



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV VÝROBNÍCH STROJŮ, SYSTÉMŮ A ROBOTIKY

INSTITUTE OF PRODUCTION MACHINES, SYSTEMS AND ROBOTICS

## PROSTŘEDKY ROZŠÍŘENÉ REALITY - REŠERŠNÍ STUDIE

MEANS AUGMENTED REALITY - RESEARCH STUDY

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Tomáš Trentin

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jiří Kovář, Ph.D.

BRNO 2017



# Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav výrobních strojů, systémů a robotiky  
Student: **Tomáš Trentin**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Základy strojního inženýrství  
Vedoucí práce: **Ing. Jiří Kovář, Ph.D.**  
Akademický rok: 2016/17

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

## **Prostředky rozšířené reality - rešeršní studie**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Obsahem práce je rešerše prostředků soudobých rozšířené reality se zaměřením na prostředky typu brýle. Popis stávajících prostředků virtuální reality bude obsahovat i popis programovacího rozhraní.

### **Cíle bakalářské práce:**

- 1) Prostudujte a popište existující prostředky pro virtuální realitu.
- 2) U každého prostředku popište příslušné programovací rozhraní.

### **Seznam literatury:**

PARISI, Tony. Learning virtual reality: developing immersive experiences and applications for desktop, web, and mobile. Sebastopol, CA: O'Reilly Media, Inc., 2015. ISBN 14-919-2283-4.

LINOWES, Jonathan. Unity Virtual Reality Projects. Packt Publishing, 2015. ISBN 1-78528-680-3.

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

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.  
děkan fakulty

## **Abstrakt**

Cílem této bakalářské práce je vytvořit rešerši dostupných informací o nejrozšířenějších prostředcích pro virtuální a rozšířenou realitu. V první části práce je vymezen rozdíl mezi virtuální a rozšířenou realitou, další dvě kapitoly popisují jednotlivé chytré brýle a headsety, a cílem poslední části této práce je seznámení se základními softwarovými prostředky pro tvorbu VR/AR aplikací a her.

## **Summary**

The goal of this bachelor thesis is to create a summary of accessible information about the most widespread means of virtual and augmented reality. First section defines the difference between the virtual and augmented reality, the two subsequent chapters describe particular headsets and smartglasses, and the goal of the last section is familiarization of the software means for creating VR/AR applications and games.

## **Klíčová slova**

Virtuální, rozšířená, smíšená, realita, headsety, brýle

## **Keywords**

Virtual, augmented, mixed, reality, headsets, glasses



Prohlašuji, že svou bakalářskou práci na téma „Prostředky rozšířené reality - rešeršní studie“ jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Brně dne 23.5.2017

.....

Tomáš Trentin



Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Jiřímu Kovářovi PhD. za rady a věcné připomínky při vypracovávání této práce a také své rodině za podporu při studiu.

Tomáš Trentin



# Obsah

<b>1</b>	<b>Úvod</b>	<b>2</b>
<b>2</b>	<b>Kategorizace</b>	<b>3</b>
2.1	Virtuální realita . . . . .	3
2.2	Rozšířená realita . . . . .	3
2.3	Smíšená realita . . . . .	3
<b>3</b>	<b>VR headsety</b>	<b>5</b>
3.1	HTC Vive . . . . .	5
3.2	Oculus Rift . . . . .	7
3.3	Sony PlayStation VR . . . . .	10
3.4	Samsung Gear VR . . . . .	12
3.5	Google Cardboard . . . . .	13
3.6	Google Daydream View . . . . .	14
3.7	Huawei Daydream . . . . .	16
<b>4</b>	<b>AR headsety</b>	<b>17</b>
4.1	Microsoft HoloLens . . . . .	17
4.2	ODG . . . . .	18
4.3	Vuzix AR3000 . . . . .	20
4.4	Meta 2 . . . . .	22
4.5	Magic Leap . . . . .	23
<b>5</b>	<b>Tvorba aplikací pro VR a AR</b>	<b>24</b>
5.1	Unity3D . . . . .	25
5.2	Unreal Engine 4 . . . . .	26
5.3	Wikitude . . . . .	27
5.4	ARToolKit . . . . .	27
<b>6</b>	<b>Závěr</b>	<b>28</b>
	<b>Literatura</b>	<b>29</b>
	<b>Seznam obrázků</b>	<b>41</b>
	<b>Seznam použitých zkratk a symbolů</b>	<b>42</b>

# 1. Úvod

Myšlenka virtuální a rozšířené reality není nová, v minulosti se objevila již několikrát, avšak teprve nedávno bylo alespoň částečně překonáno několik dlouho přítomných technologických bariér, což umožnilo rozvoj této technologie. Je relativně těžké zůstat v obraze v tak dynamicky se vyvíjejícím odvětví, jako je toto, neboť situace na trhu se mění každým měsícem a poslední rok se dá označit jako pro toto odvětví průlomový, neboť se na trhu objevilo mnoho nových dlouho očekávaných headsetů.

Stejně tak jako příchod 3D technologií neznamenal zánik dvojrozměrného uživatelského rozhraní, ani u VR a AR se nedá očekávat, že by v budoucnu kompletně nahradily stávající technologie. Virtuální a rozšířená realita v kombinaci s pohybovým ovládním ale bezpochyby mají potenciál změnit směr, kterým se budou ubírat některé budoucí technologie.

V této práci budou sepsány dostupné informace o nejvýznamnějších headsetech. Popsané budou základní technologické parametry a použité technologie. Závěrečná část se bude zabývat softwarovými frameworky pro tvorbu VR a AR aplikací a her pro jednotlivé platformy.

## 2. Kategorizace

V následující kapitole bude ujasněno rozdělení jednotlivých úrovní virtuality. Terminologie tohoto tématu může působit trochu nejasně, protože virtuální, a hlavně rozšířená se smíšenou realitou se do jisté míry kombinují a překrývají.

### 2.1. Virtuální realita

Virtuální realitou označujeme trojrozměrné prostředí generované počítačem, ve kterém se můžeme pohybovat a interagovat s ním. Uživatel se tak stane součástí virtuálního světa, v němž je schopen částečně ovlivňovat dění kolem sebe, například manipulovat s předměty či provádět různé úkony. [1]

Nicméně to, jak působíme a ovlivňujeme virtuální realitu závisí hlavně na platformě, kterou používáme. Většina zatím vydaných VR brýlí byla navržena k používání v sedě, a pohyb je umožněn ručními ovládači stejně jako u PC či konzolí, rozdíl je však ten, že uživatel je do výsledného zážitku mnohem hlouběji ponořen, protože se na monitor v případě VR dívá z několika centimetrů, díky čemuž je pokryta větší část jeho zorného pole. [2]

VR headsety můžeme rozdělit do dvou základních skupin: zařízení spadající do první skupiny potřebují ke svému fungování připojení k PC, respektive ke konzoli, kdežto headsety druhé skupiny jsou závislé na mobilním telefonu, který v tomto případě slouží jako displej i výpočetní jednotka. [2]

Co odlišuje virtuální realitu od dalších dvou kategorií je snaha úplně izolovat uživatele od okolního světa a ponořit jej do toho umělého stimulací zraku a sluchu. Zde však narážíme na jistou technologickou bariéru, neboť i když jsou dnešní headsety schopny poskytnout věrohodný obraz a zvuk, náš mozek stále pozná, že naše skutečné tělo setrvává v klidu, přestože mu zrak a sluch říkají, že tělo je ve virtuálním světě v pohybu. Nicméně úroveň imersivity je u dnešní VR mnohem vyšší, než tomu bylo u prvotních pokusů v devadesátých letech minulého století. Přestože VR headsety jsou již dnes využívány například v armádě, medicíně či telekomunikacích, nejčastěji spojovaným odvětvím s touto technologií je herní průmysl. [3][4][5]

