakce, kde zdrojem signálu je uživatel. Vzorem mohou být systémy ovládané pohyby, nebo gesty uživatele. **Nepřímou interakcí** „zprostředkovanou“ rozumíme interakci využívající dalších zařízení, které po interakci „kontaktní“ s uživatelem interagují s daným systémem.⁵²

3.3.4 Modalita

Modalitou rozumíme způsob vstupního a výstupního signálu pro interakci, takzvané komunikační kanály. Jednotlivé komunikační kanály můžeme rozdělit do tří základních skupin:

- **Vizuální**
- **Sluchové**
- **Senzorové**

Vizuálními rozumíme rozpoznávání tváře, pohybu a gest, ale i mapování pohybu očí uživatelů. Z pohledu interaktivit dělíme vizuální komunikační kanály na přímé a nepřímé. Za přímou interakci je považováno rozpoznávání pohybu těla, zatímco za nepřímou je považováno mapování pohybu očí.

Sluchová komunikace se zabývá zpracováním zvukových signálů. Tato skupina se dále dělí na podkategorie, dle úrovně rozpoznávání zvukového signálu:

- **Rozpoznání hlasu**
- **Rozpoznání mluvího**
- **Analýzy lidských zvuků „pocitů“ a dalších**

⁵¹ Interaktivní komunikace. [Http://lenka.tomanova.eu/](http://lenka.tomanova.eu/) [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: http://lenka.tomanova.eu/download/kurz-pruvodce-cr/Interaktivni_komunikace_E.pdf

⁵² Direct and Indirect Human Computer Interaction Based Biometrics. [Www.ojs.academypublisher.com](http://www.ojs.academypublisher.com) [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://www.ojs.academypublisher.com/index.php/jcp/article/viewFile/02107688/361>

Senzorová komunikace je kombinací různých oblastí, kde u všech využíváme různé formy fyzického zařízení – senzoru.

V reálném prostředí se využívá kombinace modalit, tyto systémy se nazývají **multimodální systémy**. Příkladem může být systém, který využívá kombinaci hlasových povelů, rozpoznávání gest obličeje a pohybu těla.⁵³

3.4 Funkčně-technologické charakteristiky interaktivních prostředků

Na základě uvedených definic členění interaktivity lze stanovit základní kritéria, která budou využita pro hodnocení funkčně-technologických charakteristik zkoumaných technologií. Zároveň bude v rámci hodnocení využito dostupných zdrojů, které jednotlivé technologie porovnávají, včetně zkušeností s danou technologií, či jí principiálně obdobných technologií. Základní kategorizace:

- **Přímá / nepřímá**
- **Směr komunikace**
- **Hodnocení modality**
- **Uživatelská kontrola (časová náročnost / chybovost)**
- **Počet uživatelů**

3.4.1 Přímá / nepřímá

V rámci přímé a nepřímé interakce budou jednotlivé technologie rozděleny na základě nutnosti využití dalšího zařízení. V případě přímé interakce není vyžadováno žádných speciálních zařízení, které by uživatel měl fyzicky používat a prostředníkem interakce je tedy on sám.

3.4.2 Směr komunikace

V případě komunikačního modelu bude hodnocen způsob komunikace. Pokud daná technologie umožňuje softwarově či hardwarově zpětnou vazbu, bude podrobena zkoumání i její forma.

⁵³ Human-Computer Interaction. [Http://s2is.org](http://s2is.org) [online]. [cit. 2016-05-22]. Dostupné z: <http://s2is.org/Issues/v1/n1/papers/paper9.pdf>

3.4.3 Hodnocení modality

Modalita bude podrobena zkoumání z pohledu specifikace dané technologie. V případě, že dané informace nebudou zřetelně dostupné, bude využito komparativních metod k technologiím principiálně podobným.

3.4.4 Uživatelská kontrola

Uživatelská kontrola zahrnuje hodnocení uživatelské přívětivosti a možnosti použití dané technologie. Zároveň v rámci hodnocení bude zohledněna časová náročnost nutná pro základní pochopení principu interakce a náchylnost na chybovost technologie.

3.4.5 Počet uživatelů

Pomocí tohoto kritéria bude daná technologie podrobena zkoumání, zda podporuje interakci více uživatelů.

4 Technologie prostorového zobrazení

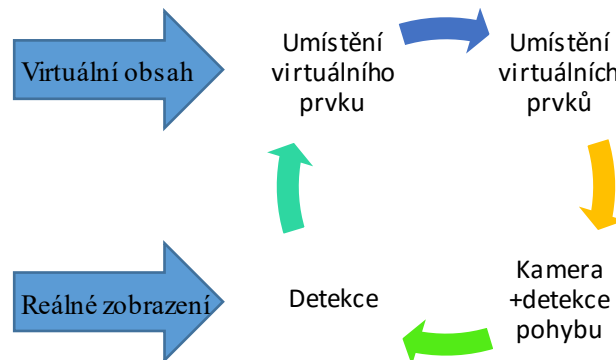
Tato kapitola popisuje funkčně technologické principy jednotlivých zobrazovacích technologií. Na základě funkčního principu jsou jednotlivé technologie kategorizovány do následujících podkategorií:

- **Technologie rozšířené reality (AR)**
 - *Rozšířená realita pro mobilní zařízení*
 - *Rozšířená realita stacionárních systémů*
 - *Rozšířená realita chytré sklo – „Smart Glass“*
 - *Rozšířená realita pro HMD zařízení (Head-mounted-display)*
- **Technologie rozšířené virtuality (AV)**
- **Technologie virtuální reality (VR)**
 - *Pasivní zařízení*
 - *Aktivní zařízení*
 - *Speciální zařízení*
- **Technologie holografické projekce**

4.1 Technologie rozšířené reality (AR)

4.1.1 Rozšířená realita pro mobilní zařízení

Rozšířená realita pro mobilní zařízení využívá obdobného principu jako počítače, kde kamera snímá reálné prostředí, které je následně promítnuto na zobrazovací jednotce zařízení. Do zobrazeného záznamu je následně přidán virtuální prvek. Princip rozšířené reality lze znázornit pomocí následující smyčky.



Obrázek 2 - Ilustrace principu rozšířené reality založené na detekci obrazu

Základním rozdílem je způsob detekce a následné umístění virtuálního prvku. Požadavek, který lze definovat pro detekci objektu je jednoznačnost. Škála způsobu je odvozená od množství dostupných informací, množství senzorů, která daná platforma poskytuje. Způsob detekce lze rozdělit na dvě základní kategorie⁵⁴:

- **Zpracování vstupního obrazu**
- **Zpracování polohy**

Zpracování vstupního obrazu je založeno na detekci vstupu, který může mít formu QR kódu, obrazového materiálu, ale i reálného 3D modelu. Příkladem technologií založených na tomto principu a testovaných v rámci této práce jsou: Vuforia, Wikitude, Metaio, EasyAR či ARToolkit. Umístění virtuálního objektu je nejčastěji poblíž snímaného vstupu.⁵⁵

V rámci zpracování polohy je nejběžnějším způsobem zpracování GPS signálu, triangulace, ale lze se setkat i s měřením magnetického pole. Virtuální objekt je umístěn na základě dané pozice.

⁵⁴ AZUMA, Ronald. *A Survey of Augmented Reality* [online]. In: . <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf> [cit. 2017-03-21].

⁵⁵ *Top 5 Tools for Augmented Reality in Mobile Apps* [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <https://www.developereconomics.com/top-5-tools-for-augmented-reality-in-mobile-apps>

Příkladem technologií je Layer a IndoorAtlas.^{56 57} Systémy využívající tento způsob detekce, bývají velice často používány pro navigační systémy, ale uplatnění lze najít i v herním průmyslu, kde je vzorovým příkladem aplikace Pokemon Go.

4.1.2 Rozšířená realita stacionárních systémů

Hlavním charakteristickým znakem stacionárních systémů je způsob, jakým zprostředkovávají rozšířenou realitu. Stacionární systémy jsou předurčeny k použití bez nutnosti manipulace (přemístění) ze strany uživatele. Tyto systémy principiálně pracují obdobně jako systémy pro mobilní zařízení, tj. na základě zpracování obrazu. Výhodou těchto systémů je jejich robustnost a možnost sledování více uživatelů najednou. Jejich omezením je velmi nízká možnost pohybu uživatele. Na základě zprostředkování rozšířené reality lze tyto systémy rozdělit na tři základní skupiny:

- **Video systémy**
- **Optické systémy**
- **Systémy s projekcí do reálného prostředí – (SAR – Spatial Augmented Reality)**

4.1.2.1 Stacionární video systémy

Tyto systémy využívají standardních komponent, které jsou obsaženy v běžném zařízení. Systém pracuje s kamerou a monitorem počítače, na který je promítnutý výsledný obraz. Z hlediska počtu diváků, lze tyto systémy promítnout i na velkoformátové plátno.⁵⁸

4.1.2.2 Stacionární optické systémy

Optické systémy využívají stejně jako rozšířená realita pro HMD zařízení z polopropustného materiálu, přes který uživatel přímo vidí primární reálné prostředí. Tyto systémy mají omezení z pohledu pozorovacího úhlu a pozice uživatele vůči zobrazované ploše a reálnému prostředí. Existují i systémy, které využívají detekci – snímání pozice uživatele a na základě jeho polohy dochází i k úpravě virtuálního prvku. Mezi hlavní nedostatky těchto systémů patří požadavek na minimální okolní osvětlení. Tyto systémy lze považovat za experimentální a prozatím

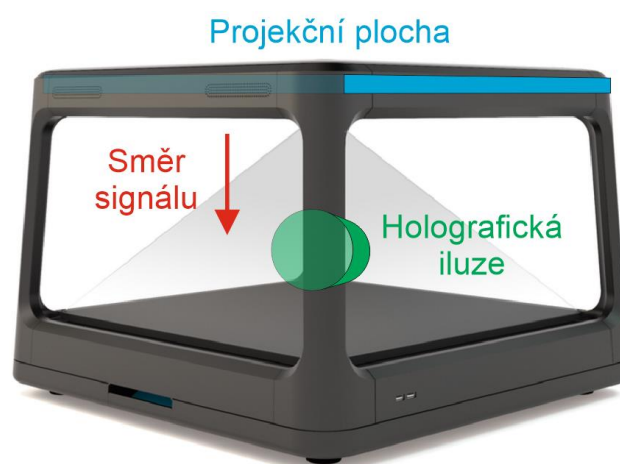
⁵⁶ Layer SDK [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <https://www.lavar.com/solutions/#sdk>
IndoorAtlas - How It Works [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.indooratlas.com/how-it-works/>

⁵⁷ INDOORATLAS. [online]. In: . [cit. 2017-03-21]. Dostupné z: <http://web.indooratlas.com/web/WhitePaper.pdf>

⁵⁸ JERÁBEK, Tomáš. *Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání* [online]. 2014, s. 62-68 [cit. 2017-01-03]. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

poměrně náročné z pohledu požadovaných podmínek. Příkladem stacionárního optického systému je zařízení Holus.⁵⁹

Holus je zařízení využívající jednoduchého principu, kde je obraz objektu promítnutý na jednotlivé strany pyramidy, kde jednotlivé strany mají svírat úhel 52°. Výsledný obraz, který vzniká vně pyramidy, vytváří trojrozměrnou iluzi. Princip 3D pyramidy, také 3D DIY, vychází ze známého principu. 3D DIY projekce bývá také velice často označována jako holografická projekce. Firma HPLUSTECH usiluje o rozšíření svého produktu i mezi běžné uživatele. Zařízení obsahuje vestavěné snímače pro ovládání pohyby rukou a možnost bezdrátového připojení a dalších komponent.⁶⁰



Obrázek 3 - Zařízení Holus

4.1.2.3 Stacionární systémy s projekcí do reálného prostředí (SAR)

Systémy s projekcí do reálného prostředí představují systémy, které umožňují uživateli pozorovat rozšířenou realitu bez nutnosti použití doplňkového zařízení, lze je tedy považovat za víceuživatelské. Za základní SAR lze považovat projekci textury na reálný model, kde datový projektor promítá texturu na reálný objekt. S projekcí do reálného prostředí je svým technologickým principem nejbližší holografická projekce, která již dnes v určitých případech dosahuje vysoké úrovně rekonstrukce hologramu s vytvořením reálného obrazu, zahrnující virtuální prvky. Více o holografické projekci v [kapitole 4.4](#).⁶¹

⁵⁹ Ibid.

⁶⁰ *The World's First Interactive, Tabletop Holographic Display*. [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z: <http://hplustech.com/>

⁶¹ JEŘÁBEK, Tomáš. *Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání* [online]. 2014, s. 62-68 [cit. 2017-01-31]. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

4.1.3 Rozšířená realita chytré sklo – „Smart Glass“

Zjednodušeně si lze chytré sklo představit jako plochu, na které jsou zobrazeny – promítnuty informace, nebo naopak lze tuto plochu modifikovat – změna barvy, intenzity světla a podobně. Využití této technologie lze téměř ve všech oblastech. Nyní se s touto metodou lze setkat v nákupních střediscích, příkladem je využití pro „virtuální“ zkoušku oblečení, líčení, ale i vytvoření jedinečné objednávky pizzy. Příkladem je chytré zrcadlo od společnosti Toshiba, schopné zobrazit aktuální informace o počasí, zprávy a další informace. Mnohem zásadnější koncept představila společnost Ikea se svou kuchyní budoucnosti a chytrého stolu, který je schopný například zvážít jednotlivé suroviny, rozpoznat dané suroviny a navrhnout recept včetně jednotlivých kroků k dokončení daného pokrmu.⁶²

4.1.4 Rozšířená realita pro HMD zařízení (Head-mounted-display)

HMD pro rozšířenou realitu jsou zařízení, která jsou umístěna na hlavě uživatele. Tento princip je zvýhodňuje oproti ostatním technologiím pro specifické využití, kde je vyžadováno stále sledování zobrazované informace. Příkladem jsou navigační systémy. Zařízení mohou být realizována jak monokulární, tak binokulární projekcí.

Dalším důležitým parametrem, který je zohledňován, je pozorovací úhel FOV⁶³ a množství přítomných senzorů, které snímají parametry okolní reality uživatele. HMD systémy pro rozšířenou realitu je možné rozdělit do dvou základních skupin na základě reprodukce reálného obrazu. Prvním způsobem je reprodukce na základě snímání kamerovým systémem. V případě tohoto systému je typické kompletní zatměním zorného pole uživatele. Druhou skupinou jsou optické systémy, využívají průhledného materiálu, na který je promítnuta virtuální složka a reálná složka je tím pádem neustále percipována uživatelem přímo skrz displej.⁶⁴

⁶²Get Ready To See More Than Yourself In The Mirror [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <http://www.sliceoflime.com/see-more-than-yourself-in-mirror/>

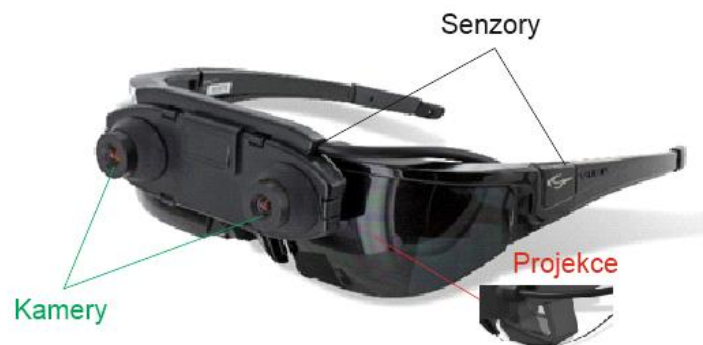
Designing the Future Kitchen [online]. [cit. 2017-01-21]. Dostupné z: <https://www.ideo.com/case-study/designing-the-future-kitchen>

⁶³FOV – Field of view – zorný úhel, který je udáván u člověka okolo 200°

⁶⁴JEŘÁBEK, Tomáš. *Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání* [online]. 2014, s. 48-54 [cit. 2017-01-03]. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

4.1.4.1 Systémy založené na snímání reálného prostředí pomocí kamerových systémů

VUZIX WRAP 1200AR je založený na snímání reálného prostředí pomocí dvojice kamer umístěných na zařízení a následné monokulární reprodukci pro každé oko. Maximální rozlišení kamer je 640x480 – 30 fps. Samotné zařízení disponuje magnetickým senzorem, gyroskopem a akcelerometrem. Zařízení využívá stereoskopického principu a primárně je určené pro vývojáře. Základní výhodou tohoto zařízení je, že podporuje řadu dostupných vývojářských platform a je možné jej použít jak pro rozšířenou i virtuální realitu.⁶⁵



Obrázek 4 - VUZIX WRAP 1200AR⁶⁶

V rámci této práce jsme měli možnost otestovat v porovnání s dalšími zařízeními. Kvalita výsledného obrazu nedosahuje očekávaného efektu, a to jak v rámci rozšířené či virtuální reality.

4.1.4.2 Systémy využívající průhledného materiálu

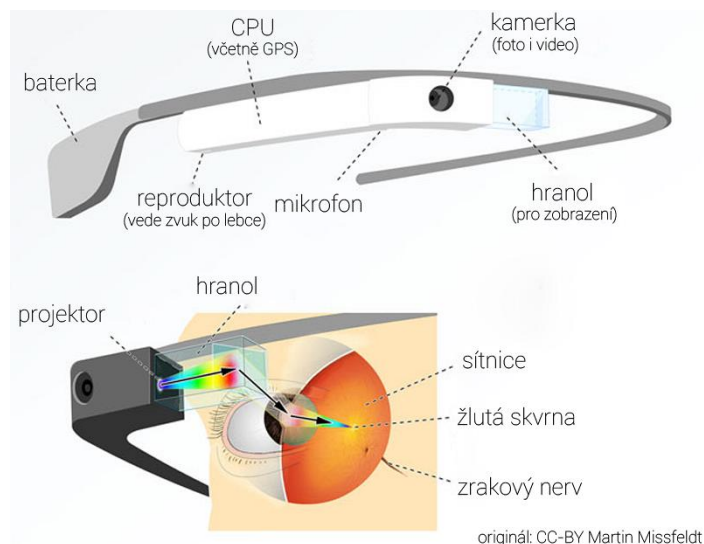
Google Glass je příkladem zařízení, které využívá monokulární projekci na průhledný materiál. Obraz je pomocí skleněného hranolu promítnutý do lidského oka, kde následně dochází ke složení reálného a virtuálního obrazu. Z principiálního pohledu lze Google Glass přirovnat k mobilnímu zařízení.

Zařízení obsahuje systém Android a je vybaveno řadou snímačů, včetně WiFi a Bluetooth modulu. Dle udávaných specifikací je obraz generovaný Google Glass ekvivalentní 25 “ monitoru, který by uživatel pozoroval z přibližně 2,5metrové vzdálenosti. Primárně byly tyto brýle určené pro běžné uživatele, ale dle dostupných informací firma Google skončila s prodejem tohoto produktu.⁶⁷

⁶⁵ VUZIX iWear WRAP STAR 1200DX [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: http://www.tntrade.cz/vuzix-iwear-wrap-star-1200dx-ar-head-mounted-display_d291134.html

⁶⁶ Ibid.

⁶⁷ Tech specs [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://support.google.com/glass/answer/3064128?hl=en>
Principles [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <https://developers.google.com/glass/design/principles>



Obrázek 5 - Google Glass⁶⁸

U **Epson Moverio BT-200** je základním rozdílem oproti Google Glass monokulární projekce, ale i umístění řídicí jednotky, a především možné použití. Brýle Epson jsou schopné mnohem věrohodnější 3D projekce nežli předchozí uvedené technologie. Řídicí jednotka je umístěná mimo brýle, což snižuje komfort použití daného zařízení, ale umožňuje jej osadit výkonnou jednotkou. Maximální udávané rozlišení je 960x540 – 60 fps. Udávaná projekční plocha činí 40“, která se jeví ve vzdálenosti 2,5 metru, což je téměř dvojnásobek oproti Google Glass.⁶⁹

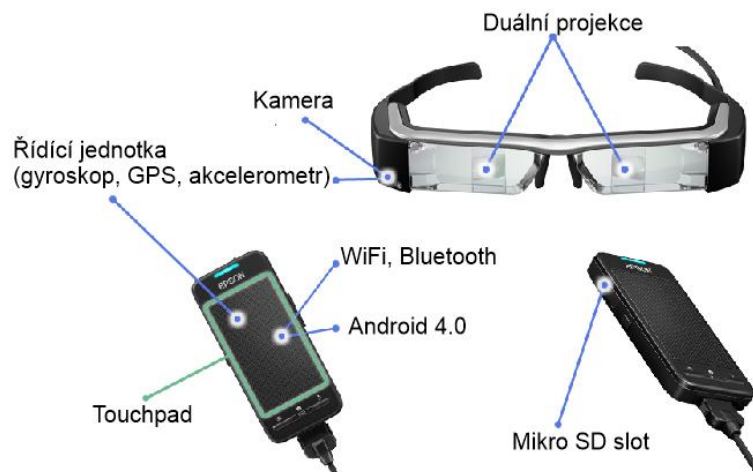
70

Epson Moverio BT-200 jsme měli možnost testovat několik dní a oproti zařízení VUZIX WRAP 1200AR dosahovalo mnohem kvalitnějšího výsledného obrazu. Zároveň v době testování nebylo k dispozici mnoho dostupných nástrojů pro vývojáře, takže jsme byli nuceni využít pouze demo aplikace od výrobce. Toto zařízení by mělo být primárně určené pro firemní prostředí, jakožto pracovní nástroj, jak jej prezentuje firma Epson.

⁶⁸ *Google končí prodej chytřích brýlí Glass* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/konec-google-glass-0nd-/hardware.aspx?c=A150116_110942 hardware vse

⁶⁹ *Epson Moverio BT-200: chytré brýle dostupné za měsíc* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <http://www.zive.cz/clanky/epson-moverio-bt-200-chytre-bryle-dostupne-za-mesic/sc-3-a-173196/>

⁷⁰ *Merging Epson's Core Technologies Moverio BT-200 Smart Glasses* [online]. [cit. 2017-01-22]. Dostupné z: <http://global.epson.com/innovation/engineer/moverio.html>



Obrázek 6 - Epson Moverio BT-20071

4.2 Technologie rozšířené virtuality (AV)

Rozšířená virtualita – „Augmented virtuality“ využívá opačného principu, kde je reálný prvek převeden do virtuálního prostředí. Tento způsob zpracování se využívá především u virtuální reality, a to ke zmírnění, či dokonce eliminaci některých negativních faktorů, jež při použití těchto technologií mohou nastat u uživatele. Zároveň se ale objevují i systémy využívající rozšířenou virtualitu i k jiným účelům⁷². V rámci této práce lze rozdělit dané systémy na:

- **Specifické:** CSIRO těžební systém, U.S.Navy tréninkový systém
- **Víceúčelové:** Microsoft HoloLens, Meta 2 či Magic Leap

4.2.1 Specifické

CSIRO těžební systém je příkladem zařízení rozšířené virtuality, vyvinuté organizací CSIRO ve spolupráci s firmou Rio Tinto, sloužící ke vzdálenému ovládní těžebního stroje v lomu. Operátor má k dispozici virtuální model stroje a zároveň vidí v reálném čase pracoviště. Dalším příkladem rozšířené virtuality je systém z laboratoře BERM, který vyvíjí systémy pro U.S Navy. Systém je určený k tréninku, ale do budoucna BERM plánuje i reálné nasazení.⁷³

⁷¹ Ibid

⁷² *The case for Augmented Virtuality* [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z:

<https://blogs.intel.com/evangelists/2016/04/26/the-case-for-augmented-virtuality/>

⁷³ *A RIO TINTO IRON ORE SHIPLOADER IN OPERATION* [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z:

<http://www.scienceimage.csiro.au/library/equipment/i/11678/a-rio-tinto-iron-ore-shiploader-in-operation-in-the-pilbara/>

VR Isn't Just For Games [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: <http://www.gizmodo.com.au/2016/06/vr-isnt-just-for-games-csiro-augmented-reality-and-the-future/>

BERM: A New Reality for the Future Force [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z:

<http://science.dodlive.mil/2015/12/12/bemr-a-new-reality-for-the-future-force/>

4.2.2 Víceúčelové

Microsoft HoloLens lze považovat za systém, který pracuje plně v rámci rozšířené reality / virtuality – smíšené reality. Zařízení nebylo doposud oficiálně publikováno, ale firma Microsoft toto zařízení označuje jako Mixed-reality či dokonce jako holografické brýle. Dle dostupných informací o tomto zařízení se jedná o „helmu“, kterou z pohledu dostupných funkcí a uživatelské kontroly lze nejlépe přirovnat operačnímu systému, který pracuje v rámci smíšené reality.

Zařízení samotné je založené na stereoskopické projekci na průhledný materiál a je vybaveno řadou senzorů, včetně zabudovaných reproduktorů a holografické procesní jednotky. Základní maximální udávané rozlišení na jednu část duální projekce je 1268x760 px na jedno oko a 60 fps pozorovací úhel 110°, zařízení by mělo obsahovat zatím nespecifikovanou procesní 32-bitovou jednotu Intel a 2 GB ram. HoloLens bude možné spárovat s řadou dalších zařízení, ale zároveň bude schopné samostatné činnosti bez nutnosti přídavných zařízení.^{74 75}



Obrázek 7 - Microsoft HoloLens – základní komponenty⁷⁶

Mezi další zařízení, které lze zařadit do této skupiny jsou Meta 2 a Magic Leap. V porovnání s Microsoft HoloLens mají obě zařízení obdobnou funkcionalitu. Základními rozdíly jsou maximální rozlišení a pozorovací úhel, který má být v porovnání s Microsoft HoloLens lepší než u obou zmíněných zařízení. Významnou nevýhodou u Meta 2 je nutnost neustálého připojení dalšího zařízení „počítače“.

⁷⁴ We found 7 critical HoloLens details that Microsoft hid inside its developer docs [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: <http://www.pcworld.com/article/3039822/consumer-electronics/we-found-7-critical-hololens-details-that-microsoft-hid-inside-its-developer-docs.html>

⁷⁵ Microsoft HoloLens [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en>

⁷⁶ Ibid.

Meta 2 udává maximální rozlišení 2560x1440 px, tedy 1280x1440 px na jedno oko a pozorovací úhel 90°. Oproti tomu o zařízení **Magic Leap** není stále dostatek informací, firma samotná neudává žádné podrobné informace a doposud byla zveřejněna pouze krátká demonstrační videa.^{77 78 79 80}

4.3 Technologie virtuální reality (VR)

4.3.1 Pasivní zařízení

Do této kategorie patří zařízení, jejichž primárním účelem není virtuální realita. Příkladem skupiny těchto zařízení jsou mobilní zařízení. V rámci této práce jsou uvedeny dva základní zástupci pasivních zařízení:

- **Google CardBoard**
- **Samsung Gear VR**

Google CardBoard využívají jednoduchého principu, kde mobilní zařízení představuje výpočetní jednotku a zobrazovací prvek pro výslednou stereoskopickou projekci. Mobilní zařízení je vloženo do přípravku – boxu obsahujícího čočky, které mají za úkol zaostřit a nasměrovat obraz přímo do příslušného oka. Na mobilním zařízení je nutné nainstalovat aplikaci určenou právě pro stereoskopickou projekci. Pokud dané zařízení obsahuje snímače, jako jsou například gyroskop, nebo detektor změny zorného pole, je možné tyto snímače použít. Jedná se o univerzální způsob realizace virtuální reality, jenž může být využit každým, kdo vlastní tzv. „chytrý telefon“. Vzhledem k tomu, že se veškeré výpočetní operace provádí přímo v zařízení, je limitujícím faktorem výpočetní výkon zařízení, a dále pak podmínka podpory snímačů pro pokročilé funkce v rámci virtuální reality.^{81 82}

Samsung Gear VR oproti Google CardBoard není univerzálním zařízením a je určené pouze pro vybrané produkty Samsung. Výhodou oproti Google CardBoard je profesionální řešení připravené k použití bez nutnosti úprav pozice telefonu či zaostření čoček, zároveň obsahující

⁷⁷ *Mets* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.metavision.com/>

⁷⁸ *Magic Leap: Everything we know so far about the mysterious tech* [online]. [cit. 2017-01-28]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/ar/magic-leap-need-to-know-release-date-price-specs-features>

⁷⁹ *Meta 2 first impressions: AR feels closer than ever* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/ar/meta-2-review>

⁸⁰ *The Untold Story of Magic Leap, the World's Most Secretive Startup* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2016/04/magic-leap-vr/>

⁸¹ *What is Google Cardboard* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <http://www.androidcentral.com/what-google-cardboard>

⁸² *Google Cardboard* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://vr.google.com/cardboard/>

dokovací konektor včetně řady tlačítek. Dalším rozdílem je použitá technologie pro stereoskopickou projekci. Oproti Google CardBoard využívá Samsung Gear VR technologii Oculus Rift, která teoreticky umožňuje vyššího výkonu nežli současná technologie od firmy Google.^{83 84}



Obrázek 8 - Google CardBoard vs Samsung Gear VR⁸⁵

4.3.2 Aktivní zařízení

Kategorie aktivních zařízení zahrnuje zařízení, jež jsou navržena právě pro virtuální realitu. Společným rysem uvedených technologií je požadavek na další zařízení, které zpracovává jednotlivé instrukce a následně převádí obraz do „headsetu“ – brýlí pro virtuální realitu. Naproti tomu můžeme nalézt rozdílné minimální požadavky na výkon zařízení a omezení jednotlivých technologií. Zkoumané technologie aktivní virtuální reality:

- **Oculus Rift**
- **PlayStation VR**
- **HTC Vive**

Základní princip u uvedených zařízení je podobný a lze jej téměř přirovnat k principu Microsoft HoloLens. Všechna uvedená zařízení obsahují minimálně tyto části:

- **Čočky**
- **Projekční displej**
- **Senzorické jednotky**

Principiálně je vytvářen stereoskopický obraz, stejně jako u pasivních zařízení, který je přes čočky usměrněn do zorného pole levého a pravého oka. Všechny uvedené zařízení také obsahují senzorické komponenty jako gyroskop, akcelerometr a kompas, ale například i kameru či audio systém.

⁸³ Samsung Gear VR review [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2015/11/25/samsung-gear-vr-review-2015>

⁸⁴ Samsung Gear VR [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/samsung/new-samsung-gear-vr-2016-review>

⁸⁵ Ibid – Google / Samsung

Základními rozdíly mezi jednotlivými zařízeními je rozdílný přístup. Oculus Rift sází především na lehký a celkově pohodlný headset, HTC Vive na volnost pohybu a PlayStation VR na svou nízkou cenu, s tím, že je nutné mít zároveň konzoli PlayStation 4 a případně další zařízení pro některé aplikace. Ve srovnání jednotlivých zařízení je stále nejlépe hodnocené zařízení Oculus Rift, které nabízí v současnosti nejlepší požitek z virtuální reality.^{86 87}



Obrázek 9 - Řez zařízením Oculus Rift⁸⁸

POROVNÁNÍ – PlayStation VR - Oculus Rift - HTC Vive			
	PlayStation VR	Oculus Rift	HTC Vive
Rozlišení (na 1 oko)	960x1080px	1080x1200px	1080x1200px
Zorný úhel	100°	100-110°	110°
Obnovovací frekvence	90 Hz, 120 Hz	90 Hz	90 Hz
Audio	Vestavěné 3D audio	Vestavěné 3D audio	Bez audia
Váha	610 g (bez kabelů)	470 g	555 g
Senzorika	Akcelerometr Gyroskop Magnetický senzor Detekce pozice očí	Akcelerometr Gyroskop Magnetický senzor Snímací pole (<i>detekce autistického, elektromagnetického signálu</i>) Detekce pozice očí	Akcelerometr Gyroskop Přední kamera Laserový senzor

Tabulka 2 - Porovnání PlayStation VR – Oculus Rift – HTC Vive⁸⁹

⁸⁶ *Oculus Rift* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/s/526531/oculus-rift/>

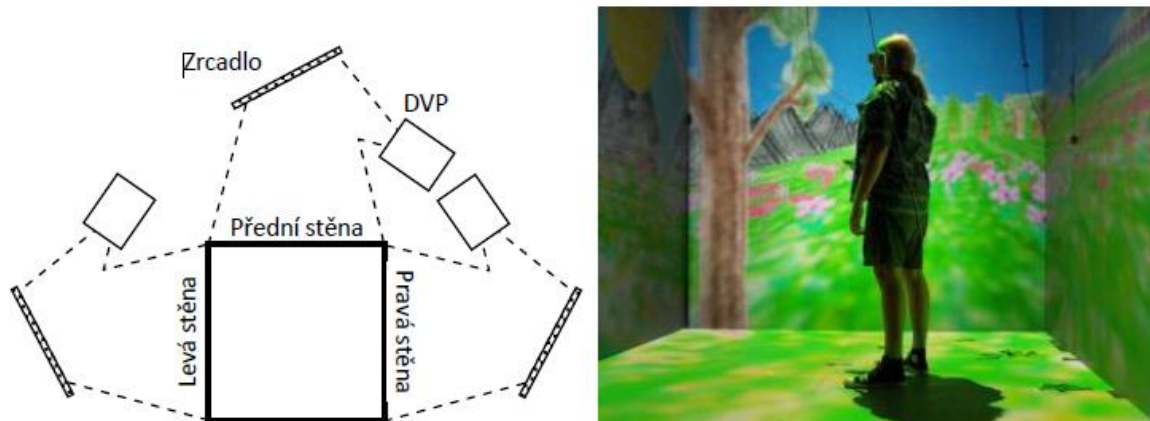
⁸⁷ *How Oculus Rift works* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/oculus-rift/how-oculus-rift-work>

⁸⁸ *Ibid.*

⁸⁹ *PlayStation VR vs PC Oculus Rift vs Vive Comparison Chart* [online]. [cit. 2017-01-29]. Dostupné z: http://www.ign.com/wikis/playstation-4/PlayStation_VR_vs_PC_Oculus_Rift_vs_Vive_Comparison_Chart

4.3.3 Speciální zařízení

CAVE – „*Cave Automatic Virtual Environment*“ je princip vytváření prostorového zobrazení dosahující maximálního požitku – míry imerze. Zařízení jsou budována dle přání zákazníka. CAVE je rozšířenou aplikací aktivní stereoskopie. Základem je několik pláten, na která je promítán obraz, formou zadní projekce (pro redukci velikosti zařízení je možné využít zrcadel). Výsledný obraz je generován s ohledem na pozici uživatele.