### 2.2. Rozšířená realita

Jedná se o rozšířenou verzi reality vytvořenou za použití brýlí, smartfounu či jiného zařízení obohacenou o digitální informace překrývající část obrazu reálného světa. Právě to, že AR brýle uživatele kompletně neodříznou od okolního světa jim dává mnohem větší možnosti využití v každodenním životě, například skypování, psaní zpráv, či sledování Youtube během cesty vlakem se může stát běžnou praxí. [6]

### 2.3. Smíšená realita

Smíšená realita (mixed reality – MR) slučuje reálný a virtuální svět do nového prostředí, kde fyzické a digitální objekty koexistují a interagují v reálném čase. Do smíšené

### 2.3. SMÍŠENÁ REALITA

reality zařazujeme jak rozšířenou realitu, tak rozšířenou virtualitu (AV - augmented virtuality). Do kategorie brýlí pro MR řadíme například Microsoft HoloLens a pravděpodobně zde bude také spadat Magic Leap. Tyto brýle disponují větším výkonem než AR brýle právě z důvodu nutnosti snímat a rozumět okolnímu prostředí a poté renderovat a do prostoru zasazovat celé hologramy a ne pouhý overlay informací jako je tomu u AR. [2]

Využitelnost smíšené reality je v podstatě totožná s rozšířenou realitou s tím rozdílem, že MR navíc nabízí možnost manipulace s virtuálním obrazem, tedy například přemisťování a otáčení hologramů. [7]

MR brýlí zatím není mnoho a jedná se o relativně novou záležitost, a proto jsou v internetových diskuzích a obchodech stále zařazovány do AR kategorie. Dá se očekávat, že v budoucnu v souvislosti s rozšiřováním nabídky modelů se nynější dělení na AR/VR headsety změní a MR by se mohlo dočkat vlastní kategorie, nicméně v této práci budou headsety rozděleny pouze do dvou skupin. [7]

## 3. VR headsets

### 3.1. HTC Vive

Jedná se o VR headset vyvinutý taiwanským technologickým gigantom HTC ve spolupráci s Valve Corporation. Vive byl poprvé představen v roce 2015 na Mobile World Congressu v Barceloně a oficiálně byl vydán v dubnu 2016. HTC se netají svými vysokými ambicemi v oblasti virtuální reality a přináší mnoho inovací, jednou z nich je kompatibilita se všemi hrami a aplikacemi ve SteamVR (Steam je platforma společnosti Valve Corporation určená k distribuci her a softwaru a zajištění zázemí pro hráče). [8][9][13]

Uvnitř headsetu je dvojice OLED displejů o obnovovací frekvenci 90Hz a celkovém rozlišení 2160x1200 pixelů (tedy 1080x1200 pro každé oko). Displeje pokrývají zorné pole o rozsahu 110 stupňů. Vive stejně jako Oculus využívá fresnelovy čočky. V případě mírného poklesu FPS se zapne opatření zvané „asynchronous reprojection“. To v praxi znamená, že se vybraný snímek zobrazí dvakrát za sebou, podruhé však v mírně pozměněné podobě tak, aby co nejvíce vyhovoval aktualizované informaci o poloze hlavy. V případě radikálnějšího poklesu FPS se aktivuje „interleaved reprojection“, v tomto případě se bude renderovat pouze každý druhý snímek, tedy 45 FPS. Díky tomu bude obraz stále relativně plynulý i při pohybu hlavou. Uvnitř samotného headsetu je dostatek místa i na dioptrické brýle a na boku headsetu je otočný kolík umožňující změnit vzdálenost čoček mezi sebou pro maximální ostrost a kvalitní 3D. Vzdálenost čoček od očí lze také upravit pomocí jednoduchého manévru s držáky náhlavního popruhu. Stabilitu na hlavě zajišťují tři nastavitelné elastické popruhy. Ze zadní strany headsetu vedou přibližně pět metrů dlouhé kabely zajišťující spojení s počítačem. Váha headsetu je 555 gramů. [10][11][12][13][14]



Obrázek 3.1: HTC Vive s příslušenstvím [24]

Dva bezdrátové ovladače umožňují uživateli pomocí několika tlačítek interagovat s objekty zobrazenými na obrazovce. Povrch ovladače je pokrytý stejnými senzory jako headset, na každém ovládači jich je 24, což umožňuje snímání jejich pohybu a rotace

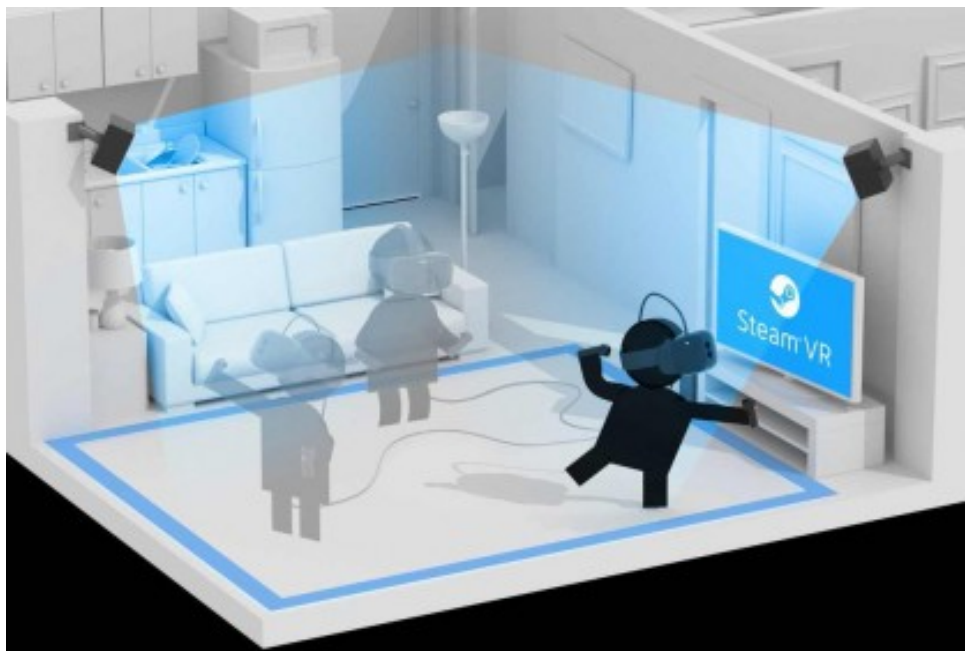
### 3.1. HTC VIVE

v prostoru. Jsou navíc překresleny přímo do virtuální reality, takže se mohou proměnit na různé předměty v závislosti na právě používané hře či aplikaci. Baterie ovladače vydrží přibližně 8 hodin, její dobítí do plna přes mini-USB pak trvá přibližně 60-120 minut. Další částí příslušenství je Link Box. Ten převádí mezi přilbou a počítačem data a slouží jako její zdroj napájení. [14][15][16][17]