Obrázek 10 - Příklad možné konfigurace zařízení CAVE

Vzhledem k použití více projekčních ploch, které jsou zapotřebí pro generování prostorového vjemu, je pro tuto metodu projekce zapotřebí volného prostoru a zároveň vysokého výpočetní výkon.^{90 91}

⁹⁰ PROKÝŠEK, Miloš. *Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování* [online]. 2012, s. 54-55 [cit. 2017-01-06]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/93840/?lang=en>. Dizertační práce. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

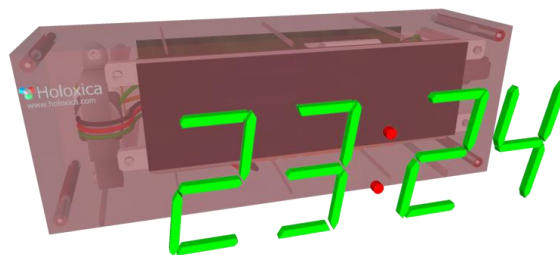
⁹¹ *How Virtual Reality Gear Works* [online]. [cit. 2017-01-31]. Dostupné z: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear2.htm>

4.4 Technologie holografické projekce

V rámci práce se zaměříme na tyto technologie holografické projekce:

- **Holoxica** - „Voxel“
- **Světelné pole**

Holoxica je druhým zástupcem holografické projekce, která využívá projekce voxelů⁹² do prostoru. Zobrazení využívá 2D povrchu umožňujícího pomocí fyzikálního principu difrakce vytvářet 3D tvary. K difrakci dochází v případě, kdy světlo prochází úzkým otvorem, jehož velikost je srovnatelná s vlnovou délkou procházejícího paprsku. V současnosti je již tato technologie schopná zahrnout několik milionů voxelů, s jejichž pomocí je možné vytvořit složité holografické projekce.^{93 94}



Obrázek 11 - Příklad jednoduché projekce (9 voxelů)⁹⁵

Holografie pomocí **světelného pole** využívá obdobného principu jako 3D DIY pyramida. Pomocí vysokorychlostního projektoru je obraz promítnutý na anizotropní zrcadlo (dále jen zrcadlo), které se otáčí až dvacetkrát za sekundu. Obraz projektoru musí být synchronizovaný s otáčkami zrcadla tak, aby byl v daný okamžik promítnutý správný obraz. Tento způsob projekce je poměrně komplikovaný a vyžaduje přesné nastavení časové synchronizace. Základní výhodou této holografické projekce je možnost sledovat tento hologram ze všech stran bez degradace kvality.⁹⁶

⁹² Voxel: lze jej definovat jako bod v rámci 3D prostoru – lze jej přirovnat k pixelu

⁹³ *Holographic technology takes a step beyond AR and VR* [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z:

<http://www.electronicweeky.com/news/comment-holographic-technology-takes-step-beyond-ar-vr-2016-12/>

⁹⁴ *Holoxica Awarded €1.28M, Moves 3D Visualisation from Sci-Fi to Reality* [online]. [cit. 2017-01-30].

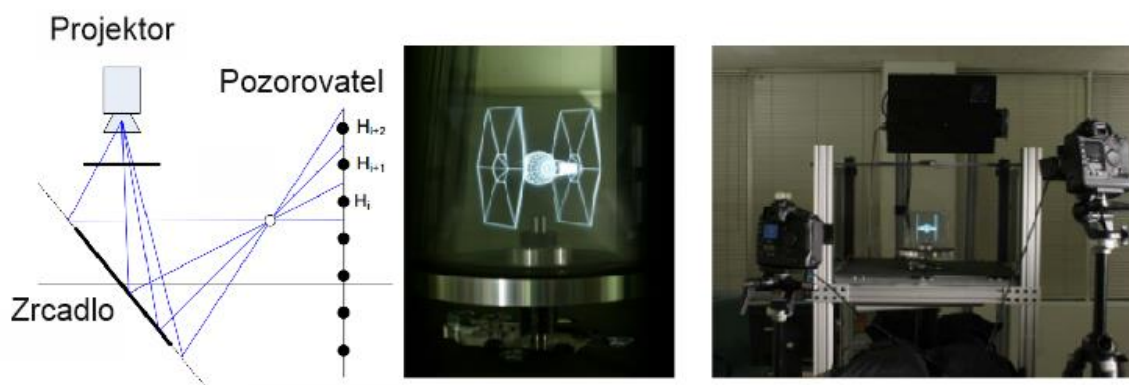
Dostupné z: <http://www.hnwmagazine.co.uk/holoxica-awarded-e1-28m-moves-3d-visualisation-from-sci-fi-to-reality/>

⁹⁵ *HOLOGRAPHIC TECHNOLOGY* [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z:

<http://www.holoxica.com/technology/>

⁹⁶ *Rendering for an Interactive 360° Light Field Display* [online]. [cit. 2017-01-30]. Dostupné z:

<http://gl.ict.usc.edu/Research/3ddisplay/>



Obrázek 12 - Princip světelného pole⁹⁷

5 Technologie interaktivních prostředků

V rámci této kapitoly je podrobena zkoumání funkčních a technologických principů vybraných technologií, jež lze teoreticky použít pro interakci v rámci prostorového zobrazení. Tyto technologie v rámci této práce kategorizujeme do následujících podkategorií:

- **Zařízení využívající inerciální senzorky**
- **Zařízení založené na zpracování obrazu**
- **Datové / Haptické rukavice**
- **Psychologické snímání**
- **Zařízení založené na sledování polohy uživatele / objektu**
- **Speciální zařízení**

5.1 Zařízení využívající inerciální senzorky

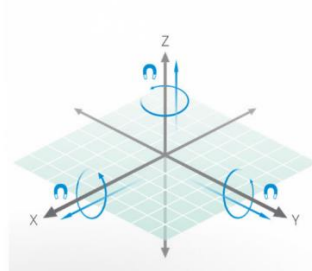
Princip inerciální senzorky byl prvotně použit u zařízení vyžadujících přesnou navigaci v prostoru, například při použití v letectví. Díky vývoji elektroniky se jednotlivé komponenty zmenšily natolik, že je lze umístit i do běžných zařízení. Mezi inerciální senzorku lze zařadit akcelerometr, gyroskop a magnetický senzor. Základním problémem INS zařízení je akumulace chyby, která může vést k neuspokojivému výsledku interakce. Pro zmenšení chyby se využívá kombinace inerciálních zařízení, nebo kombinace s dalšími technologiemi.⁹⁸

Dnešní zařízení jsou již běžně vybavena devítiosým inerciálním senzorem, tedy snímáním v rámci devíti os, které je realizováno skupinou snímačů:

⁹⁷ Ibid.

⁹⁸ *Interaction design for 3D user interfaces: the world of modern input devices for research, applications, and game development*. s. 43-44. ISBN 9781482216943.

- 3 osy pomocí gyroskopu,
- 3 osy pomocí akcelerometru,
- 3 osy pomocí kompasu.



Obrázek 13 - Příklad devíti osy INS⁹⁹

5.1.1 Gyroskop

Gyroskop je zařízení pro měření úhlového pohybu objektu. Výstup gyroskopu je úměrný jeho rotaci. Pomocí gyroskopu je možné získat úhlovou rychlost či změřit orientaci v prostoru (úhel gyroskopu).¹⁰⁰

5.1.2 Akcelerometr

Akcelerometr detekuje akceleraci vnější síly, která na něj působí. Výstup akcelerometru je kombinací akcelerace generované zemskou gravitací a lineární akcelerací při pohybu snímače. Každý senzor reaguje na akceleraci v určité ose. V minulost se běžně používali jednoosé akcelerometry, tvořené kombinací jednoosých snímačů. V současnosti se výhradně využívají tříosé akcelerometry skládající se z tří kolmých os, které reagují akceleraci v rámci těchto os.¹⁰¹

5.1.3 Magnetický senzor – kompas

Magnetický senzor, nebo též magnetometr, je založen na obdobném principu jako klasický kompas. Princip zařízení spočívá v měření magnetického pole ve třech osách pomocí zmagnetizovaného kousku plechu, u něhož dochází ke změně odporu vlivem magnetického pole. Změna odporu se vyhodnocuje elektrickým obvodem. Magnetometr umožňuje měřit sílu magnetického pole nebo i jeho směr.¹⁰²

⁹⁹ Kompas, gyroskop, akcelerometr, barometr, I2C, 9-Axis, [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: http://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product_id=336

¹⁰⁰ Senzory v mobilních telefonech od A do Z [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.beryko.cz/blog/recenze/senzory-v-mobilnich-telefonech-od-a-do-z.html>

¹⁰¹ Ibid.

¹⁰² Ibid.

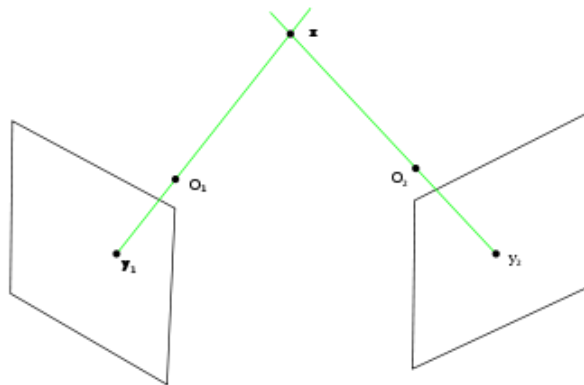
5.2 Zařízení založená na zpracování obrazu

Zařízení založená na zpracování obrazu využívají principů počítačového vidění. Tato zařízení se stala velmi populárními nejen díky jejich nízké ceně, ale i díky možnosti reálného využití v komerční sféře. V případě této kategorie se v práci zaměříme na zařízení Kinect (detekce celého uživatele) a Leap Motion (částečná detekce uživatele).¹⁰³

5.2.1 Kinect – (detekce celého uživatele)

Zařízení Kinect bylo poprvé uvedeno na trh v roce 2010 a pyšnil se i titulem v Guinnessově knize rekordů jako „nejrychleji prodávané spotřební elektronické zařízení“ poté, co se prodalo 8 milionů kusů za prvních 60 dní.

Zařízení umožňuje detekci objektů a uživatelů v třírozměrném systému. Pro detekci je využito infračervených emitorů a kamer. Systém 3D skeneru se nazývá Light Coding a je založen na rekonstrukci 3D obrazu pomocí stereo-triangulace, díky níž je možné získat hloubku každého objektu.¹⁰⁴



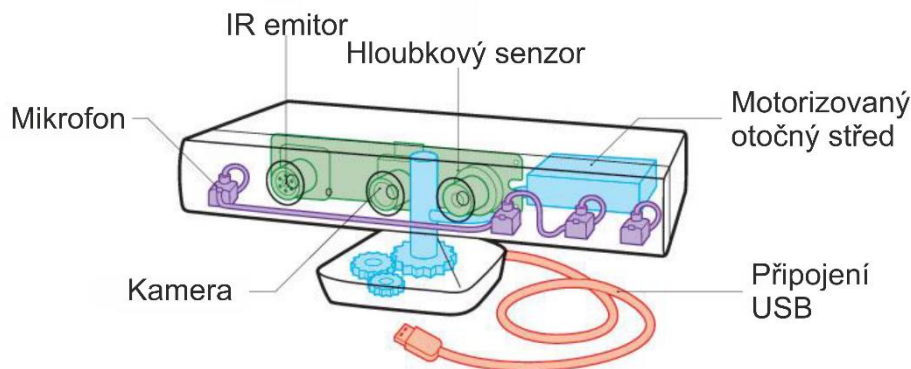
Obrázek 14 - Stereo-triangulace bodu¹⁰⁵

Z pohledu konstrukce je Kinect vodorovné zařízení umístěné na podstavci vybaveném motorem umožňujícím měnit sklon snímání. Další prvky jsou zmíněné hloubkové senzory, kamera a širokopásmový mikrofón.

¹⁰³ *Interaction design for 3D user interfaces: the world of modern input devices for research, applications, and game development*. s. 44. ISBN 9781482216943.

¹⁰⁴ KORTAN, Michal. *Interaktivita ICT prostředků* [online] 2014, s. 38-41 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/180650?ln=cs>. Bakalářská. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce Miloš Prokýšek.

¹⁰⁵ *How Kinect depth sensor works – stereo triangulation?* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://mirror2image.wordpress.com/2010/11/30/how-kinect-works-stereo-triangulation/>



Obrázek 15 - Kinectzařízení¹⁰⁶

Kamera snímá obraz v rozlišení 640x480 px při 30 Hz, obraz je snímán Bayerovým barevným filtrem. Maximální pracovní úhel je 57° vodorovně a 43° svisle, díky automatické změně polohy je možné změnit reálný náklon zařízení až do 27° ve vertikálním směru. Kinect také obsahuje 4-pólové mikrofony, zpracovávající 16bitový zvuk při vzorkovací rychlosti 16 KHz na jeden kanál.¹⁰⁷

5.2.2 Leap Motion – (částečná detekce uživatele)

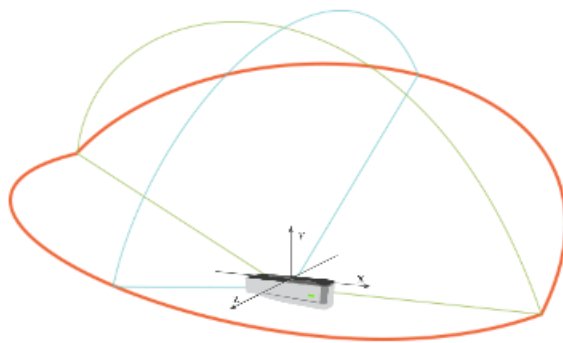
Oproti předchozímu zařízení snímá Leap Motion pohyb ruky a jednotlivých prstů, bez nutnosti přímého kontaktu. Leap Motion je kompaktní zařízení standardně připojené přes USB. Principiálně toto zařízení vyžívá dvou jednobarevných IR (infračervených) kamer a tří infračervených LED. Zařízení detekuje přítomnost „ruky“ uživatele v přibližné vzdálenosti jednoho metru. LED diody generují 3D vzor z teček pomocí infračerveného světla. IR kamery jsou schopné generovat až 300 snímků za sekundu, jež jsou následně zaslány do počítače, kde jsou získaná data dále zpracována. Data získaná z obou kamer se syntetizují „skládají“ na 3D poziční data. Zařízení je navrženo tak, aby bylo schopné sledovat jednotlivé prsty, nebo jiné objekty vně sledované oblasti, s prostorovou přesností kolem 0.01 mm.^{108 109}

¹⁰⁶ Ibid.

¹⁰⁷ KORTAN, Michal. *Interaktivita ICT prostředků* [online] 2014, s. 38-41 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/180650?ln=cs>. Bakalářská. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce Miloš Prokýšek.

¹⁰⁸ *How Does the Leap Motion Controller Work?* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://blog.leapmotion.com/hardware-to-software-how-does-the-leap-motion-controller-work/>

¹⁰⁹ KORTAN, Michal. *Interaktivita ICT prostředků* [online] 2014, s. 41-42 [cit. 2017-01-09]. Dostupné z: <http://invenio.nusl.cz/record/180650?ln=cs>. Bakalářská. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce Miloš Prokýšek.



Obrázek 16 - Leap Motion pozorovací oblast¹¹⁰

5.3 Datové / Haptické rukavice

Tato speciální zařízení poskytují data o určitých akcích vykonané uživatelem. Z pohledu principu lze tato zařízení rozdělit na datové a haptické rukavice. Principiálně se jedná o zařízení (prostředek), která jsou reálně nasazena na ruku uživatele. V závislosti na konkrétní technologii je využito sensoriky, případně i kamer sledujících specifické body, které se nadále zpracují k získání polohy a detekci pohybu ruky nebo prstů.

Základním rozdílem mezi jednotlivými technologiemi je míra zpětné vazby. V případě haptických rukavic je usilováno o vytvoření efektu reálného dotyku – uchopení virtuálního objektu. Datové rukavice tuto vlastnost postrádají a jejich primárním účelem je interakce s objektem.¹¹¹

5.3.1 Manus VR – (datová rukavice)

Příkladem datových rukavic je zařízení Manus VR, které je primárně navrženo pro zařízení HTC Vive. Zařízení obsahuje inerciální sensoriku od firmy Bosch, každá rukavice je vybavená gyroskopem, akcelerometrem a magnetickým senzorem, každý prst rukavice obsahuje dvojici senzoru, schopné detekovat pohyb. Navíc jsou palce vybaveny senzory schopné měřit rotaci.

Pomocí této rukavice je možné detekovat nejen jednotlivé prsty, ale do jisté míry i paži uživatele, která může být v rámci virtuálního světa generována společně s jednotlivými prsty. Konektivita je řešena bezdrátově, udávána latence zařízení je méně než 5 ms a pracovní doba v rozmezí 3-6 hodin. Zařízení také nabízí omezenou možnost zpětné vazby, pro kterou jsou k dispozici programovatelné vibrační motory, reálně umístěny na zadní části rukavice.¹¹²

¹¹⁰ Leap Motion device [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.emdeebec.com/index.html>

¹¹¹ Interaction design for 3D user interfaces: the world of modern input devices for research, applications, and game development. s. 44-45. ISBN 9781482216943.

¹¹² The Pinnacle of VR Controllers [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://manus-vr.com/>



Obrázek 17 - Manus VR¹¹³

5.3.2 Avatar VR – (haptická rukavice)

Zařízení Avatar VR je novou generací vycházející z původního návrhu Gloveone od společnosti NEURODIFITAL. Oproti zařízením Manus VR či Gloveone je v rámci tohoto zařízení obsaženo i několik dalších snímačů určených k umístění na hrud' a paže uživatele. Ty pak slouží k detekci pohybu horních končetin. Z pohledu technologického obsahují rukavice a jednotlivé prsty devítiosou inerciální sensoriku tvořenou gyroskopem, akcelerometrem a magnetickým senzorem.

Zařízení má více možností konektivity a maximální udávaná latence je 40 ms. Nejlepší latence je udávaná při použití kabelového připojení, kde se pohybuje kolem 1 ms. Haptického efektu je dosaženo pomocí deseti vibračních motorů, umístěných na konečcích prstů, vibrují v kmitočtech přirozených pro lidské vnímání.¹¹⁴



Obrázek 18 – Avatar VR¹¹⁵

¹¹³ Ibid.

¹¹⁴ Avatar VR [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.neurodigital.es/avatarvr/>

¹¹⁵ Ibid.

5.4 Zařízení založené na sledování polohy uživatele/ objektu

V mnoha případech je důležité sledovat uživatele v reálném čase. Například detekce přítomnosti uživatele, detekce pohybu ruky, a nakonec ukončení dané interakce. Existují různé způsoby sledování pohybu uživatele zahrnující mechanické, akustické inerciální či optické sledování. V případě sledování objektu lze využít objekt jako marker-bod, který je sledován, nebo slouží k následné interakci s uživatelem.

Jednotlivými způsoby této interakce se zabývá Andrew Willson z Microsoft Research¹¹⁶, který ve své práci popsal jednotlivé způsoby, založené na senzorickém snímání nebo rozpoznání objektu určeného k interakci.

Příklad senzorického snímání je využití mobilního telefonu, který lze použít jako prostředníka pro interakci, kde samotný telefon nemusí sloužit pro interakci, ale jako zařízení, které předává základní informace o pohybu uživatele a jeho umístění.

Příklad rozpoznání objektu, vyžaduje kamery pro detekci obrazu. Obraz je zpracován a na základě zvoleného vzoru dochází k interakci. Základním způsobem je detekce QR kódu – fotografie. Pokročilejším způsobem je detekce reálného 3D objektu.¹¹⁷

5.5 Neurologické snímání

Zařízení pro neurologické snímání, lze považovat za zařízení ve stádiu vývoje. Základním principem je detekce a zpracování EEG signálu lidského mozku. V rámci této práce se je podrobena testování zařízení Emotiv.¹¹⁸

Emotiv Epoc + je vybaveno čtrnácti bezdrátovými kanály pro měření EEG. Princip tohoto zařízení vychází z učení. Pomocí speciální aplikace lze rozdílné hladiny EEG aktivity lidského mozku přiřadit k určitým příkazům. Zařízení je bezdrátové, propojení je realizováno pomocí Bluetooth a udávaná provozní doba okolo 6-12 hodin.¹¹⁹

¹¹⁶Andy Wilson - Researcher [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/awilson/>

¹¹⁷Interaction design for 3D user interfaces: the world of modern input devices for research, applications, and game development. s. 44-49. ISBN 9781482216943.

¹¹⁸Interaction design for 3D user interfaces: the world of modern input devices for research, applications, and game development. s. 45. ISBN 9781482216943.

¹¹⁹EPOC+ [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <https://www.emotiv.com/epoc/>



Obrázek 19 - Emotiv Epoc+ ilustrace skenovaných částí lidského mozku¹²⁰

5.6 Speciální zařízení

Speciální zařízení jsou omezena svým použitím. Lze je tedy definovat jako jednoúčelová zařízení omezená způsobem interakce či platformou.

HTC Vive – Oculus Touch hand controller jsou zařízení omezená pro danou platformu. Z pohledu principu obsahují ovladače s inerciální senzorikou a zároveň jsou zařízení vybavena fyzickými tlačítky.¹²¹



Obrázek 20 - HTC Vive - Oculus Touch¹²²

SpacewalkerVR je příkladem zařízení, které umožňuje uživateli pohyb ve všech směrech a bez změny polohy. Zařízení lze principiálně přirovnat ke klasickému běžeckému pásu a v současnosti je jej možné použít s rozdílnými technologiemi virtuální reality.¹²³

ICAROS je dalším specifickým zřízením umožňujícím uživateli simulovat let. Uživatel „letec“ pomocí pohybů – náklonů vlastního těla a změnou polohy „řídítek“ ovládá směr a rychlost letu. Zařízení je propojené s headsetem virtuální reality a předává informace o jednotlivých pohybech. Firma usiluje, aby jejich zařízení propojilo cvičení a zábavu.¹²⁴

¹²⁰ Ibid.

¹²¹ *Oculus Touch vs. HTC Vive – Which Is The Better VR Controller* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://uploadvr.com/oculus-touch-vs-htc-vive-better-controller/>

¹²² Ibid.

¹²³ *Spacewalker* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://spacewalkervr.com/>

¹²⁴ *ICAROS* [online]. [cit. 2017-02-15]. Dostupné z: <http://www.icaros.net/>

6 Klasifikace zkoumaných technologií

Na základě funkčně technologické specifikace byla sestavena souhrnná klasifikace prostředků prostorového zobrazení a metod interakce.

Kategorizace			Příklad zařízení	Forma prostorového zobrazení	Percepční charakter prostorového zobrazení		
				-	Počet diváků	Pohybová paralaxa	Míra imerze
				pravé, nepravé	monoskopické, polyskopické	aktivní, pasivní	nízká, střední, vysoká
Technologie rozšířené reality	Mobilní zařízení		-	pravé, nepravé	monoskopické	aktivní, pasivní	nízká, střední
	Stacionární systémy	Video systémy	-	pravé, nepravé	polyskopické	pasivní	střední
		Optické systémy	HOLUS	nepravé	polyskopické	aktivní	střední
		SAR systémy	-	nepravé	polyskopické	aktivní	nízká
	Chytré sklo	-	IKEA Smart Table	nepravé	polyskopické	aktivní	střední
	HMD	Snímání reálného prostředí	VUZIX WRAP 1200AR	pravé	monoskopické	aktivní, pasivní	nízká, střední
		Projekce na polopropustný materiál	Google Glass	nepravé	monoskopické	aktivní, pasivní	střední
Technologie rozšířené virtuality	Specifické		CSIRO	pravé, nepravé	monoskopické	aktivní, pasivní	střední, vysoká
	Víceúčelové		Microsoft HoloLens	pravé	monoskopické	aktivní	střední, vysoká
Technologie virtuální reality	Pasivní		Google CardBoard	pravé	monoskopické	aktivní, pasivní	nízká, střední
	Aktivní		Oculus Rift	pravé	monoskopické	aktivní	střední
	Speciální		Cave	pravé	monoskopické	aktivní	vysoká
Technologie holografické projekce	-		Holoxica	pravé	polyskopické	aktivní, pasivní	vysoká

Tabulka 3 - Klasifikace prostředků prostorového zobrazení

Kategorizace			Příklad zařízení	Přímá / Nepřímá	Směr komunikace	Hodnocení modality	Uživatelská kontrola		Počet uživatelů
				-	-		Časová náročnost	Chybovost	-
			přímá, nepřímá	jednosměrná, jednosměrná se zpět. vazbou, obousměrná	vizuální, sluchová, sensorová	nízká, střední, vysoká	nízká, střední, vysoká	monoskopické, polyskopické	
Zařízení využívající inerciální senzory	Gyroskop	-	nepřímá	jednosměrná, jednosměrná se zpět. vazbou	sensorová	nízká	střední	-	
	Akcelerometr	-	nepřímá	jednosměrná, jednosměrná se zpět. vazbou	sensorová	nízká	střední	-	
	Magnetický senzor	-	nepřímá	jednosměrná, jednosměrná se zpět. vazbou	sensorová	nízká	vysoká	-	
Zařízení založené na zpracování obrazu	Detekce celého uživatele	Microsoft Kinect	přímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sluchová	střední	nízká	polyskopické	
	Částečná detekce	Leap Motion	přímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální	střední	střední	monoskopické	
Datové / Haptické rukavice	Datové	Manus VR	nepřímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	-	-	monoskopické	
	Haptické	Avatar VR	nepřímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	-	-	monoskopické	
Neurologické snímání	-	Emotiv EPOC+	nepřímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	vysoká	vysoká	monoskopické	
Zařízení založené na sledování polohy uživatele / objektu	Senzorické snímání	-	přímá, nepřímá	jednosměrná, jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sluchová, sensorová	střední	střední	monoskopické, polyskopické	
	Rozpoznávání objektu	-	přímá, nepřímá	jednosměrná, jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	nízká	střední	monoskopické, polyskopické	
Speciální zařízení	-	HTC Vive Oculus Touch	nepřímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	-	-	monoskopické	
	-	SpaceWalker	nepřímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	-	-	monoskopické	
	-	ICAROS	nepřímá	jednosměrná se zpět. vazbou	vizuální, sensorová	-	-	monoskopické	

Tabulka 4 – Klasifikace prostředků pro interakci

7 Praktická část

Hlavní náplní praktické části je vytvoření aplikací umožňujících rozdílné způsoby interakce zohledňující odlišné formy zobrazení. Návrh a koncept jednotlivých aplikací vychází z teoretické části.

Vzniklé aplikace budou následně testovány skupinami uživatelů a na základě dotazníkového šetření budou získány statistiky zohledňující jednotlivá specifika vytvořených aplikací.

Praktická část je dostupná na přiloženém nosiči, zároveň jsou jednotlivé experimenty dostupné i online na adrese <https://sourceforge.net/projects/diploma-thesis-severa/>, kde jsou v záložce *Files* jednotlivé experimenty uspořádány obdobně jako na přiloženém nosiči.

7.1 Analýza

Kapitola obsahuje analýzy nezbytně předcházející implementaci jednotlivých experimentů. Jedná se o analýzu současných vývojových nástrojů (SDK, Frameworků a vývojových prostředí), jež lze teoreticky použít pro implementaci jednotlivých experimentů.

7.1.1 Funkční požadavky na vývojové nástroje

V rámci analýzy jednotlivých vývojových nástrojů bylo realizováno přes 20 případových studií. Ty měly za úkol nalezení vhodných technologií pro implementaci a stanovení funkčních požadavků.

Funkční požadavky pro vývojové prostředí lze shrnout do těchto základních bodů:

- **Možnost vývoje pro rozdílné způsoby zobrazení, především VR, AR**
- **Podpora rozdílných zařízení pro interakci**
- **Možnost vývoje pro rozdílné platformy (PC – Android)**
- **Dostupná dokumentace a podpora pro realizaci jednotlivých experimentů**
- **Bezplatné použití**

7.1.2 Volba vývojových nástrojů

Vzhledem k definovaným funkčním požadavkům bylo pro realizaci jednotlivých experimentů zvoleno vývojové prostředí Unity 3D (verze 5.4.4f1)¹²⁵, v současnosti jako jeden z mála nástrojů podporující řadu zařízení určených pro VR, AR. Unity 3D je určeno pro vývoj herních

¹²⁵ Unity 3D [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://unity3d.com/>

aplikací a podporuje vývoj pro rozdílné platformy. Pro implementaci v rámci tohoto prostředí byl zvolený jazyk C Sharp.

Pro implementace jednotlivých experimentů bylo využito především těchto SDK:

- **Vuforia** (v.6.2.10) pro AR¹²⁶
- **EasyAR** (v1.3.1) pro AR¹²⁷
- **Google VR** (v.0.9.1) pro VR¹²⁸
- **Orion Beta** (v.3.2.0) pro Leap Motion¹²⁹

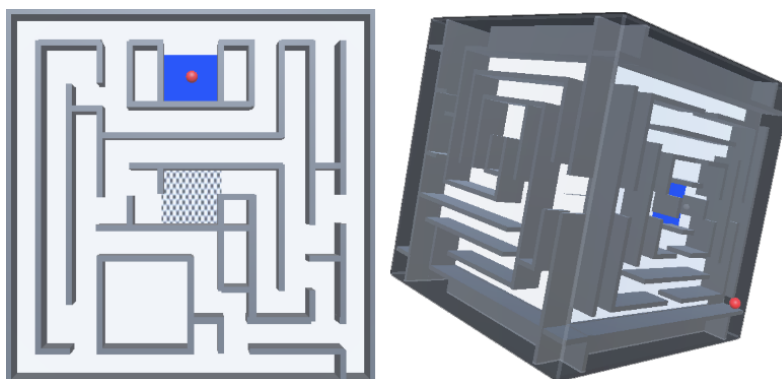
Veškeré instalační soubory jsou součástí přiloženého nosiče a jsou umístěny ve složce *Install*.

7.2 Popis experimentů

V rámci kapitoly je popsán princip jednotlivých experimentů. Kategorizace experimentů dle teoretické části, je obsahem *kapitoly 7.3*. Experiment 1 a experiment 2 je realizován v rámci jedné aplikace, kterou lze rozdělit na dvě samostatné části. Aplikace byly spojeny z důvodu omezeného množství zařízení potřebných pro realizaci uvedených experimentů.

Realizované experimenty lze rozdělit do dvou základních skupin. První skupinou jsou bludiště, kde je cílem dosáhnout konečného bodu. Druhou skupinou experimentů je kreslení, oproti bludišti nemá přesně definovaný cíl, ale je primárně zaměřené na práci v rozdílných způsobech zobrazení.

Bludiště bylo v rámci experimentů, kromě VR, realizováno jako deska a 3D kostka, dále jen kostka.



Obrázek 21 - Ukázka tvaru bludiště deska, kostka

¹²⁶ Vuforia [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://www.vuforia.com/>

¹²⁷ EasyAR [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <http://www.easyar.com/>

¹²⁸ Google VR [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://developers.google.com/vr/>

¹²⁹ Orion Beta – Leap Motion [online]. [cit. 2017-03-28]. Dostupné z: <https://developer.leapmotion.com/get-started/>

Pro kreslení je využité zařízení Leap Motion (popsané v kapitole 5.5.2), jenž je schopné detekce rukou a jednotlivých prstů. V případě, že aplikace detekuje definované gesto, dojde k akci, jež má za následek vytvoření grafického obrazce „čáry“. Akce trvá, dokud nedojde k jejímu ukončení přerušáním gesta.



Obrázek 22 – Ukázka gesta pro kreslení

Pro experimenty využívající detekci objektů je zapotřebí vytisknout a v případě kostky sestrojít reálnou kostku. Podklady pro sestrojení těchto objektů jsou dostupné ve složce *_Targets*.

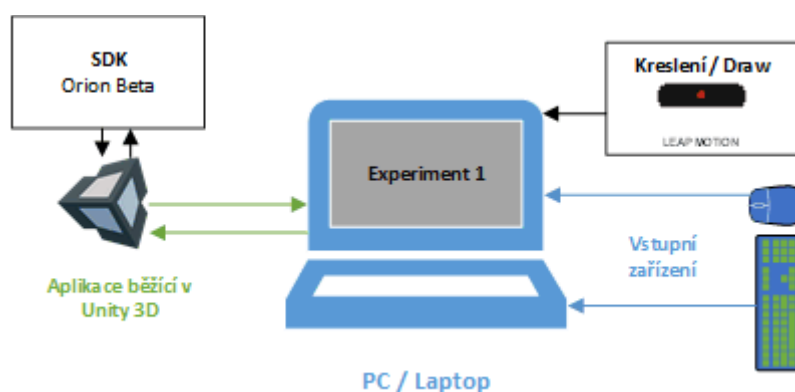
V případě Experimentu 6 – 3DIY PC + Android bylo nutné sestrojít pyramidu, pomocí které je vytvářena iluze prostorové projekce. *Kapitola 7.4* popisuje základní informace technické řešení a zvolený koncept.

V rámci prezentace základních principů vytvořených experimentů byly vytvořeny krátké nahrávky popisující základní princip. Nahrávky jednotlivých experimentů jsou dostupné na následující adrese [link](#).

(https://www.youtube.com/playlist?list=PL1CGFWT-Ps8pLt6AjlGsniY0PiE-_r6oB)

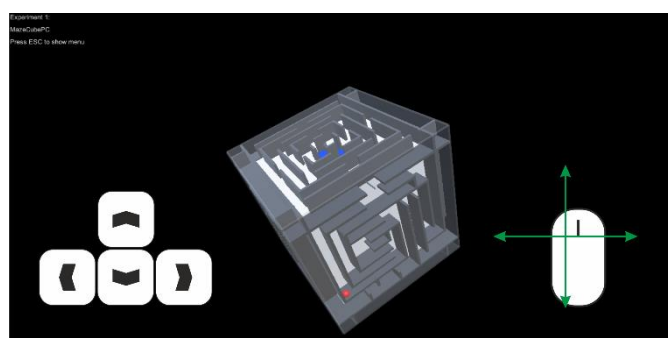
7.2.1 Experiment 1 – PC (Bludiště, kreslení)

V případě tohoto experimentu je využito základních zařízení pro interakci v kombinaci 2.5 D zobrazením. Experiment se skládá ze dvou základních scénářů. První scénář představuje bludiště realizované jako deska a kostka. Druhým scénářem je kreslení v prostoru. Uživatel má zároveň k dispozici menu, ve kterém může libovolně přepínat mezi jednotlivými scénáři, restartovat daný scénář a podobně.



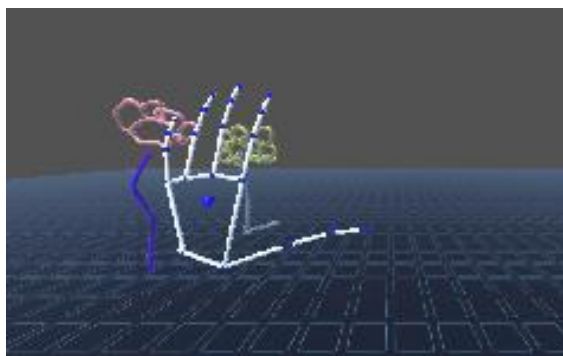
Obrázek 23 - Schéma Experimentu 1

U prvního scénáře představujícího bludiště má uživatel k dispozici pro interakci směrové šipky klávesnice a tažení myši. Pomocí těchto základních prostředků se uživatel snaží dostat kuličku do cílové pozice. V případě desky není tato úloha příliš komplikovaná. Kostka oproti tomu vyžaduje orientaci v rámci 3D prostoru, zatímco uživatel pracuje s omezeným zobrazením a interaktivními prostředky.



Obrázek 24 - Experiment 1 ovládání bludiště

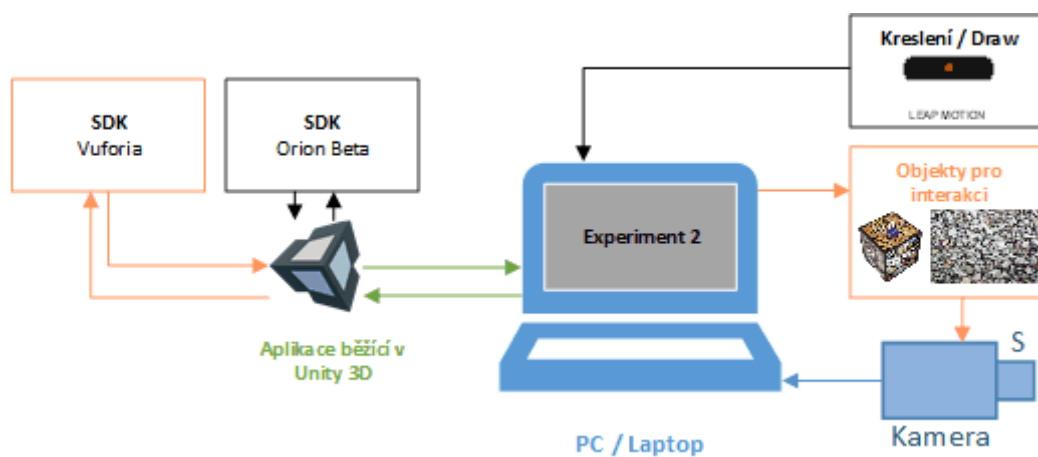
Druhý scénář, kreslení, využívá zařízení Leap Motion. Uživatel má možnost pomocí popsaného gesta vytvářet jednoduché obrazce. V rámci experimentu byl Leap Motion orientován a umístěn na hlavě uživatele, ale je možné jej orientovat i jako ležící zařízení, podložku, kdy tento způsob umístění je pro experiment vhodnější. Základním nedostatkem tohoto scénáře je omezený pohled do pracovního prostoru.