Momentálně je Vive jediné zařízení nabízející whole-room VR, což nám umožňuje opravdu se pohybovat v reálném prostoru o ploše přibližně 6,5x5 až 15x15 stop, což se poté odráží ve virtuální realitě (pro srovnání Oculus Rift nabízí room scale na ploše 5x11 stop). Tento pohyb je v reálném čase monitorován díky „Lighthouse“ systému dvěma základními stanicemi. „Lighthouses“ neboli majáky fungují jako referenční body, aby si headset a ovladače uvědomily, kde v prostoru se nacházejí. Vysílače (majáky) produkují infračervené záření, paprsky záření navíc rotují a osvětlí scénu v horizontálním i vertikálním směru. Poté co snímače zachytí laser, začne headset počítat zpoždění paprsků a pomocí výpočtů na principu triangulace určí polohu zařízení s vysokou přesností a extrémně nízkou latencí. Získaná data jsou poté odesílána do počítače. Vysílače musí být naproti sobě ve výšce alespoň 2 metry, podmínkou je i jejich přímá viditelnost. Pokud by v cestě stála překážka, je nutné majáky propojit synchronizačním kabelem. [13][14][16][18]

Jedním z mínusů této technologie jsou nároky na prostor. Přilbu lze sice používat ve statickém režimu, to však okleštuje finální zážitek. Dalším problémem jsou kabely vedoucí z headsetu, které uživatele mohou při některých pohybech omezovat. [13][17]

Na rozdíl od Riftu Vive nemá integrované řešení pro audio. Místo toho je na headsetu volný 3,5mm jack na libovolná sluchátka. V roce 2017 ale bude vydán Vive Deluxe Audio Strap, což je v podstatě nová verze popruhů držících headset na hlavě se zabudovanými sluchátky, který si uživatelé budou moci dokoupit a vyměnit jim původní popruhy na headsetu. [12][19][20]



Obrázek 3.2: Snímání pohybu [25]

Pravděpodobně největší rozdíl na samotném headsetu oproti konkurenci je přítomnost dopředu směřující kamery, díky čemuž uživatel může nahlédnout do reality dvojklikem na jednom z tlačítek na ovladači, aniž by si musel sundat headset. Předměty v okolí jsou poté zobrazeny na displeji stylem vzdáleně připomínajícím noční vidění. Tato funkce se také stará o to, aby uživatel neopustil snímáný prostor či nenarazil do nějakého objektu v místnosti (tzv. Chaperone). Pokud by se tak mělo stát, překážka se mu automaticky zobrazí na displeji. Do budoucna se počítá s využitím této kamery zejména pro rozšířenou realitu. [16][21]

Jak již bylo řečeno, Valve je spoluvůdcem Vivu, proto pevné spojení se službou Steam asi nikoho nepřekvapí. To ale uživatelům otvírá brány k širokému spektru obsahu. Některé hry a aplikace jsou zdarma, jiné placené, velká část existujícího obsahu je však remake již existujících her tak, aby fungovaly s VR. Do SteamVR mají přístup také uživatelé Oculus Riftu a mnoho her je s ním také kompatibilní, avšak Vive zde má jednoznačnou výhodu, neboť mnoho her využívá Room Scale Technology ve větší míře, než jakou je OR schopno poskytnout. Mimo jiné HTC nedávno představilo novou platformu Viveport, který se do jisté míry podobá konkurenčnímu Oculus Home. Viveport není tak úzce zaměřený na hry jako Steam, nabízí mnoho zajímavých aplikací a krátkých filmů. [14][22]

Steam nabízí možnost otestovat zda-li počítač splňuje minimální požadavky pro používání Vive pomocí aplikace SteamVR Performance Test dostupné ve Steamu. Pokud počítač nevyhovuje, aplikace určí, jestli je to chyba grafické karty nebo CPU. Nicméně pokud uživatel nedisponuje kompatibilním počítačem, vstupní investice se může zejména kvůli nárokům na procesor a grafickou kartu i zdvojnásobit. [23]

Díky tomu, že Vive přináší kvalitní whole-room VR můžeme říct, že se jedná o zatím technologicky nejvyspělejší VR systém na trhu, o čemž svědčí jeho cena (800\$). Hlavní parametry jsou téměř identické s Oculus Riftem, Room Scale tohoto modelu jednoznačně překonal konkurenci, ke svému správnému fungování však potřebuje poměrně velký volný prostor. [14]

## 3.2. Oculus Rift

Oculus Rift je výsledek garážového projektu, na němž v roce 2009 začal pracovat tehdy pouze 16letý Palmer Luckey. O dva roky později se mu podařilo dokončit první funkční prototyp. Ten si později vyzkoušel i John Carmack, spoluzakladatel id Software, kterého nadchnul tak, že ho v roce 2012 představil veřejnosti na Electronic Entertainment Expu. V červnu 2012 založil Palmer OculusVR. V srpnu se rozhodl dát tento projekt na Kickstarter, kde vybral 2,4 miliónu dolarů, téměř desetinásobek původně plánované sumy. Díky tomu se Palmerův tým rozšířil a celý projekt virtuální reality nabral na masovosti.

V březnu 2014 byl OculusVR odkoupen Facebookem za 2,3 miliardy dolarů. V roce 2013 byl vydán Oculus Development Kit 1, který měl malé rozlišení a vysokou odezvu na pohyb headsetu, i přesto z něj byla veřejnost nadšená. Oculus Development Kit 2, který byl vydán v červenci 2014, odstranil nedostatky ODK1 a představil snímání polohy. Později byl představen ještě model Crescent Bay, a následoval Oculus Rift, který byl vydán 28. března 2016. [26][27][28]

### 3.2. OCULUS RIFT

Uvnitř headsetu je dvojice OLED displejů o obnovovací frekvenci 90Hz celkovém rozlišení 2160x1200 pixelů. Displeje pokrývají zorné pole o rozsahu 110 stupňů. Headset váží 470 gramů, má nastavitelné popruhy a s jeho používáním by neměli mít problém ani uživatelé s dioptrickými brýlemi. V souvislosti s Riftem se hodně mluví o „screen door“ efektu, což je viditelná mezera mezi jednotlivými pixely. Podobný problém se však objevuje i u konkurence. Tento jev se existoval již u starých počítačových monitorů, ale postupem času zanikl s tím, jak se hustota pixelů zvětšovala. Podle AMD bude tento problém úplně odstraněn až s nástupem 116 megapixelových displejů. Oculus využívá hybridní Fresnelovy čočky, které z části redukuje screen-door efekt a jejich další výhodou je nižší hmotnost oproti čočkám klasickým. Jejich menší nevýhodou je to, že obraz může vypadat trochu rozmazaně, pokud se na displeji objeví světlý objekt před tmavým pozadím. Vzdálenost čoček může být upravena pomocí malé páčky na spodní straně headsetu. [30][31][32][33][34]



Obrázek 3.3: Oculus Rift [24]

Rift jako jediný VR headset na trhu nabízí zabudované stereo sluchátka, které však nemají příliš kvalitní zvuk. Na to Oculus po čase zareagoval vydáním špuntových sluchátek, které si uživatelé mohou za 49\$ dokoupit. Ty mají lepší zvuk a lépe blokují okolní hluk. Headset je propojen s počítačem jedním kabelem, který se u konce rozděluje na HDMI a USB 3.0 konektory. [31][34]

Pokud uživatel pohne hlavou a na displeji nenastala žádná adekvátní reakce, nastává takzvaný „judder“. Ten byl hlavní příčinou občasných nevolností při užívání předchozích modelů Oculu. U Riftu se tento problém povedl vývojářům eliminovat díky technice ATW – „asynchronous time warp“. Pokud grafický procesor zjistí, že nestihne nový snímek vyrenderovat včas, svou práci na něm přeruší, vezme předešlý snímek, načte aktuální polohu VR headsetu a upraví vzhled onoho starého snímku tak, aby co nejvíce odpovídal aktuální situaci. [37]