Obrázek 25 – Kreslení v experimentu 1

7.2.2 Experiment 2 – AR PC (Bludiště, kreslení)

Experiment 2 využívá rozšířené reality, kde je k interakci využito reálných objektů snímaných pomocí kamery. Pomocí pohybu reálného objektu k interakci dochází i k pohybu modelu v rámci programu. Snímaný obraz je následně zpracován a převeden na obrazovku počítače. Scény jsou rozděleny stejně jako v prvním experimentu na bludiště a kreslení. Pro tento experiment byla sestrojena AR čepice, na které je umístěna kamera a Leap Motion.



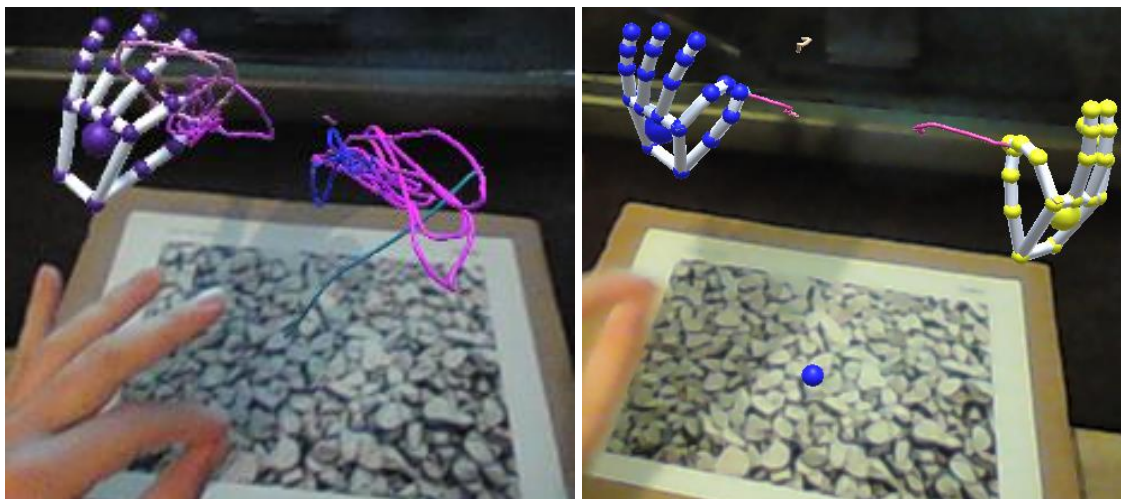
Obrázek 26 - Schéma principu experimentu 2

Princip bludiště je založený na detekci reálného objektu a jeho textury. Na základě detekované textury je následně zobrazen model. Dojde-li k rotaci objektu „textury“, dojde i k rotaci modelu. Výhodou oproti experimentu 1 je přirozená interakce pomocí reálného objektu.



Obrázek 27 - AR čepice, mapování modelu na objekt

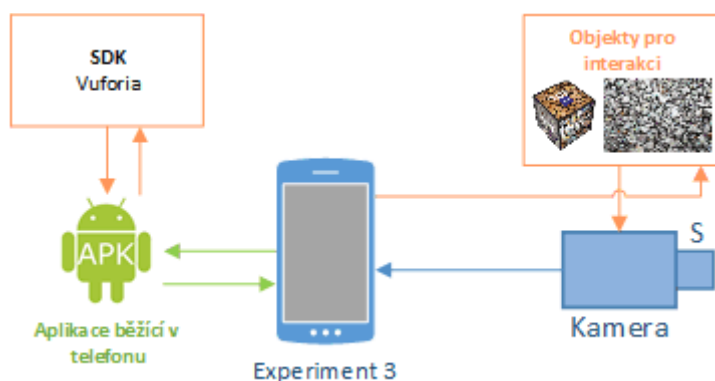
V případě kreslení je nutné detekovat nejprve objekt pro interakci „desku“. Následně je možné zahájit kreslení. Vytvořený obrazec je pevně spojený s objektem a je tedy možné s ním volně pohybovat. Nevýhodou tohoto způsobu je vyšší chybovost než u dalších způsobů kreslení.



Obrázek 28 - Kreslení pomocí AR čepice

7.2.3 Experiment 3 – AR / AV ANDROID (Bludiště)

Experiment 3 obsahuje úlohy bludiště. Oproti předchozímu experimentu běží aplikace přímo na mobilním zařízení. Díky tomu není nutné pozorovat monitor a zároveň reálný objekt. Aplikace využívá stereoskopické projekce s fyzickou bariérou a také kamery telefonu, kde je výsledný obraz následně promítnutý na displej telefonu. Vytvořené zobrazení lze tedy kategorizovat jako rozšířenou realitu s prvky rozšířené virtuality.



Obrázek 29 - Schéma principu experimentu 3

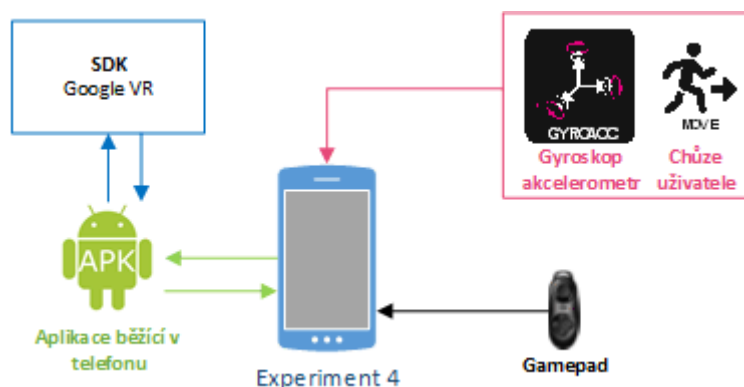
Interakce v rámci aplikace probíhá pomocí objektů pro interakci a zároveň pomocí gamepadu, který slouží ke změně mezi jednotlivými scénami bludiště, restartu aplikace a ovládnání prvků menu.



Obrázek 30 – Brýle a gamepad, mapování objektu

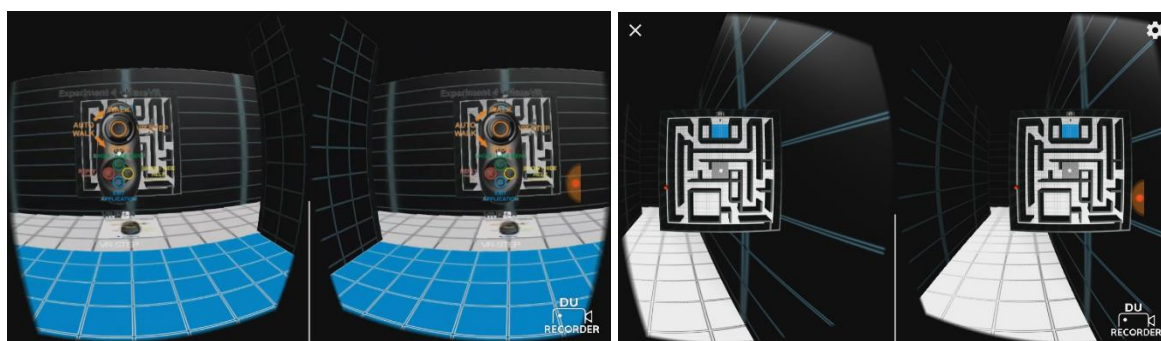
7.2.4 Experiment 4 – VR ANDROID (Bludiště)

Dalším experimentem je bludiště ve virtuální realitě. Zatímco v předchozích experimentech bylo bludiště realizováno jako deska, nebo kostka, v rámci této aplikace je bludiště realizováno jako místnost vycházející ze stejného tvaru jako deska. Aplikace používá obdobně jako experiment 3 stereoskopické projekce s fyzickou bariérou a sensoriku mobilního zařízení.



Obrázek 31 - Schéma principu experimentu 4

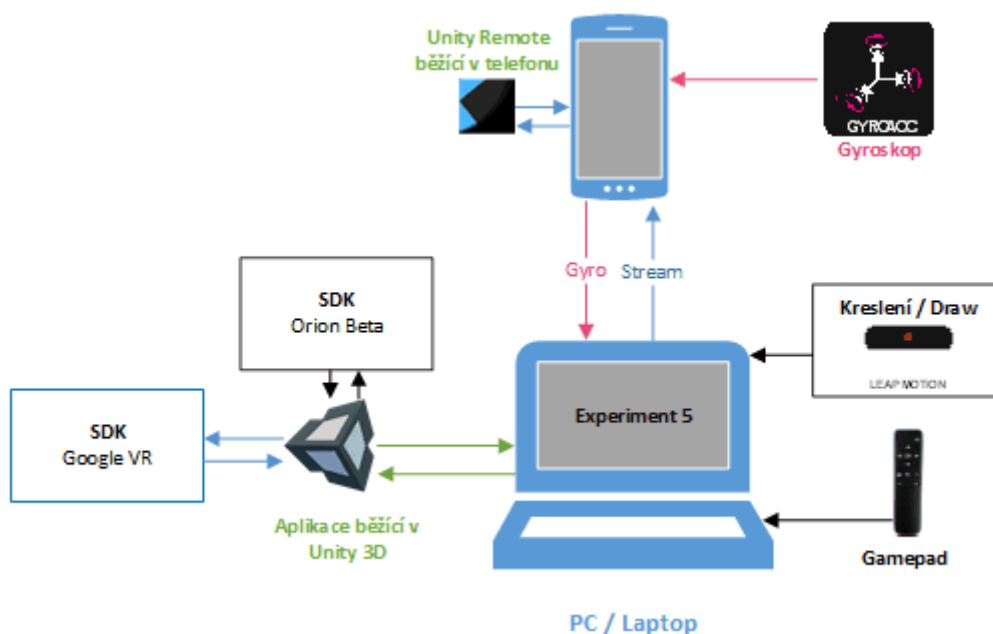
Pro interakci je využito sensorické části telefonu, gyroskopu a akcelerometru. V případě, že byl detekován pohyb uživatele, dochází k pohybu v rámci bludiště. Pohyb je realizován na základě detekce změny hodnot akcelerometru a gyroskopu. Experiment byl optimalizován pro zařízení Nexus 4. Uživatel má dále možnost se v rámci prostoru otáčet a volně rozhlížet, pro tyto pohyby je využito dat z gyroskopu. Pro vyvolání menu a mapy bludiště lze použít gamepad. V rámci testování lze též zapnout experimentální mód, který umožňuje automatickou chůzi v rámci bludiště. Uživatel se pak pro změnu směru musí reálně otočit.



Obrázek 32 – Experiment 4 počáteční pozice a vyvolání mapy bludiště.

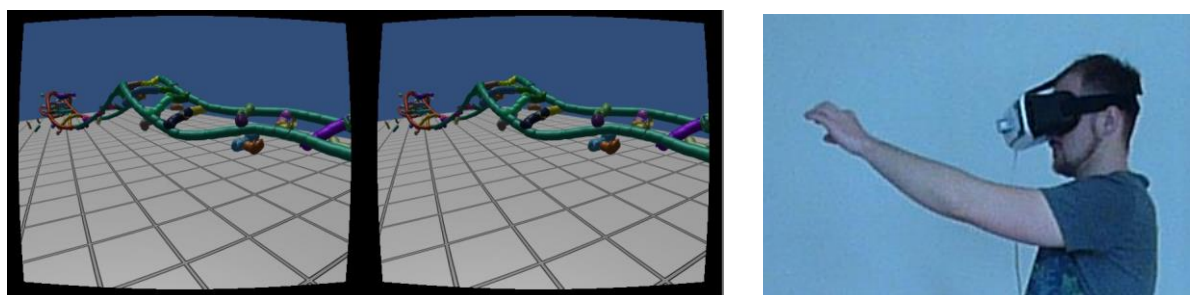
7.2.5 Experiment 5 – VR ANDROID (Kreslení)

U tohoto experimentu je uživateli poskytnuta virtuální realita s možností kreslení a volného pohybu v omezeném prostoru. Aplikace využívá stereoskopické projekce s fyzickou bariérou, sensoriku mobilního zařízení a Leap Motion.



Obrázek 33 - Schéma principu experimentu 5

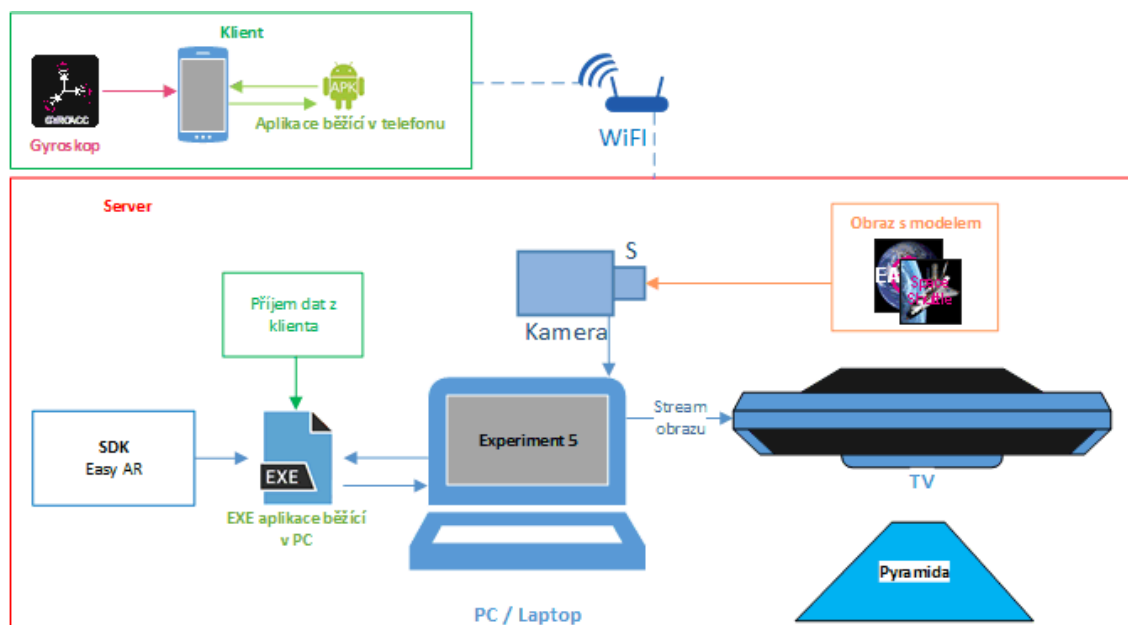
Základním principem je aplikace Unity Remote běžící v telefonu, s jejíž pomocí jsou data o gyroskopu zasílána do počítače a zároveň je výsledný obraz přenášen zpět do mobilního zařízení. V případě, že zařízení Leap Motion zachytí gesto pro kreslení, dochází k vytvoření obrazce. Pro pohyb v rámci scény a vyvolání základního menu je využit gamepad. Veškerá zařízení jsou připojena do počítače. Tento experiment byl optimalizován pro mobilní zařízení Xiaomi Redmi 3S.



Obrázek 34 – Experiment 5 malování v prostoru

7.2.6 Experiment 6 – 3DIY PC + ANDROID (Projekce obrazu)

Experiment 6 využívá 3DIY projekce do pyramidy, která byla v rámci této práce sestrojena. Díky této projekci byla vytvořena iluze prostorového obrazu v rámci reálného prostředí. Pro ukázkou projekce byla vytvořena aplikace zahrnující jednotlivé planety sluneční soustavy. Tento experiment je poměrně náročný na podmínky projekce a to zejména na podmínky světelné.

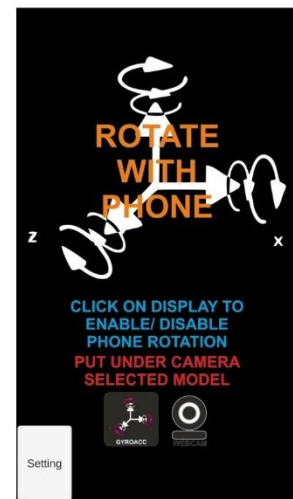
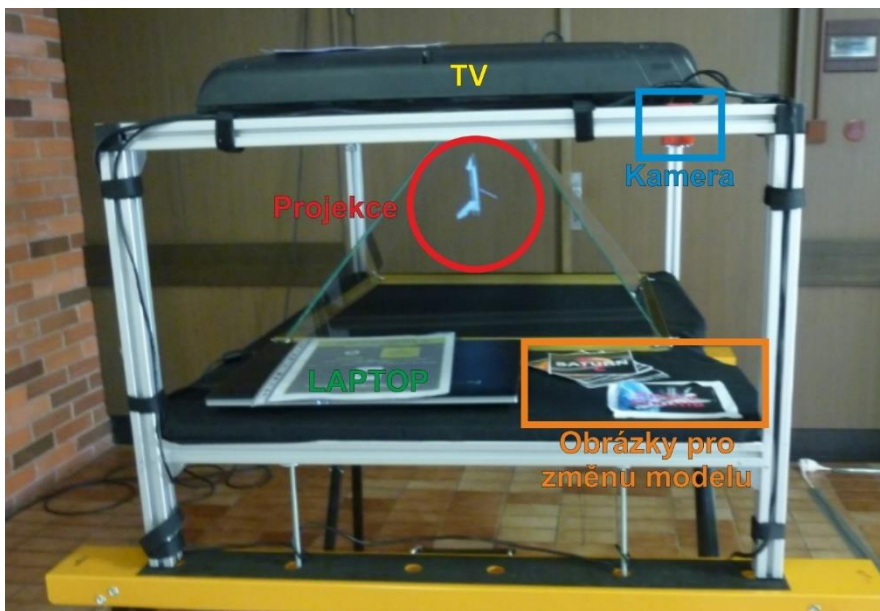


Obrázek 35 - Schéma principu experimentu 6

Předdefinované modely jsou spojeny s obrázkem, který se chová obdobně jako QR kód. Po načtení příslušného obrázku kamerou je zobrazen příslušný model na obrazovce televizoru. Generovaný obraz skládá celkem ze čtyř obrázků, které snímají model ze čtyř stran. Obrazy se promítnou na jednotlivé strany pyramidy, kde následně vzniká iluze prostorové projekce. Pomocí mobilního zařízení nacházejícím se na stejné síti je možné s daným modelem volně otáčet. Pro rotaci s modelem se využívá gyroskopu. Synchronizace dat mezi telefonem a počítačem je bezdrátová a je nutné, aby se uvedená zařízení nacházela na stejné síti. Aplikace je optimalizována na rozlišení televizoru 1360x768.



Obrázek 36 - Obraz pro projekci do pyramid



Aplikace v telefonu

Obrázek 37 - Experiment 6 3DIY projekce a aplikace v telefonu

7.3 Souhrnná klasifikace experimentů

Vytvořené experimenty jsou klasifikovány na základě teoretické části. Použité členění koresponduje s klasifikací vytvořenou v kapitole 6.

Experiment	Kategorizace			Forma prostorového zobrazení	Percepční charakter prostorového zobrazení		
				-	Počet diváků	Pohybová paralaxa	Míra imerze
				pravé, nepravé	monoskopické, polyskopické	aktivní, pasivní	nízká, střední, vysoká
Experiment 1 PC	-			Nepravé	polyskopické	pasivní	nízká
Experiment 2 AR PC	AR	Stacionární systém	Video systém	Nepravé	polyskopické	aktivní	střední
Experiment 3 AR - AV ANDROID (BLUDIŠTĚ)	AR - AV	HMD	Snímání reálného prostředí	Pravé	monoskopické	aktivní	střední
Experiment 4 VR ANDROID (BLUDIŠTĚ)	VR	Pasivní		Pravé	monoskopické	aktivní	vysoká
Experiment 5 VR (KRESLENÍ)	VR	Pasivní		Pravé	monoskopické	aktivní	vysoká
Experiment 6 3DIY PC + ANDROID	AR	Stacionární systém	SAR systém	Nepravé	polyskopické	aktivní	střední

Tabulka 5 – Klasifikace zobrazení vytvořených experimentů

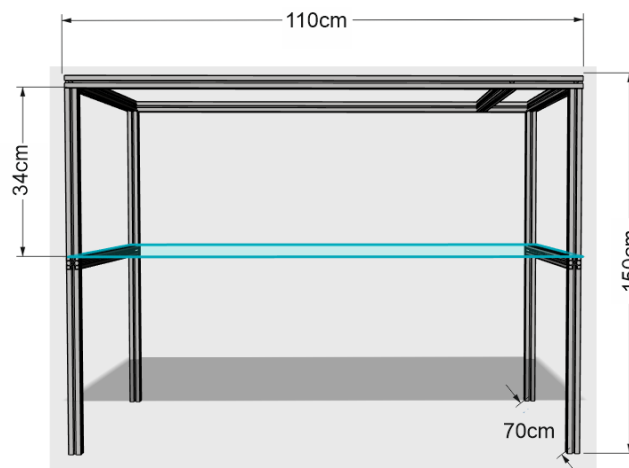
Experiment	Zařízení / způsob interakce	Kategorizace		Přímá / Nepřímá	Směr komunikace	Hodnocení modality	Uživatelská kontrola		Počet uživatelů
				-	-		Časová náročnost	Chybovost	-
Experiment 1 PC	Myš, klávesnice	-		nepřímá	jednosměrná	senzorová	nízká	nízká	monoskopické
	Leap Motion	Zařízení založené na zpracování obrazu	Částečná detekce uživatele	přímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	vizuální	střední	střední	monoskopické
Experiment 2 AR PC	Deska, kostka	Zařízení založené na sledování polohy uživatele / objektu	Rozpoznávání objektu	nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	vizuální	nízká	střední	monoskopické
	Leap Motion	Zařízení založené na zpracování obrazu	Částečná detekce uživatele	přímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	vizuální	střední	střední	monoskopické
Experiment 3 AR / AV ANDROID (BLUDIŠTĚ)	Deska, kostka	Zařízení založené na sledování polohy uživatele / objektu	Rozpoznávání objektu	nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	vizuální	nízká	střední	monoskopické
	Gamepad	-		nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou		nízká	nízká	
Experiment 4 VR ANDROID (BLUDIŠTĚ)	Chůze	Zařízení využívající inerciální senzory	Gyroskop + akcelerometr	nepřímá	jednosměrná	senzorová	nízká	střední	monoskopické
	Gamepad	-		nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou		nízká	nízká	
Experiment 5 VR ANDROID (KRESLENÍ)	Rotace	Zařízení využívající inerciální senzory	Gyroskop	nepřímá	jednosměrná	senzorová	nízká	střední	monoskopické
	Leap Motion	Zařízení založené na zpracování obrazu	Částečná detekce uživatele	přímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	vizuální	střední	střední	
	Gamepad	-		nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou		nízká	nízká	
Experiment 6 3DIY PC + ANDROID	Obrázky objektů	Zařízení založené na sledování polohy uživatele / objektu	Rozpoznávání objektu	nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	vizuální	nízká	nízká	polyskopické
	Mobilní zařízení, ovladač		Senzorické snímání	nepřímá	jednosměrná se zpět. Vazbou	senzorová	nízká	střední	

Tabulka 6 - Klasifikace prostředků pro interakci vytvořených experimentů

7.4 Technické řešení 3DIY pyramid

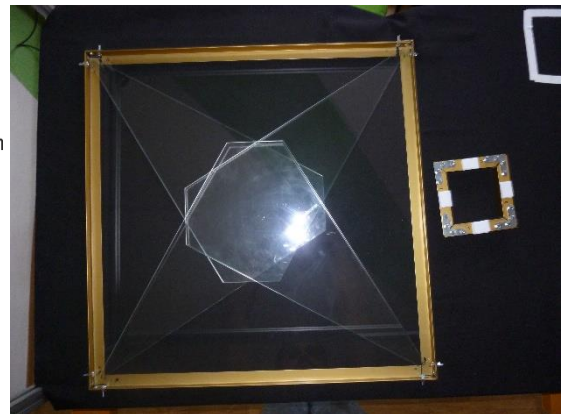
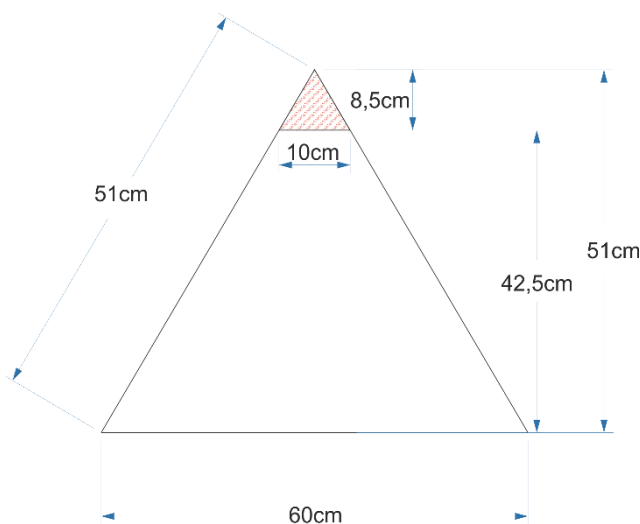
Při návrhu konstrukce 3DIY pyramid, dále jen pyramid, byl kladen požadavek na co nejjednodušší možnost transportu konstrukce. Z tohoto důvodu byly pro konstrukci zvoleny hliníkové profily Systém 45, profil 8 30x30mm. Tento systém zároveň umožňuje upravovat výšku podstavce, případně přizpůsobit základnu pro rozdílné velikosti televizorů.

Prvotní koncept navrhoval využití projektoru, který se pro tyto účely ukázal jako nevhodný. Vzhledem k požadavku na vysokou svítivost, byla zvolen televizor a prvotní koncept přepracován do současné podoby.



Obrázek 38 - Návrh konstrukce

Pyramida se skládá celkem ze čtyř stěn, spodní a horní základny, která drží celou pyramidu pohromadě. Díky tomu je možné jednotlivé strany pyramidy rozložit. Délka spodní strany je 60 cm, horní části 10 cm a výška 42,5 cm.



Obrázek 39 – Velikost jedné strany projekční pyramid, jednotlivé části a základny

7.5 Dotazníkové šetření

Dotazníkové šetření bylo navrženo a realizováno za účelem získání zpětné vazby a doplňuje tak empirickou část práce. Cílem dotazníkového šetření není v žádném případě vyvozování obecně platných závěrů, ale spíše získání podnětů pro další práci. Dotazník je i přes malý počet respondentů vyhodnocován kvantitativně.

Dotazník se skládá celkem z pěti uzavřených a dvou otevřených otázek. První otevřená otázka (O1) byla cílena na zjištění názoru uživatelů na použité technologie a jejich potenciální pro budoucí použití. Druhá otevřená otázka (O2) byla dobrovolná a doplňuje informace k otázce vyhodnocující úroveň použitelnosti vytvořených experimentů.

Dotazník byl distribuován v tištěné i elektronické podobě a počet otázek byl minimalizován za účelem získání větší návratnosti. Získané výsledky jsou rozděleny do dvou kategorií, na základě, kým byly dané výsledky získány, první kategorií jsou výsledky získané během prezentace jednotlivých experimentů a druhou kategorií výsledky získané kontrolní skupinou, na kterou byl kladen větší důraz na provedení jednotlivých experimentů a získání přesnějších informací. Vzor dotazníku a získané výsledky jsou součástí přílohy.

7.5.1 Dotazníkového šetření mezi širší veřejnost

Hlavní část experimentu probíhala 29. 3. 2017 v prostorách Přírodovědecké fakulty Jihočeské univerzity. Úkolem diplomanta bylo kromě sledování uživatelů a dokumentace, obsluha zařízení a zodpovězení otázek uživatelů. Vzhledem k tomu, že bylo možné provádět paralelně až 5 experimentů, byl pro každý experiment vytvořený jednostránkový manuál popisující základní princip a způsob interakce. Jednotlivé manuály jsou součástí přílohy na přiloženém nosiči.



Obrázek 40 - Příprava jednotlivých experimentů, pro testování uživatelů

Celkem bylo získáno 28 vyplněných dotazníků, z nichž 7 bylo vyřazeno z důvodu nekompletního vyplnění. Kompletní výsledky vyplývající z dotazníkového šetření byly vyhodnoceny a zpracovány do hodnotící tabulky pro větší přehlednost získaných dat. Odpovědi na otevřené otázky jsou shrnuty v závěru celkového vyhodnocení. Z celkového počtu respondentů bylo 8 žen a 13 mužů. Uživatelé byli odlišného věku a vzdělání.

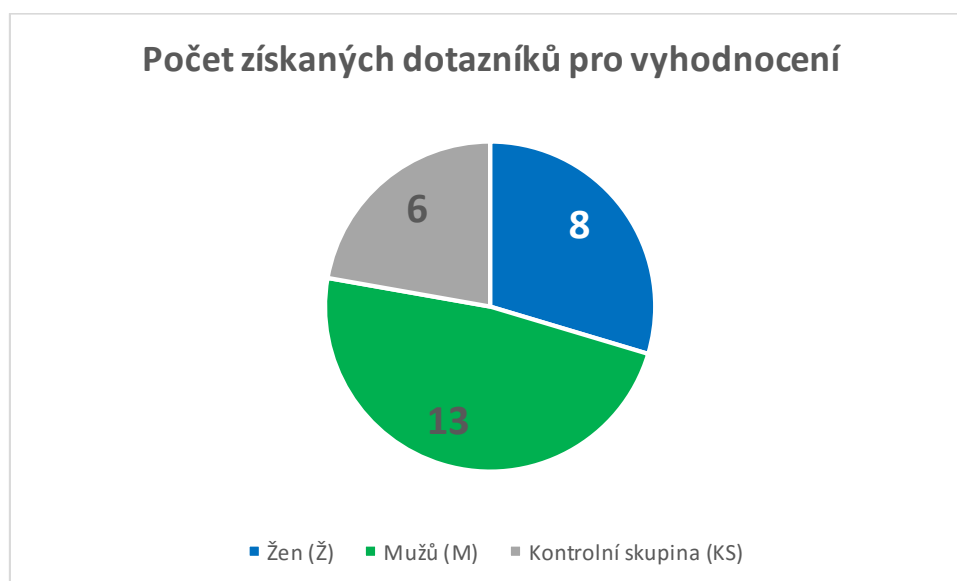
7.5.2 Dotazníkového šetření kontrolní skupinou

V rámci dotazníkového šetření kontrolní skupinou bylo získáno 6 kontrolních výsledků od uživatelů, rozdílného vzdělání, věku a uživatelských zkušeností ICT. V případě kontrolní skupiny byl vždy přítomen jeden uživatel, který prováděl jednotlivé experimenty.

Před zahájením každého experimentu byl uživatel seznámen s principem a způsobem interakce k danému experimentu a cílem experimentu. Po vykonání všech pokusů byl uživatel požádán o vyplnění kvalitativního dotazníku, zároveň byla provedena s každým uživatelem diskuze ke zjištění jeho celkového dojmu, případných nedostatků a dalších informací spojených s jednotlivými experimenty.

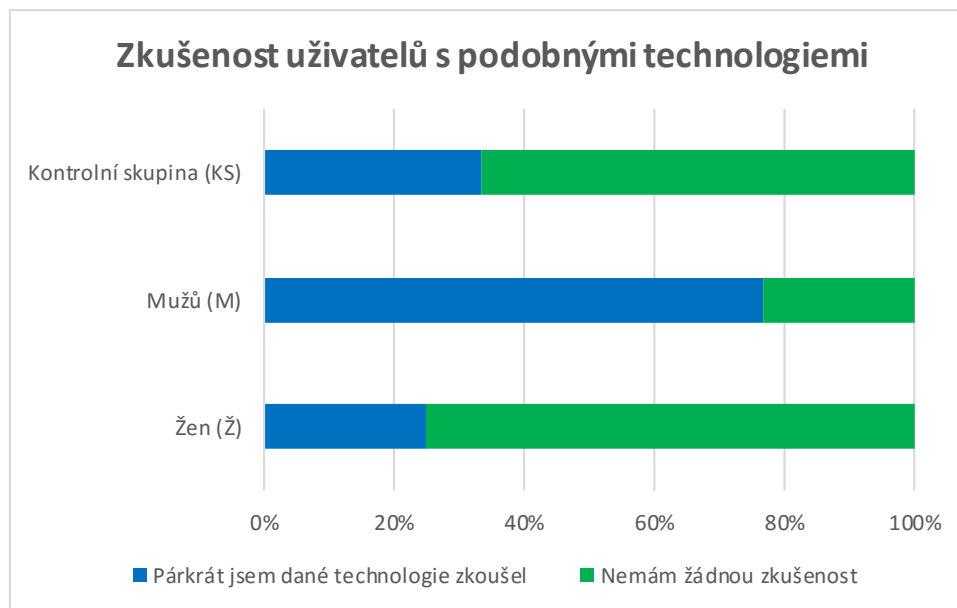
7.5.3 Vyhodnocení získaných dat

Pro vyhodnocení byly použity veškeré získané hodnoty. Data získaná během prezentace experimentů jsou členěny na základě pohlaví, muži (M) a ženy (Ž). Hodnoty získané kontrolní skupinou jsou shrnuty do kategorie kontrolní skupina (KS). Celkově bylo pro vyhodnoceno použito 27 dotazníků.



Obrázek 41 - Počet získaných dotazníků pro vyhodnocení

Na základě získaných dat lze tvrdit, že většina uživatelů je obeznámena s těmito technologiemi, ale nemají s nimi praktické zkušenosti.