Dříve se s Oculusem v základu používaly bezdrátové ovládače Xbox One, které však postrádají schopnost snímat pohyb v prostoru, proto se postupem času přešlo na sys-

tém Oculus Touch. Jedná se o dvojici bezdrátových ovladačů s thumbstickem a několika tlačítky. Na designu lze poznat, že se tento model inspiroval dříve používaným Xbox ovladačem. Pohyb Touche je snímán stejnou nízko odezvovou technologií, která určuje relativní polohu headsetu. Ovladače potřebují každý po jedné AA baterii. [30][33]



Obrázek 3.4: Oculus Touch [38]

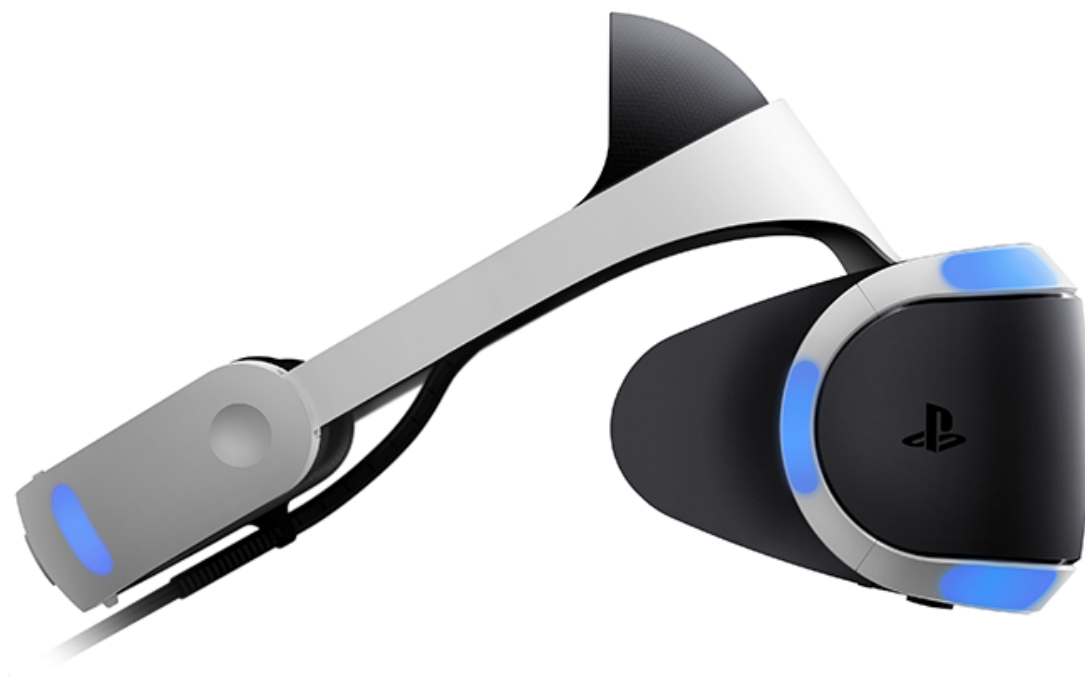
Oculus podporuje room scale VR, což v praxi znamená, že se uživatel může pohybovat po vytyčené ploše, jejíž velikost se nedá přesně určit, neboť závisí na umístění, natočení a vzájemné vzdálenosti senzorů. Pokud by uživatel měl opustit vymezený prostor, zobrazí se mu na displeji modrá mřížka jako varování. Rift původně příliš nepodporoval snímání pohybu, to se však změnilo s příchodem firmwarového updatu v červenci 2016, který umožnil připojení více kamerových senzorů. Na headsetu a Touch ovladačích jsou umístěny infračervené LEDky, jejichž poloha je zaznamenávána senzory, což jsou v podstatě kamery, které snímají pouze infračervené světlo. Při používání Oculus Touch jsou dva senzory minimum, pro opravdové využití room-scale VR je však vhodnější použít senzory tři. Rift je sice momentálně více uzpůsobený k práci v sedě nebo ve stoje, avšak při vhodném umístění tří senzorů se uživatel může pohybovat na ploše přibližně 8x8 stop. Nutno dodat, že senzory musí být připojeny k PC USB kabelem, což do jisté míry limituje možnost jejich umístění. [30][31][33][39][40]

Oculus Rift má přístup k VR softwaru nejen prostřednictvím platformy Oculus Home, ale také skrze Steam. VR obsah Steamu je však primárně tvořen pro HTC Vive, který má mnohem vyvinutější room-scale, což omezuje počet her a aplikací, které může Rift bez problému používat. Jestli je však přístup k oběma těmto platformám významná výhoda se ukáže až postupem času, neboť záleží na vývojářích, zda-li budou upřednostňovat Oculus Store nebo SteamVR. [30][34]

Pomineme-li devkity a prototypy, jedná se o první generaci VR headsetů, takže pochopitelně stále existují jisté problémy a nedostatky. Oculus se zatím hbitě daří reagovat na problémy a zvyšovat úroveň svého produktu. Je o něco levnější než HTC Vive, méně náročný na prostor, avšak postrádá whole-room VR. Jeho nastavení je velice jednoduché a nezabere víc než 10 minut, interface je velice user friendly, a zdá se, že se OculusVR chce zaměřit na širší spektrum zákazníků, o čemž svědčí i snaha Marka Zuckerberga postupně implementovat do VR světa sociální síť. [29][31][32][34]

### 3.3. Sony PlayStation VR

Velkým problémem VR headsetů je jejich cena. High end headsety stojí více než 500\$ a ke své funkčnosti potřebují drahé herní počítače. Sony se k tomuto problému postavila po svém a vytvořila headset fungující díky propojení s PlayStationem 4. Na světě je téměř 50 miliónů majitelů PS4, což je solidní základna potencionálních zákazníků. Finální model přišel na trh 13. října 2016 jako poslední z velké trojky, i přesto se mu však podařilo co se týče prodaných kusů překonat Rift i Vive. Je to hlavně tím, že jeho konkurenti Rift a Vive se perou o podíl na trhu mezi uživateli PC, kdežto u majitelů PS4 je volba jasná. [41]



Obrázek 3.5: PlayStation VR [42]

Headset disponuje OLED obrazovkou o rozlišení 1920x1080 pixelů (960x1080 pro každé oko) o obnovovací frekvenci 120Hz. FOV je přibližně 100 stupňů. Rozlišení je sice trochu menší než u Riftu a Vive, displej má však jinou strukturu pixelů, díky čemuž je screen door efekt prakticky neznatelný. PSVR totiž využívá FullRGB displej, který má více subpixelů než RGBG Pen Tile displeje používané u Vive / Riftu / GearVR. Dalším důvodem proč má PSVR momentálně nejlepší obraz ze všech headsetů jsou jeho čočky. U konkurence bývá problém s přílišným změkčením obrazu, což vede k jeho rozmazanosti, Sony se však povedlo vytvořit čočky, které obraz ponechají dostatečně ostrý, ale zároveň ho změkčí natolik, aby nebyly vidět ostré a rušivé hrany. Motion-to-photon odezva je přibližně 18ms. Menším problémem je mlžení čoček. Sice se tento jev vyskytuje i u ostatních VR headsetů, u PSVR je ale znatelnější. Ani to však očividně nekazí celkový dojem a headset bývá často hodnocen jako nejpohodlnější, i přes svou relativně velkou váhu 610 gramů. [41][43][45]