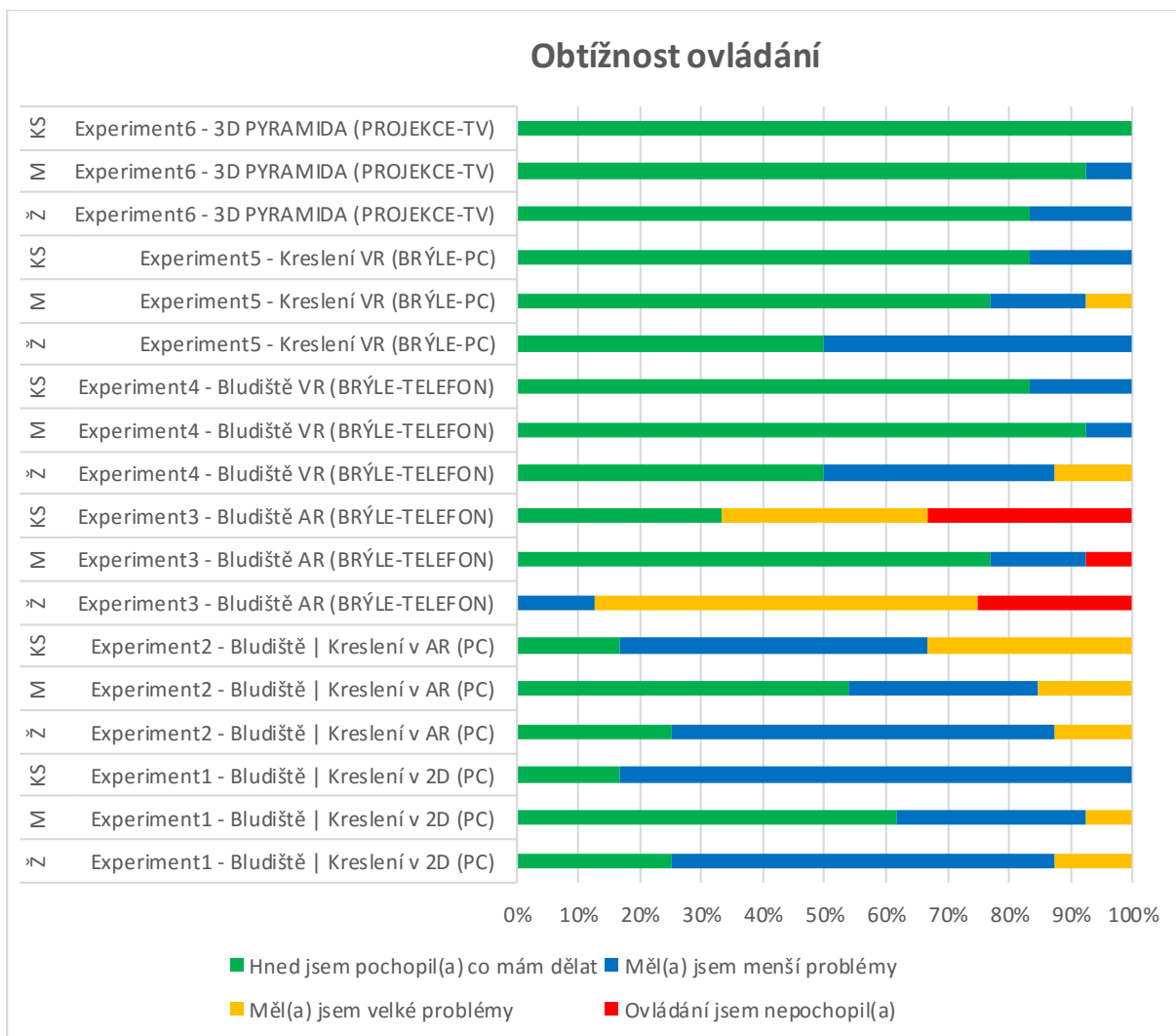
Obrázek 42 - Zkušenost uživatelů s podobnými technologiemi

Jednotlivé výsledky obtížnosti interakce s danými experimenty ukazují, že experimenty využívající rozšířenou realitu ve spojení s detekcí reálného objektu jsou z pohledu ovládní komplikovanější. Jedním z faktorů, který přispívá k negativním výsledkům, je požadavek na vysoké rozlišení kamery a rychlost snímání.

V případě *Experimentu 3 - Bludiště AR (BRÝLE-TELEFON)*, který způsoboval uživatelům největší obtíže, lze velkou část těchto komplikací přisuzovat technologickému omezení daného zařízení. Pro tento experiment bylo použito mobilní zařízení, jež sloužilo jak pro zpracování, tak i pro snímání prostředí. Zároveň poloha kamery není pro tento experiment vhodná, jelikož se nachází na levé straně mobilního telefonu. Optimální polohou pro kameru by byl střed snímacího zařízení, čímž by došlo k posunutí výsledného obrazu.

U *Experimentu 1 – Bludiště | Kreslení v 2D (PC)* byl zaznamenán ze strany uživatelů problém s orientací v rámci 3D bludiště – kostky, kdy v případě určitého natočení bludiště byla kulička plně skrytá některou ze stěn krychle.

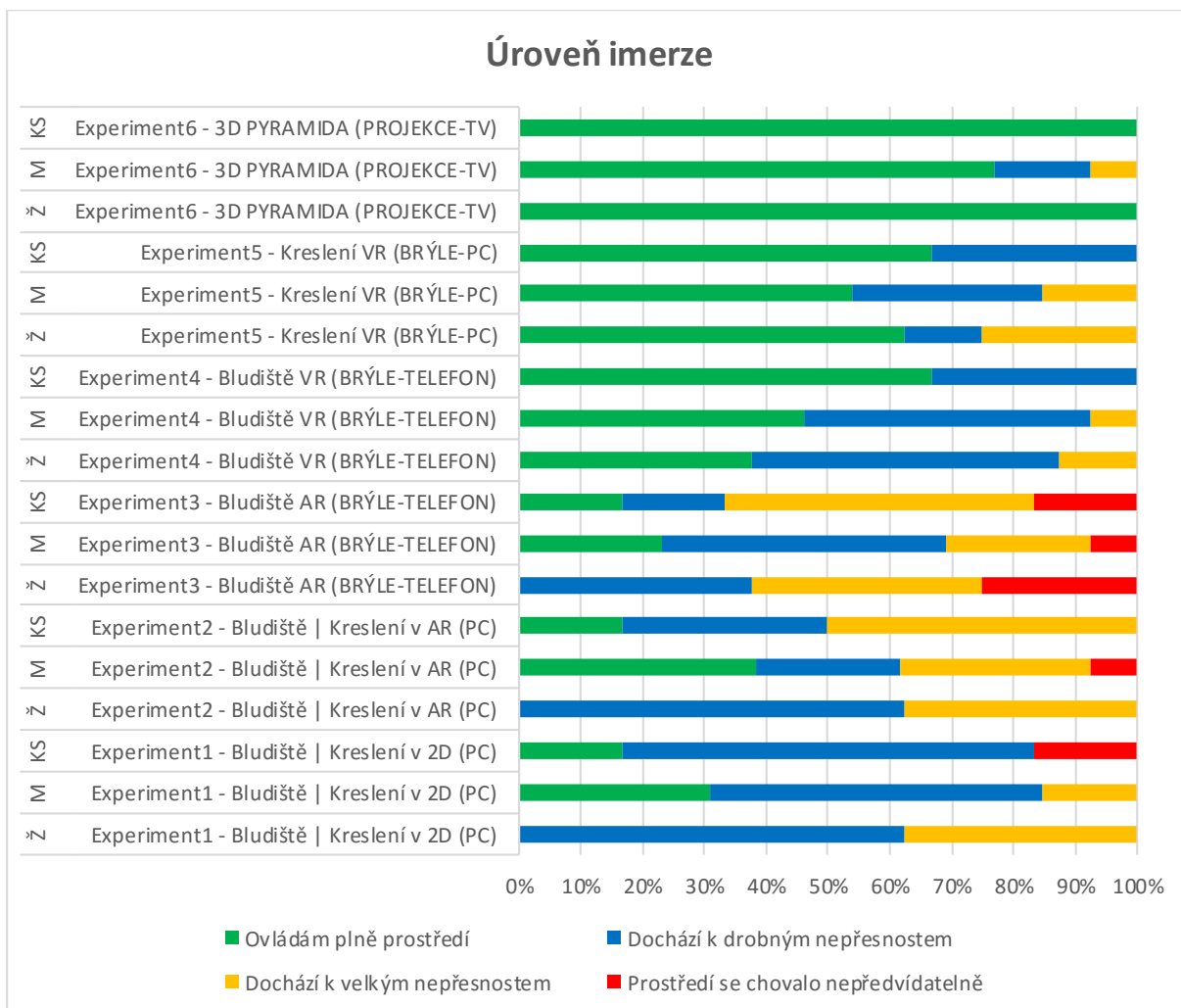
Jako nejjednodušší pro ovládní byl uživateli vyhodnocen *Experiment 6 – 3D pyramida*. Jedním z faktorů, který se podílel na pozitivním výsledku tohoto experimentu, je i jeho robustnost a možnost základní interakce bez nutnosti použití dalších zařízení či vysoké znalosti ICT.



Obrázek 43 - Hodnocení obtížnosti ovládání

Výsledky imerze a chybovosti experimentů kolidují s výsledky obtížnosti ovládání. Především lze vypočítat obdobné výsledky u *Experimentu 3 - Bludiště AR (BRÝLE-TELEFON)*, v případě detekce 3D kostky docházelo ke ztrátám obrazu a bylo vyžadováno opětovné inicializaci virtuálního modelu na reálného objektu.

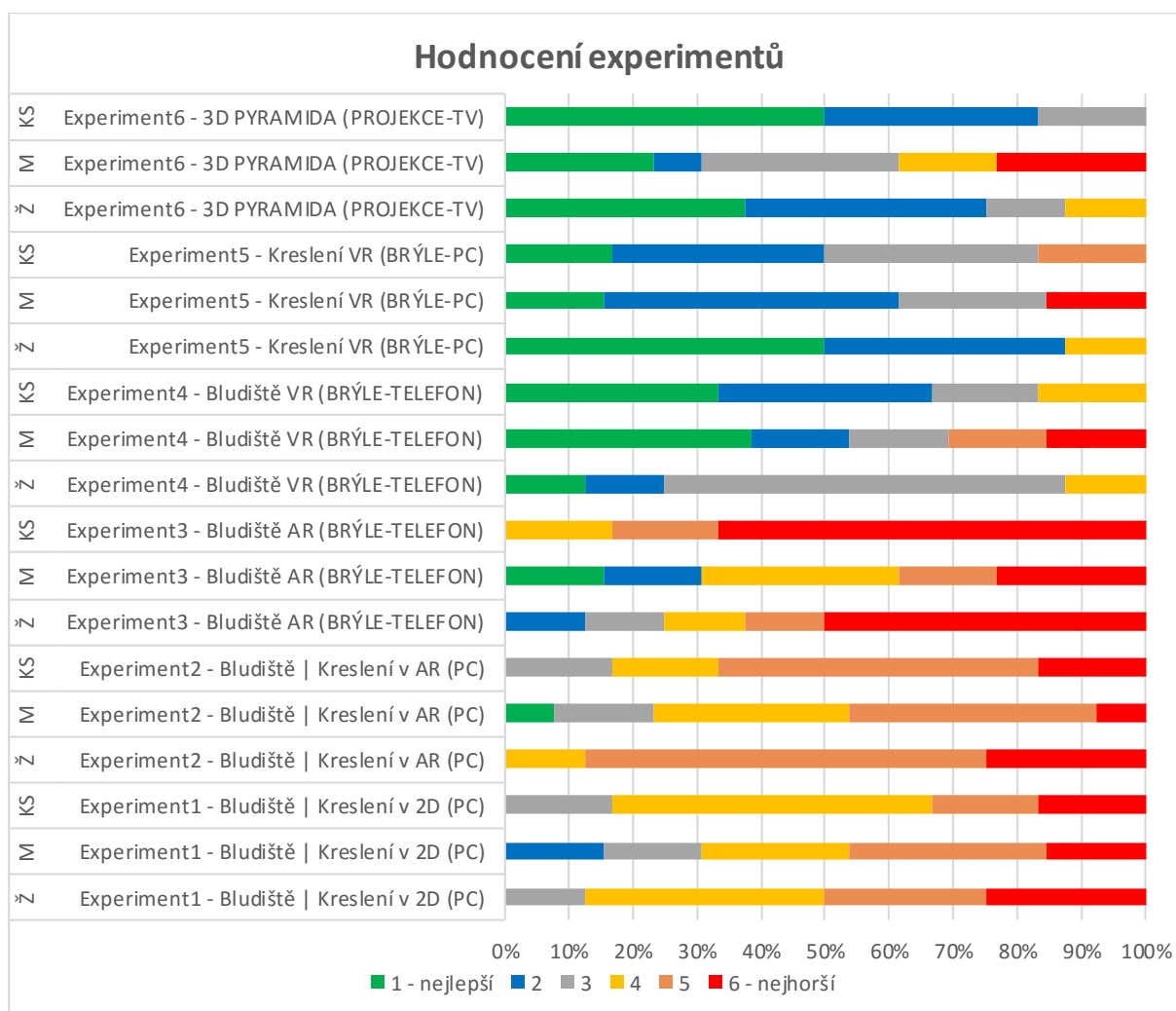
V případě *Experimentu 2 - Bludiště | Kreslení v AR (PC)*, měli uživatelé počáteční potíže, především u kreslení. V případě tohoto scénáře je vyžadována prvotní detekce objektu a poté bylo možné detekovat pohyby rukou uživatele.



Obrázek 44 - Úroveň imerze a chybovost systému

Z celkové klasifikace jednotlivých experimentů lze vyvodit, že uživatelsky byly nejlépe hodnoceny *Experiment 5 - Kreslení VR (BRÝLE-PC)* a *Experiment 6 – 3D pyramida*.

Naproti tomu nejhůře dopadly experimenty využívající AR a detekci reálného objektu a zároveň *Experiment 1 – Bludiště | Kreslení v 2D (PC)*. Z celkového hodnocení je zřejmé, že tento experiment nebyl uživateli přijat pozitivně.



Obrázek 45 - Hodnocení experimentů

7.5.4 Shrnutí

Na základě získaných dat lze vyvodit několik základních tvrzení týkajících se vytvořených experimentů a vlivu na uživatele.

V případě experimentů pracujících v 2D či 2.5D lze vypočítat menší chybovost systému, naopak z pohledu interakce mají tyto systémy omezené množství zobrazovaných informací a tím pádem i komplikovanější práce s 3D modelem.

Z kvalitativního hodnocení jednotlivých experimentů byly nejlépe hodnoceny experimenty využívající virtuální reality a přímé projekce do prostoru, naopak nejhůře byly uživateli vyhodnoceny experimenty pracující v rámci reálného prostředí, které pro interakci využívají detekci reálných objektů.

Jednotliví uživatelé se zároveň shodují na potenciálu zkoumaných technologií a možného budoucího použití včetně masového rozšíření do domácností.

8 Závěr

Tato práce se věnuje problematice interaktivity v rozdílných způsobech zobrazení. Hlavním cílem práce je identifikovat existující způsoby prostorového zobrazení z hlediska jejich funkčně technologického principu a zároveň vyhledat dostupné technologie použitelné k interakci v prostorovém zobrazení.

Na základě funkčně technologických specifik jednotlivých technologií byla sestavena klasifikace zkoumaných technologií. Vzhledem k množství technologií a specifik jednotlivých systémů, určených pro prostorové zobrazení není možné jednoznačně specifikovat společné požadavky na interakci v rámci prostorové zobrazení.

Poznatky z teoretické části byly následně použity pro vytvoření šesti modelových systému, dále experimentů, využívajících rozdílné technologie. Jednotlivé experimenty zahrnovaly úlohy obdobného charakteru s rozdílnými způsoby interakce. *Experiment 6 – 3DIY pyramida* slouží jako ukázkový experiment projekce do reálného prostředí.

Za účelem získání zpětné vazby k vytvořeným experimentům došlo k uspořádání dotazníkového šetření. Cílem dotazníkového šetření bylo získání podnětů pro další výzkum. Šetření probíhalo ve dvou fázích, během prezentace široké veřejnosti a při testování kontrolní skupinou. Z kvalitativního hodnocení jednotlivých experimentů byly nejlépe hodnoceny experimenty využívající virtuální reality a přímé projekce do prostoru.

Práce se vzhledem ke svému širokému záběru nemohla plně věnovat všem oblastem ve stejné hloubce a je tak ve své podstatě pouze prvním krokem k dalšímu rozpracování problematiky interaktivity z pohledu rozdílných způsobů zobrazení. Jako velmi zajímavý budoucí výzkum se jeví vývoj technologií virtuální reality, rozšířené reality a holografie. Lze předpokládat, že některé z uvedených technologií se stanou běžně užívanými technologiemi.

9 Seznam použité literatury

Ibn al-Haytham ARAB ASTRONOMER AND MATHEMATICIAN [online].

www.britannica.com. Dostupné z: <https://www.britannica.com/biography/Ibn-al-Haytham>

3D filmmaking: techniques and best practices for stereoscopic filmmakers. New York: Routledge, Taylor, 2016. ISBN 9781315726328.

A guide to 3D display technology: its principles, methods, and dangers. Techcrunch.com [online]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2010/06/19/a-guide-to-3d-display-technology-its-principles-methods-and-dangers/>

A light field of Michelangelo's statue of Night [online]. 1999. Dostupné z: <http://graphics.stanford.edu/projects/mich/lightfield-of-night/>

A RIO TINTO IRON ORE SHIPLOADER IN OPERATION [online]. Dostupné z: <http://www.scienceimage.csiro.au/library/equipment/i/11678/a-rio-tinto-iron-ore-shiploader-in-operation-in-the-pilbara/>

A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS. [online]. Dostupné z: http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/IEICE94/ieice.html

Active and passive 3D: What's the difference, and which is better? Gcn.com [online]. Dostupné z: <https://gcn.com/articles/2013/03/06/differences-active-passive-3d.aspx>

An updatable holographic display for 3D visualization [online]. In: . 2014. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/224137514_Materials_for_an_Updatable_Holographic_3D_Display

Andy Wilson - Researcher [online]. Dostupné z: <http://research.microsoft.com/en-us/um/people/awilson/>

Apple Lisa I Mouse. Oldmouse.com [online]. Dostupné z: <http://www.oldmouse.com/mouse/apple/lisa.shtml>

Augmented or Virtual? How do you like your reality? [online]. Trekk.com. Dostupné z: <http://smartideasblog.trekk.com/augmented-or-virtual-how-do-you-like-your-reality>

Augmented Reality: A class of displays on the reality-virtuality continuum [online]. Dostupné z: http://wiki.commres.org/pds/Project_7eNrf2010/_5.pdf

Avatar VR [online]. Dostupné z: <https://www.neurodigital.es/avatarvr/>

AZUMA, Ronald T. In: A Survey of Augmented Reality [online]. Dostupné z:
<http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>

AZUMA, Ronald. [online]. In: . Dostupné z: <http://www.cs.unc.edu/~azuma/ARpresence.pdf>

*AUGMENTED REALITY: A CLASS OF DISPLAYS ON THE REALITY-VIRTUALITY
CONTINUUM* [online]. Dostupné z:
http://etclab.mie.utoronto.ca/people/paul_dir/SPIE94/SPIE94.full.html

Beginning 3D game development with Unity 4: all-in-one, multi-platform game development.
Second edition. ISBN 1430249005.

BEMR: A New Reality for the Future Force [online]. Dostupné z:
<http://science.dodlive.mil/2015/12/12/bemr-a-new-reality-for-the-future-force/>

Collaborative Interaction with Volumetric Displays [online]. In: . 2008. Dostupné z:
http://www.dgp.toronto.edu/~ravin/papers/chi2008_collaborativevolumetric.pdf

Designing the Future Kitchen [online]. Dostupné z: <https://www.ideo.com/case-study/designing-the-future-kitchen>

*Direct and Indirect Human Computer Interaction Based
Biometrics.* Ojs.academypublisher.com [online]. Dostupné z:
<http://www.ojs.academypublisher.com/index.php/jcp/article/viewFile/02107688/361>

EasyAR [online]. Dostupné z: <http://www.easyar.com/>

Elements of Realspace Imaging: A Proposed Taxonomy [online]. Dostupné z:
<http://www.naimark.net/writing/realspace.html>

Enhanced visualization: making space for 3-D images. Hoboken, N.J.: Wiley-Interscience,
c2007. ISBN 9780471786290.

EPOC+ [online]. Dostupné z: <https://www.emotiv.com/epoc/>

Epson Moverio BT-200: chytré brýle dostupné za měsíc [online]. Dostupné z:
<http://www.zive.cz/clanky/epson-moverio-bt-200-chytre-bryle-dostupne-za-mesic/sc-3-a-173196/>

Get Ready To See More Than Yourself In The Mirror [online]. Dostupné z:
<http://www.sliceoflime.com/see-more-than-yourself-in-mirror/>

Google končí s prodejem chytrých brýlí Glass [online]. Dostupné z: http://technet.idnes.cz/konec-google-glass-0nd-/hardware.aspx?c=A150116_110942_hardware_vse

GoogleVR [online]. Dostupné z: <https://developers.google.com/vr/>

Hardware bible: [your complete guide to all PC's and all peripherals]. 6th ed. Indianapolis, Ind.: Que, 2003. ISBN 9780789728593.

HCI remixed: essays on works that have influenced the HCI. London: MIT Press, c2008. ISBN 978-0-262-05088-3.

History of holography. Holography.ru [online]. Dostupné z: <http://www.holography.ru/histeng.htm>

Holographic technology takes a step beyond AR and VR [online]. Dostupné z: <http://www.electronicweekly.com/news/comment-holographic-technology-takes-step-beyond-ar-vr-2016-12/>

HOLOGRAPHIC TECHNOLOGY [online]. Dostupné z: <http://www.holoxica.com/technology/>

Holoxica Awarded €1.28M, Moves 3D Visualisation from Sci-Fi to Reality [online]. Dostupné z: <http://www.hnwmagazine.co.uk/holoxica-awarded-e1-28m-moves-3d-visualisation-from-sci-fi-to-reality/>

How Kinect depth sensor works – stereo triangulation? [online]. Dostupné z: <https://mirror2image.wordpress.com/2010/11/30/how-kinect-works-stereo-triangulation/>

How Oculus Rift works [online]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/oculus-rift/how-oculus-rift-work>

How Virtual Reality Gear Works [online]. Dostupné z: <http://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear2.htm>

Human-Computer Interaction. [Http://s2is.org](http://s2is.org) [online]. Dostupné z: <http://s2is.org/Issues/v1/n1/papers/paper9.pdf>

ICAROS [online]. Dostupné z: <http://www.icaros.net/>

Interaction design for 3D user interfaces: the world of modern input devices for research, applications, and game development. ISBN 9781482216943.

Interaktivní komunikace. Lenka.tomanova.eu [online]. Dostupné z:
http://lenka.tomanova.eu/download/kurz-pruvodce-cr/Interaktivni_komunikace_E.pdf

JEŘÁBEK, Tomáš. Využití prostředků rozšířené reality v oblasti vzdělávání [online]. 2014. Dizertační práce. Univerzita Karlova v Praze Pedagogická fakulta. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

Kompas, gyroskop, akcelerometr, barometr, I2C, 9-Axis, [online]. Dostupné z:
http://www.hwpro.cz/oc/index.php?route=product/product&product_id=336

KORTAN, Michal. Interaktivita ICT prostředků [online]. Dostupné z:
<http://invenio.nusl.cz/record/180650?ln=cs>. Bakalářská. Jihočeská univerzita. Vedoucí práce Miloš Prokýšek.

Merging Epson's Core Technologies Moverio BT-200 Smart Glasses [online]. Dostupné z:
<http://global.epson.com/innovation/engineer/moverio.html>

Micro-HCI and Macro-HCI. Www.cs.umd.edu [online]. Dostupné z:
<https://www.cs.umd.edu/~ben/ClaimingSuccess-Micro-MacroHCI-ACMinteractions.pdf>

Microsoft HoloLens [online]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en>

MILGRAM, Paul a Fumio KISHINO. In: A TAXONOMY OF MIXED REALITY VISUAL DISPLAYS [online]. Dostupné z: https://cs.gmu.edu/~zduric/cs499/Readings/r76JB0-Milgram_IEICE_1994.pdf

Objektivismus a filozofie Ayn Randové [online]. Dostupné z:
<http://www.aynrand.cz/pages/intro2obj.html>

Oculus Rift [online]. Dostupné z: <https://www.technologyreview.com/s/526531/oculus-rift/>

Oculus Touch vs. HTC Vive – Which Is The Better VR Controller [online]. Dostupné z:
<http://uploadvr.com/oculus-touch-vs-htc-vive-better-controller/>

Orion Beta – Leap Motion [online]. Dostupné z: <https://developer.leapmotion.com/get-started/>

PlayStation VR vs PC Oculus Rift vs Vive Comparison Chart [online]. Dostupné z:
http://www.ign.com/wikis/playstation-4/PlayStation_VR_vs_PC_Oculus_Rift_vs_Vive_Comparison_Chart

Principles [online]. Dostupné z: <https://developers.google.com/glass/design/principles>

PROKÝŠEK, Miloš. Didaktické aspekty využití prostorového zobrazování [online]. Dostupné z: <https://is.cuni.cz/webapps/zzp/detail/93840/?lang=en>. Dizertační práce. Vedoucí práce Vladimír Rambousek.

Rendering for an Interactive 360° Light Field Display [online]. Dostupné z: <http://gl.ict.usc.edu/Research/3ddisplay/>

Samsung Gear VR review [online]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2015/11/25/samsung-gear-vr-review-2015>

Samsung Gear VR [online]. Dostupné z: <https://www.wareable.com/samsung/new-samsung-gear-vr-2016-review>

Senzory v mobilních telefonech od A do Z [online]. Dostupné z: <https://www.beryko.cz/blog/recenze/senzory-v-mobilnich-telefonech-od-a-do-z.html>

Shipments of 3D TVs worldwide from 2010 to 2015 (in million units) [online]. Dostupné z: <https://www.statista.com/statistics/272956/forecast-of-worldwide-3d-tv-sales/>

Spacewalker [online]. Dostupné z: <http://spacewalkervr.com/>

Stereoscopic cinema. Lexington, Ky.: The University Press of Kentucky, c2007. ISBN 0813124611.

Stereoskopie - jak funguje 3D kin. Magazin.stahuj.centrum.cz [online]. Dostupné z: <http://magazin.stahuj.centrum.cz/stereoskopie-jak-funguje-3d-kin>

Tech specs [online]. Dostupné z: <https://support.google.com/glass/answer/3064128?hl=en>

Telefunken's "Rollkugel". Http://www.oldmouse.com [online]. Dostupné z: <http://www.oldmouse.com/mouse/misc/telefunken.shtml>

The case for Augmented Virtuality [online]. Dostupné z: <https://blogs.intel.com/evangelists/2016/04/26/the-case-for-augmented-virtuality/>

The Effects of Individual Differences in Spatial Visualization Ability [online]. Dostupné z: http://lap.umd.edu/lap/Papers/Dissertations/Alonso_Dissertation_1998/partII.html

The first computers: history and architectures. Cambridge, Mass [u.a.]: MIT Press, 2002. ISBN 9780262681377.

The Pinnacle of VR Controllers [online]. Dostupné z: <https://manus-vr.com/>

The World's First Interactive, Tabletop Holographic Display. [online]. Dostupné z: <http://hplustech.com/>

Unity 3D [online]. Dostupné z: <https://unity3d.com/>

VR Isn't Just For Games [online]. Dostupné z: <http://www.gizmodo.com.au/2016/06/vr-isnt-just-for-games-csiro-augmented-reality-and-the-future/>

Vuforia [online]. Dostupné z: <https://www.vuforia.com/>

VUZIX iWear WRAP STAR 1200DX [online]. Dostupné z: http://www.tntrade.cz/vuzix-iwear-wrap-star-1200dx-ar-head-mounted-display_d291134.html

We found 7 critical HoloLens details that Microsoft hid inside its developer docs [online]. Dostupné z: <http://www.pcworld.com/article/3039822/consumer-electronics/we-found-7-critical-hololens-details-that-microsoft-hid-inside-its-developer-docs.html>

Web Science and Human-Computer Interaction. <https://openlab.ncl.ac.uk> [online].

What is a hologram? Holocenter.org [online]. Dostupné z: <http://holocenter.org/what-is-holography>

10 Seznam obrázků

Obrázek 1 - Diagram Milgramovo virtuálního kontinua	14
Obrázek 2 - Ilustrace principu rozšířené reality založené na detekci obrazu	30
Obrázek 3 - Zařízení Holus	32
Obrázek 4 - VUZIX WRAP 1200AR.....	34
Obrázek 5 - Google Glass	35
Obrázek 6 - Epson Moverio BT-200.....	36
Obrázek 7 - Microsoft HoloLens – základní komponenty	37
Obrázek 8 - Google CardBoard vs Samsung Gear VR	39
Obrázek 9 - Řez zařízením Oculus Rift	40
Obrázek 10 - Příklad možné konfigurace zařízení CAVE	41
Obrázek 11 - Příklad jednoduché projekce (9 voxelů).....	42
Obrázek 12 - Princip světelného pole.....	43
Obrázek 13 - Příklad devíti osy INS	44
Obrázek 14 - Stereo-triangulace bodu	45
Obrázek 15 - Kinect zařízení	46
Obrázek 16 - Leap Motion pozorovací oblast	47
Obrázek 17 - Manus VR.....	48
Obrázek 18 – Avatar VR.....	48
Obrázek 19 - Emotiv EPOC+ ilustrace skenovaných částí lidského mozku	50
Obrázek 20 - HTC Vive - Oculus Touch	50
Obrázek 21 - Ukázka tvaru bludiště deska, kostka.....	54
Obrázek 22 – Ukázka gesta pro kreslení	55
Obrázek 23 - Schéma Experimentu 1	56
Obrázek 24 - Experiment 1 ovládání bludiště	56
Obrázek 25 – Kreslení v experimentu 1	57
Obrázek 26 - Schéma principu experimentu 2	57
Obrázek 27 - AR čepice, mapování modelu na objekt.....	58
Obrázek 28 - Kreslení pomocí AR čepice	58
Obrázek 29 - Schéma principu experimentu 3	59
Obrázek 30 – Brýle a gamepad, mapování objektu	59
Obrázek 31 - Schéma principu experimentu 4	60
Obrázek 32 – Experiment 4 počáteční pozice a vyvolání mapy bludiště.	60

Obrázek 33 - Schéma principu experimentu 5	61
Obrázek 34 – Experiment 5 malování v prostoru	61
Obrázek 35 - Schéma principu experimentu 6	62
Obrázek 36 - Obraz pro projekci do pyramidy	63
Obrázek 37 - Experiment 6 3DIY projekce a aplikace v telefonu	63
Obrázek 38 - Návrh konstrukce	66
Obrázek 39 – Velikost jedné strany projekční pyramidy, jednotlivé části a základny	66
Obrázek 40 - Příprava jednotlivých experimentů, pro testování uživatelů.....	67
Obrázek 41 - Počet získaných dotazníků pro vyhodnocení.....	68
Obrázek 42 - Zkušenost uživatelů s podobnými technologiemi	69
Obrázek 43 - Hodnocení obtížnosti ovládní.....	70
Obrázek 44 - Úroveň imerze a chybovost systému	71
Obrázek 45 - Hodnocení experimentů.....	72

11 Seznam tabulek

Tabulka 1 – Skupiny zobrazení.....	13
Tabulka 2 - Porovnání PlayStation VR – Oculus Rift – HTC Vive.....	40
Tabulka 3 - Klasifikace prostředků prostorového zobrazení.....	51
Tabulka 4 – Klasifikace prostředků pro interakci	52
Tabulka 5 – Klasifikace zobrazení vytvořených experimentů.....	64
Tabulka 6 - Klasifikace prostředků pro interakci vytvořených experimentů.....	65

12 Přílohy

Vzorový dotazník

Interaktivita v prostředích s prostorovým zobrazováním

Interaktivita v prostředích s prostorovým zobrazováním

Pohlaví

Muž Žena

Máte předchozí zkušenosti s podobnými technologiemi?

Pravidelně používám Mnohokrát jsem dané technologie zkoušel(a) Párkrát jsem dané technologie zkoušel(a) Nemám žádnou zkušenost

Bylo pro vás obtížné pochopit dané ovládání?

	Hned jsem pochopil(a) co mám dělat	Měl(a) jsem menší problémy	Měl(a) jsem velké problémy	Ovládání jsem nepochopil(a)
Experiment1 - Bludiště Kreslení v 2D (PC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment2 - Bludiště Kreslení v AR (PC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment3 - Bludiště AR (BRÝLE-TELEFON)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment4 - Bludiště VR (BRÝLE-TELEFON)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment5 - Kreslení VR (BRÝLE-PC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment6 - 3D PYRAMIDA (PROJEKCE-TV)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Doplňující komentář (dobrovolné)

Měl jsem pocit, že:

	Ovládám plně prostředí	Dochází k drobným nepřesnostem	Dochází k velkým nepřesnostem	Prostředí se chovalo nepředvídatelně
Experiment1 - Bludiště Kreslení v 2D (PC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment2 - Bludiště Kreslení v AR (PC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment3 - Bludiště AR (BRÝLE-TELEFON)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment4 - Bludiště VR (BRÝLE-TELEFON)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment5 - Kreslení VR (BRÝLE-PC)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
Experiment6 - 3D PYRAMIDA (PROJEKCE-TV)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Seřadte dané experimenty podle toho jak se vám ovládali:

Nápověda k otázce: Seřadte od 1 (nejlepší) až 6 (nejhorší)

Experiment1 - Bludiště Kreslení v 2D (PC)	_____
Experiment2 - Bludiště Kreslení v AR (PC)	_____
Experiment3 - Bludiště AR (BRÝLE-TELEFON)	_____
Experiment4 - Bludiště VR (BRÝLE-TELEFON)	_____
Experiment5 - Kreslení VR (BRÝLE-PC)	_____
Experiment6 - 3D PYRAMIDA (PROJEKCE-TV)	_____

Co si myslíte o těchto technologiích a jak se podle vás budou nadále vyvíjet?

Výsledky získané z dotazníkového šetření mezi širší veřejnost

O. č.1	O. č.2	O.č. 3-1	O.č. 3-2	O.č. 3-3	O.č. 3-4	O.č. 3-5	O.č. 3-6	O.č. 4-1	O.č. 4-2	O.č. 4-3	O.č. 4-4	O.č. 4-5	O.č. 4-6	O.č. 5-1	O.č. 5-2	O.č. 5-3	O.č. 5-4	O.č. 5-5	O.č. 5-6
M	4	1	1	1	1	1	1	3	2	2	2	2	3	3	5	4	6	2	1
M	3	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	5	4	2	3	6	1
M	3	2	2	2	1	2	1	2	3	3	2	2	1	4	5	6	1	2	3
M	3	2	3	1	1	1	1	1	3	1	1	2	2	2	6	5	1	3	4
M	3	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	5	6	3	4
M	3	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	3	1	4	3	1	5	6	2
M	3	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	5	4	1	3	2	6
M	4	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	4	5	6	2	1	3
M	3	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	3	4	2	5	1	6
M	3	1	1	1	1	1	1	2	2	3	3	2	1	5	4	6	1	2	3
M	3	1	1	2	1	1	1	2	3	3	1	1	1	6	5	4	1	2	3
M	3	3	3	4	2	3	1	2	3	2	1	1	1	5	3	4	1	2	6
M	4	2	2	1	1	1	1	3	4	4	2	3	1	6	5	4	2	3	1
Ž	4	2	1	3	1	1	2	2	2	3	1	1	1	6	4	5	1	2	3
Ž	4	2	2	4	2	2	1	2	2	2	1	1	1	5	6	3	4	1	2
Ž	3	1	2	3	3	2	1	2	2	2	3	1	1	4	5	6	3	1	2
Ž	3	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	3	1	5	6	2	3	4	1
Ž	4	2	3	3	1	1	1	3	3	3	1	1	1	4	5	6	3	1	2
Ž	4	2	2	3	1	2	1	2	2	4	2	3	1	3	5	6	2	1	4
Ž	4	2	3	3	1	1	1	3	3	3	2	1	1	4	5	6	3	2	1
Ž	4	3	3	4	2	2	1	3	3	4	2	2	1	6	5	4	3	2	1

Výsledky získané z dotazníkového kontrolní skupinou

O. č.1	O. č.2	O.č. 3-1	O.č. 3-2	O.č. 3-3	O.č. 3-4	O.č. 3-5	O.č. 3-6	O.č. 4-1	O.č. 4-2	O.č. 4-3	O.č. 4-4	O.č. 4-5	O.č. 4-6	O.č. 5-1	O.č. 5-2	O.č. 5-3	O.č. 5-4	O.č. 5-5	O.č. 5-6
M	3	2	2	4	1	1	1	4	3	4	2	1	1	4	5	6	3	2	1
M	4	2	3	4	1	1	1	2	3	3	1	1	1	4	5	6	2	3	1
M	3	2	3	3	2	1	1	2	3	3	2	1	1	4	5	6	1	2	3
Ž	4	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	6	3	5	4	1	2
Ž	4	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	3	6	4	1	5	2
Ž	4	2	2	3	1	2	1	2	2	3	1	2	1	5	4	6	2	3	1

Další přílohy jsou umístěné na přiloženém nosiči.