S PSVR má uživatel na výběr ze tří ovladačů. DualShock 4 je základní ovladač k PlayStationu 4 a je s ním kompatibilní každá hra, nevyužívá však naplno potenciál virtuální reality. Druhou možností je pohybový ovladač PlayStation Move. Třetí možností je ovladač ve tvaru zbraně PlayStation Aim. Move a Aim mají na svých koncích koule s LEDkami uvnitř, ty slouží k motion trackingu. Všechny tři ovladače jsou bezdrátové a se systémem komunikují skrze bluetooth. [46][47][48][49]

Tracking systém u PSVR je velmi jednoduchý. Kamera snímá polohu devíti LEDek na headsetu, respektive polohu a vzdálenost koulí s LEDkami na koncích ovladačů. Poloha headsetu je snímána velmi přesně, avšak snímání ovladačů nemusí být vždy úplně přesné. Menším problémem je také citlivost na světelné podmínky, svítí-li například z okna ostré světlo, může to zneprávnit celý proces. [50][51][52]



Obrázek 3.6: Ovladače pro PSVR [44]

PSVR je stvořen pro VR v sedě nebo ve stoje a Sony oznámilo, že momentálně ani neplánují rozšíření tracking systému do nějakých větších rozměrů. O snímání pohybů se stará PlayStation Camera. Jedná se o stereoskopickou širokoúhlou kameru, která zaznamenává polohu headsetu a ovladačů přibližně 1000x za sekundu. Mimo jiné je schopná snímat obraz o rozlišení 1280x800 pixelů při 60 fps. Jsou v ní také zabudovány 4 mikrofony, které zaznamenávají kvalitní zvuk, a díky nim je zde možnost ovládat PSVR pomocí hlasových příkazů. Tato externí kamera posouvá celou technologii VR o kousek dále, nabízí uživatelům například možnost streamovat prostřednictvím Twitchu či Youtube. Toto zařízení je připojeno k PS4 prostřednictvím dvoumetrového kabelu s AUX konektorem. [41][53][54]

Základní balení obsahuje špuntové sluchátka, avšak pro kvalitní audio Sony doporučuje využít sluchátka Plantronics RIG 4VR, které jsou navrženy přímo pro PSVR. Sluchátka mají zabudovaný mikrofon a spojit s headsetem, počítačem, či mobilem jdou prostřednictvím klasického 3,5mm jacku. [55]

Další částí celého systému je Processing Unit. Ten provádí jednodušší procesy, např. zpracovává 3D audio, cinematický mód a stará se o „separate mode“ – do PU je přivedeno zkomprimované audio a video, a PU ho dekomprimuje a vyšle na TV obrazovku. Tato

### 3.4. SAMSUNG GEAR VR

funkce je zvláště využitelná při multiplayeru, kdy jeden hráč hraje s headsetem a druhý se dívá na obrazovku. [56]

Virtuální realita v podání Sony ještě rozhodně není dokonalá, v některých ohledech pokulhává za konkurencí, například pohybové ovladače by se daly označit jako slabina celého produktu. PSVR však disponuje kvalitním obrazem, po stránce pohodlí je tento headset často zařazován na absolutní vrchol, uživatelům nabízí široké spektrum kvalitních her a další výhodou je cena – PSVR je více než o polovinu levnější než Vive. [51]

## 3.4. Samsung Gear VR

Gear VR je společným počinem OculusVR a jihokorejského Samsungu. Spolupráci poprvé navázali, když Oculus potřeboval dodavatele kvalitních OLED displejů pro svůj Rift. V té době Samsung předložil na stůl svůj prvotní návrh Gearu, avšak spoluzakladatel Oculu, Brendan Iribe, byl vůči myšlence mobilní VR skeptický. Po několika měsících vývoje se však tato myšlenka stala realitou. Zajímavostí je, že Samsung vlastnil patent na HMD (head mounted display) využívající mobilní telefon již od roku 2005. Samsung se stará o hardware, Oculus pak o softwarovou stránku věci. Zanedlouho od navázání spolupráce byla vydána první verze, konkrétně v prosinci 2014. Skutečný průlom však znamenal až Samsung Gear VR (20. listopadu 2015) a jeho novější verze také se jmenující Samsung Gear VR (vydaná 18. srpna 2016). Následující řádky budou popisovat novější verzi. [57]



Obrázek 3.7: Samsung Gear VR [58]

Samsung Gear VR 2016 je v současnosti nejvyspělejší mobilní VR headset. Je kompatibilní se smartphony značky Samsung, konkrétně s modely Note5, S6, S6 edge, S6 edge+, Galaxy S7 a Galaxy S7 edge. Mobil se do headsetu zaklapne a spojí se s ním skrze micro

USB. Oproti verze z roku 2015 byl zvětšen úhel zorného pole z 95 na 101 stupňů. Při použití smartphonu Samsung Galaxy S7 získáme AMOLED displej o rozlišení 2560x1440 pixelů (1280x1440 pro každé oko), obnovovací frekvence je 60 Hz a hustota pixelů je 540dpi (dots per inch), tyto hodnoty se však mohou mírně lišit v závislosti na použitém modelu smartphonu. Přestože rozlišení a hustota pixelů je vyšší než u OR/Vive/PSVR, finální obraz lepší není, z části kvůli menšímu FOV (field of view – úhel zorného pole), ale hlavně kvůli nižšímu výkonu GPU (graphic card unit). Obraz navíc není renderován o daném rozlišení, ale vytváří dva čtvercové obrazy o nižším rozlišení. V headsetu jsou použity dvě standardní čočky, mezi nimiž je plastová přepážka, která zabraňuje světlu dostat se do druhého oka, než by mělo. Váha je 345 gramů. [59][60][61]

Gear v základu nepracuje s žádnými ovladači, proto je vše podstatné na headsetu - Home key, Back key, touchpad a tlačítka na ovládní hlasitosti. Ke hraní většiny her je však ovladač potřeba, je však možné využít široké spektrum ovladačů připojitelných přes bluetooth. [59][62][63]

Samsung Gear VR nemá žádný opravdový snímací systém jako tomu je např. u Oculu. Pohyb hlavy je snímán akcelerometrem, gyroskopem a proximity senzorem – takzvaným senzorem přihlížení. Ten se nachází mezi čočkami a zajišťuje to, že se virtuální realita automaticky zapne, když si uživatel brýle nasadí, nebo vypne, když si je sundá. Motion-to-photon odezva je méně než 20ms. [61][64]

Gear nepotřebuje baterie ani napájení, všechny procesy se v podstatě odehrávají v telefonu. Energie by se údajně měla spotřebovávat stejným tempem, jako při hraní 3D her. Na headsetu je navíc USB konektor, takže je možné baterii průběžně dobíjet. [65]

Po zapojení telefonu do brýlí následuje instalace Oculus Home, ten slouží jako vstupní brána k veškerému VR obsahu. Softwarové prostředí Gearu je v podstatě stejné jako u Riftu. [66][67]

Gear VR je sice trochu dražší než konkurence a potřebuje ke své funkčnosti specifickou značku telefonu, ve finále se ale dá považovat za nejlepší mobilní VR headset na trhu. Cena tohoto headsetu je 100\$. [60]

### 3.5. Google Cardboard

Google Cardboard je jednoduchý, populární a cenově dostupný způsob, jak si může virtuální realitu vyzkoušet opravdu každý. V roce 2014 byly tyto brýle představeny světu na konferenci Google I/O, o něco později pak byla vydána verze 2.0.

Cardboard si každý může vyrobit doma podle kompletního návodu dostupného na oficiálních stránkách. Díky tomu vzniklo mnoho upravených a vylepšených verzí, některé z nich přidaly extra tlačítka, jiné se liší v použitých materiálech. Nejjednodušší modely stojí několik dolarů, cena vylepšených high-end modelů z kvalitnějších materiálů se však může vyšplhat i na více než 100\$. Všechny verze mají společný požadavek – mobil s maximálně šestipalcovým displejem fungující na iOS 8.0, Androidu 4.1, nebo na novějších verzích těchto operačních systémů. [69][70][75]

Tajemství nízké ceny základní verze tohoto headsetu je skryto v použitých materiálech. Headset se skládá z lepenkové kostry, gumičky, suchého zipu a dvou skleněných bikonvexních čoček. Pokrývá zorné pole o úhlu 100 stupňů a váha základního modelu je přibližně 25 gramů. Na horní straně headsetu je tlačítka sloužící k jednoduché navigaci skrze VR rozhraní. Zdrojem zvuku je buď samotný telefon, nebo na něj připojená sluchátka. [71][72]

### 3.6. GOOGLE DAYDREAM VIEW



Obrázek 3.8: Google Cardboard [68]

Google Cardboard je opravdu jednoduchá platforma k používání, žádné složité zapojování, či instalace. Stačí stáhnout oficiální aplikaci jménem Cardboard z Google Play nebo z AppStore, která upravuje obraz na displeji do 3D formátu. [69][73]

Existuje mnoho dostupných VR her a aplikací na Android a iOS, většina z nich lze ovládat pouze pohybem hlavy, který je snímán gyroskopem a akcelerometrem v telefonu, a některé mohou vyžadovat připojení externího ovládače přes Bluetooth k mobilu. Dalším možným využitím Cardboardu je sledování 360° videí na YouTube, či Google Street View. [75]

V souvislosti s Cardboardem vydal Google také platformu Jump sloužící k tvoření vlastních 360 stupňových videí. Jedná se o sestavu kamer skládající se z 16 kamerových modulů uspořádaných do kruhu. Systém Jump by měl disponovat dokonalým stereoskopickým vykreslováním, a výsledné video by mělo mít rozlišení odpovídající obrazu z pěti současně spuštěných televizorů s rozlišením 4K a mělo by být bez viditelných spojů. [76]

Jednoduchost Cardboardu je vedle nízké ceny jeho největší výhoda, ale zároveň také nevýhoda. Výsledný zážitek z virtuální reality bude jen tak dobrý, jak dobrý telefon má uživatel k dispozici. Účelem Cardboardu však není stát se králem VR headsetů, jeho cílem je spíše seznámit s virtuální realitou široké masy lidí, což se mu zatím vzhledem k více než 10 miliónům prodaných kusů daří. [74][75][77]

### 3.6. Google Daydream View

Daydream View je další mobilní VR platforma Googlu. Na rozdíl od Cardboardu ke svému fungování vyžaduje telefony vydané jako Daydream-ready. Ty jsou přímo navrženy pro fungování s VR headsetem a proto běží na Androidu 7.0 Nougat nebo vyšším a disponují displeji s opravdu vysokým rozlišením, jemnou grafikou a vysoce přesnými senzory

pro snímání pohybu hlavy. Zatím je však na trhu pouze několik telefonů, které se mohou pochlubit označením Daydream-ready, Google však oznámil, že by tyto řady v budoucnu rozšířil například ASUS či Huawei. Daydream se v mnohém podobá Gearu od Samsungu s tím rozdílem, že není omezen na využívání telefonů jedné jediné značky. [78][79]



Obrázek 3.9: Google Daydream View [85]

Rozlišení a hustota pixelů závisí na použitém modelu telefonu, všeobecně však platí, že všechny podporované modely telefonů disponují AMOLED displejem s minimálně FullHD rozlišením, a minimální obnovovací frekvence je 60Hz, odezva je menší než 20ms. FOV je pouhých 90 stupňů a i u tohoto headsetu se objevuje screen-door efekt, při použití telefonu s vyšším rozlišením však není tak znatelný. Daydream View se snaží být v první řadě pohodlný, proto byl navržen tak, aby ho mohli bez problému používat i uživatelé s brýlemi, a jeho váha je navíc velmi nízká, pouhých 220 gramů, což je o 115 gramů méně než váha Gearu. Právě díky nízké váze stačí k udržení headsetu ve správné poloze jeden elastický popruh. Co se audia týče, Google zatím nepředstavil žádná vlastní sluchátka. [79][80][84][85]

K interakci s virtuálním světem slouží malý oválný bezdrátový ovladač obsahující dva tlačítka, regulaci hlasitosti a touchpad. Je v něm zabudován gyroskop a akcelerometr, díky čemuž jsou jeho pohyby až překvapivě přesně přeneseny do virtuální reality. Ovladač s telefonem komunikuje díky technologii Bluetooth LowEnergy. Baterie vydrží přibližně 12 hodin a dobíjí se přes USB-C. [81][83]

### 3.7. HUAWEI DAYDREAM

Aplikace je možné stáhnout z Google Play Store, není jich však zdaleka tolik, jako u Gearu. Hlavním lákadlem tak stejně jako u Cardboardu zůstává YouTubeVR nebo Google StreetView. Jeho cena je sice pouze 79\$, nevýhodou však je nutnost vlastnit drahý Daydream-ready smartphone. Daydream je těžce zaměřen na Androidy kvůli jednoduššímu vývoji softwaru na tuto platformu. S iOS zatím vůbec. [82 ?]

## 3.7. Huawei Daydream

Google již dříve prohlásil, že přestože má svůj vlastní VR headset (Google Daydream View), chce spolupracovat na vytváření Daydream-ready headsetů i s ostatními společnostmi a nabídnout tak zákazníkům větší možnost volby. Jak to vypadá v praxi nám jako první ukázal Huawei. Datum jeho vydání zatím nebylo oznámeno, pravděpodobně by se však mělo jednat o červen 2017 a s největší pravděpodobností půjde používat pouze s telefony vlastní značky. [87]



Obrázek 3.10: Huawei Daydream [86]

Všechny headsety vydané pod značkou Daydream musí splňovat jisté technologické standardy. Huawei Daydream je nejen splňuje, ale také posouvá technologickou laťku trochu výš. Očekává se, že nové smartphony od Huawei budou podporovat také platformu Tango, to by znamenalo, že se z Huawei Daydream může stát také headset rozšířené reality (Tango je projekt Googlu zaměřený na rozšířenou realitu). [88][89][90]

FOV je 95 stupňů, což je o 5 stupňů více než původní model Daydreamu od Googlu. Na pravé straně headsetu je touchpad s tlačítkem a kontrola hlasitosti. Google slibuje, že tento headset půjde používat bez brýlí díky možnosti zaostřit obraz pomocí kolečka nacházejícího se na horní straně headsetu. [87][88][91]

K tomuto headsetu se bude dodávat stejný bezdrátový ovladač, jakým disponuje Daydream View. [87]

## 4. AR headsety

### 4.1. Microsoft HoloLens

Microsoft HoloLens jsou smartglasses (chytré brýle) pro rozšířenou, respektive smíšenou realitu používající Windows 10. Vzhledem k tomu, že průměrná cena AR brýlí se podle stránky specout.com pohybuje kolem 130\$, jsou HoloLens se svou cenou 3000\$ jedny z nejdražších brýlí na trhu. Jsou kompletně bezdrátové, nepotřebují připojení k žádnému externímu zařízení a jejich výpočetní kapacita překonává průměrný laptop. [92][93]

Princip fungování těchto brýlí je poměrně složitý, brýle se totiž skládají z několika vrstev. Ve VR headsetu se člověk přímo dívá na displeje, ze kterých jde obraz skrze čočky do očí. U HoloLensu se ale kombinuje promítnutý obraz s reálným světem. To je možné díky optickému systému skládajícímu se ze třech průhledných skleněných čoček (červená, zelená, modrá). Nad čočkami jsou jakési malé displeje či projektoři, Microsoft je nazval „light engines“, které promítají obraz na tyto čočky. Ty nejsou úplně hladké, ale nachází se na nich miniaturní vlnité drážky, které rozkládají a různě odrážejí určité paprsky světla. Tento princip osálí oči dostatečně na to, aby výsledná projekce hologramu působila prostorově a věrohodně. [95][96]



Obrázek 4.1: Microsoft HoloLens [94]

Rozlišení je 1268x720 pro každé oko, FOV je 120 stupňů a obnovovací frekvence 60Hz. Váha headsetu je 579 gramů, což je mírně nad průměrem VR headsetů, nutno však vzít v potaz, že HoloLens jsou bezdrátové a obsahují tedy vše podstatné pro své fungování. Váha je zde však rovnoměrně distribuovaná kolem celé hlavy. [92]

Na horním rámu brýlí jsou 4 kamery získávající informace o okolí, ze kterých je odvozen pohyb hlavy. HD kamera slouží k zachycení přesně toho, co vidí uživatel, a do výsledného videa se zakomponují i hologramy. Depth (hloubková, hloubku snímající) kamera snímá pohyby a gesta rukou a skenuje okolí, což je klíčová funkce k věrnému zasazení hologramu do prostoru. Dále je v rámu zasazen gyroskop, akcelerometr a magnetometr. Všechny tyto systémy podle Microsoftu bezchybně spolupracují, díky čemuž je odezva na změnu polohy brýlí v prostoru méně než 10ms a také při pohybu hlavou by hologramy měly zůstat na svém původním místě. [95]

## 4.2. ODG

V HoloLensu se nachází tři procesory: CPU, GPU a HPU. HPU (Holographic Processing Unit) zpracovává v reálném čase data ze senzorů a stará se o většinu výpočetních operací. V podstatě upravuje informace o tom, kde se díváme, jaká gesta děláme rukama, jak vypadá okolní svět, a tyto zpracované a roztříděné informace poté posune do CPU a GPU, které se díky tomu mohou naplno starat o chod aplikací a výpočty spojené se zobrazováním hologramů. [93][97]

Microsoft se chlubí tím, že při tvorbě stereo reproduktorů použil nejnovější vědecké poznatky o tom, jak lidské ucho přijímá zvuk, a díky tomu má HoloLens údajně nejlepší prostorový zvuk ze všech headsetů. Tyto brýle jsou schopny syntetizovat binaurální zvuk, který vsugeruje mozku, že přichází z určitého místa v prostoru. Dále je zde přítomno také několik mikrofonů, které přijímají hlasové příkazy. Propojit brýle s jiným zařízením je možné přes Wi-Fi nebo Bluetooth. Baterie by měla vydržet kolem tří hodin, zařízení je také možné souběžně nabíjet přes Micro-USB. [93][95][96]

HoloLens se ovládá několika způsoby. Jak již bylo zmíněno, prvním z nich jsou hlasové příkazy, těmi jde například ovládat některé aplikace, nebo komunikovat s Cortanou, což je hlasový asistent ve Windows 10. Druhým způsobem je gestikulace. Hloubková kamera snímá pohyby ukazováčku a palce, díky čemuž může uživatel vybírat a měnit velikosti různých předmětů, nebo přemisťovat hologramy. Třetí možností je ovládání zrakem. V podstatě ve středu zorného pole je jakýsi virtuální ukazatel, nevýhodou však je nutnost pohybu celou hlavou za účelem přemístění kurzoru. To by se však do budoucna mělo změnit, neboť na konci roku 2016 si Microsoft nechal patentovat novou technologii „eye trackingu“, tedy snímání pohybu očí. Jedná se o velice levnou technologii, při níž je použito několik průhledných senzorů zabudovaných přímo v čočkách brýlí, které snímají pozici a vzdálenost rohovky. Tato metoda nabízí velice nízkou odezvu a velkou úsporu energie i váhy. Tato technologie bude pravděpodobně zabudovaná v Microsoft HoloLens 2.0, jejichž verze pro vývojáře by se měla objevit na konci roku 2017. [98][99][100]

Co se aplikací týče, těch není zatím zdaleka tolik jako u VR headsetů, k dispozici je například Skype, nebo HoloStudio, které slouží k vytváření vlastního 3D obsahu, například k tvorbě modelů a jejich následnému tisku v 3D tiskárně. Microsoft také oznámil, že v budoucnu by se také měly objevit multiplayerové verze několika her, například Minecraftu. Další zajímavostí je, že se na vývoji těchto brýlí podílí také NASA. [96]

## 4.2. ODG

Osterhout Design Group, zkráceně ODG, je americká technologická firma primárně se zabývající elektrooptikou a sensorikou. Společnost ODG byla založena roku 1999 a v prvních letech své existence se stejně jako firma Vuzix zabývala vývojem, výrobou a distribucí vojenské techniky pro Americkou armádu. Relativně nedávno se však ODG rozhodla kompletně přeorientovat na vývoj chytrých brýlí. Tuto společnost se dokonce pokoušel koupit Microsoft za 200 milionů dolarů, ODG však dala přednost 58 milionové investici od několika investorů a své samostatnosti. [101]

ODG je momentálně jednou z mála společností, která již má na trhu kompletní funkční verzi chytrých brýlí. Jedná se o zařízení R-7, která je na trhu od roku 2015. Jednalo se o technicky nejvyspělejší brýle ve své době, o čemž svědčila i cena, 2750\$. R-7 byly vybaveny mnoha moderními technologiemi, například procesorem Qualcomm Snapdragon 805 nebo

HD kamerou zachycující pohled uživatele, chybět samozřejmě nesměly ani poziční senzory. [101][103][108]



Obrázek 4.2: ODG R7 [102]

V těchto brýlích byl také poprvé představen Reticle OS, což je operační systém založený na Androidu, který byl vyvinut ODG speciálně pro jejich zařízení. ODG na vývoji chytrých brýlí pracovala více než 6 let a spolupracovalo při tom s mnoha klíčovými partnery, díky nimž jsou dnes R-7 využívány hlavně v průmyslu, medicíně a ve vládním sektoru. Po delší odmlce oznámila ODG v lednu 2017 své plány na vydání dalších dvou modelů brýlí, R-8 a R-9, ještě během tohoto roku. [103][108]

Oba modely budou vybaveny OLED displejem (u R-8 to bude 720p, u R-9 1080p pro každé oko) s 80 Hz obnovovací frekvencí, FOV u R-8 bude 40 stupňů, u R-9 50 stupňů. V obou brýlích bude operační systém Reticle a nově vyvinuté procesory Qualcomm Snapdragon 835, které společně s 13 megapixelovou kamerou mají postavit základ pro kvalitní VR/AR aplikace. Samozřejmostí je konektivita přes Wifi, Bluetooth a Usb-C. [104]

R-9 bude o něco těžší (váha kolem 170 gramů), robustnější a dražší, a své zákazníky by měl najít spíše v developerském a průmyslovém sektoru. Klíčovou výhodou R-9 je expanzní port, sloužící k připojení různých rozšiřujících modulů, například nočního vidění, nebo UV světla. Na trhu by se měly objevit přibližně v polovině roku 2017 za 1800\$. [104][106]

R-8 jsou nejlehčí brýle z portfolia ODG (120 gramů) a jsou zaměřeny spíše na běžné uživatele, sloužit by měly k běžným činnostem, např. ke hraní, sledování filmů, či čtení knih. Do prodeje se dostanou v druhé polovině roku 2017 a jejich cena bude 1000\$. [104][105]

Ovládat obě zařízení je možné nejen pomocí několika tlačítek na brýlích, ale také přes aplikaci na smartfounu, přes Bluetooth pak jde připojit různé doplňky jako např. klávesnici.

Reticle je operační systém založený na Androidu, může tudíž spouštět Androidovské aplikace a do budoucna se na tento OS mají objevit speciální aplikace, které údajně mají překonat všechna paradigmatata týkající se rozšířené reality, nic bližšího však ODG nesdělilo. [104]

### 4.3. VUZIX AR3000



Obrázek 4.3: ODG R9 [105]



Obrázek 4.4: ODG R8 [105]

### 4.3. Vuzix AR3000

Vuzix je nepříliš známá americká technologická společnost, která je jedním z hlavních hráčů na poli vývoje a produkce brýlí pro virtuální a rozšířenou realitu. Za dobu své existence tato firma získala 49 patentů a momentálně se pokouší získat 43 dalších. Potenciál v této společnosti viděl například Intel Corporation, který v lednu 2015 koupil 38% akcií v hodnotě téměř 25 milionů dolarů. Vuzix má za sebou již několik úspěšných modelů chytrých brýlí, v lednu 2017 však na veletrhu CES představil své nejnovější modely Blade 3000 a M3000 a právě těmi se zde budu zabývat. [114]

Oba modely spadají do série Vuzix AR3000 – Augmented Reality Smart Glasses a mají tedy několik shodných charakteristik. První z nich je Waveguide optics, což jsou průhledné čočky pouze dva milimetry tlusté, na které je vykreslován obraz. Ty fungují na podobném principu jako optická vlákna. Další společnou věcí u obou brýlí je výkonný mikroprocesor používající operační systém Android. Bluetooth 4.1 umožňuje spárování brýlí s libovolným zařízením s OS Android nebo iOS, k připojení na internet slouží zabudovaný Wifi čip. Jak Blade tak M3000 obsahují většinu funkcí a možnosti moderního smartfounu, jsou kompatibilní s většinou existujících aplikací pro Android. [113][114]

Vuzix Blade 3000 Smart Sunglasses z venku na první pohled vypadají jako obyčejné sluneční brýle a až po nasazení uživatel zjistí, že pravé sklo slouží jako displej. Pokud se oko na displej soustředí, obraz je ostrý a čistý, pokud se však uživatel dívá skrz brýle, sklo působí průhledně. [109]



Obrázek 4.5: Vuzix Blade 3000 [114]

V brýlích je ukrytý Micro USB port, slot na paměťovou kartu formátu microSD, nad levou čočkou se nachází 8 megapixelová kamera schopná zachytit 1080p video. Zachycené fotky či videa by měly jít okamžitě přeposlat či uploadnout na sociální sítě. Ke snímání polohy v sobě mají brýle zabudovaný akcelerometr, gyroskop a GPS. Při běžném užívání by baterie měla vydržet přibližně 8 hodin. Vuzix se zatím u těchto brýlí o audio příliš nestaral, proto se o zvuk musí postarat sluchátka nebo reproduktory připojitelné přes Bluetooth nebo micro USB. [109][112][113]

Interakce s brýlemi může být prováděna dvěma způsoby: hlasem lze odesílat zprávy nebo mluvit s hlasovým asistentem, a na zbytek úkonů je tu touchpad na pravém rameni brýlí. [109]

Softwarové možnosti jsou v podstatě neomezené. Podle slov vývojářů by měly ve své finální formě měly sloužit ke všemu, co zvládne chytrý telefon, tedy k volání, odesílání zpráv a emailů, k poslouchání hudby, brouzdání po internetu či spravování kalendáře. Byla také představena možnost využití ve sportu, například zobrazování aktuální rychlosti, trasy, po propojení s externím zařízením by mohly zobrazovat tepovou frekvenci atd. [110][111][113]

Blade 3000 jsou údajně nejpohodlnější zatím známé chytré brýle, finální váha má být dokonce stlačená pod 100 gramů. Brýle běží na Androidu 5, proto by optimalizace starých a vývoj nových aplikací neměl být problém. Cena by se měla pohybovat kolem 1000\$ a na trh se mají dostat v druhé polovině roku 2017. [109]

Vuzix M3000 Smart Glasses se na rozdíl od Blade nesnaží vypadat nenápadně. Na první pohled se od konkurence odlišuje netradičním designem, jedná se totiž o monokulární brýle. Ty jde nosit na pravém nebo levém oku podle individuální potřeby. [115]

Na rozdíl od Bladu, jehož využití pokrývá spíše volnočasové aktivity, M3000 byly navrženy pro komerční a profesionální účely, uplatnění by v budoucnu mohl najít například v průmyslu, logistice, prodeji či medicíně. Brýle jsou připraveny k práci v náročném prostředí, jsou totiž odolné vůči nárazu, prachu a vodě. M3000 lze nosit připevněné na klasické brýle, nebo prázdné obroučky, ale také na bezpečnostní přilby. [115][116][118]



Obrázek 4.6: Vuzix M3000 [115]

#### 4.4. META 2

Zabudovaný gyroskop, magnetometr, akcelerometr a GPS poskytují aplikacím údaje o poloze zařízení a také o směru a úhlu pohledu. V brýlích je integrovaná 160 mAh baterie a k dispozici je také externí 860 mAh baterie, díky tomu je provozní doba 2-12 hodin. M3000 lze ovládat stejně jako Blade buď hlasem, nebo touchpadem. Na rozdíl od předchozího modelu je v těchto brýlích zabudovaný reproduktor. [115][116][117][118]

Brýle používají operační systém Android 6. Cena ani datum, kdy se M3000 objeví na trhu, zatím nebyly oznámeny. [117]

#### 4.4. Meta 2

Meta je soukromá americká společnost se sídlem v Silicon Valley. Její první AR brýle Meta 1 se dnes již neprodávají, nyní je na trhu dostupný druhý model, Meta 2 Development Kit. Zatímco většina AR headsetů se snaží pouze o vytvoření jakéhosi overlaye ve stylu displeje, Meta má stejný cíl jako HoloLens: vytvořit pro uživatele smíšenou realitu vložím hologramů do reálného světa. Metě 2 se to daří pouze částečně, její obraz vypadá méně reálně, více jako umělá projekce, headset musí být připojen k počítači a dokonce i její tvůrci uznávají, že mapování reálného světa má zatím značné nedostatky. Na druhou stranu je zde velký cenový rozdíl mezi oběma zařízeními, Meta 2 stojí pouze 949\$ oproti 3000\$ za HoloLens. [119]



Obrázek 4.7: Meta 2 [120]

Rozlišení pro každé oko je 1280x1440 pixelů, FOV je 90 stupňů. Na headsetu se nacházejí hloubkové senzory s 270 stupňovým zorným polem, které snímají okolní prostředí a pohyb rukou, čelní 720p kamera, a dále je zde klasické IMU trio: akcelerometr, gyroskop a magnetometr. Headset je vybavený kvadrofonickým audio systémem a několika mikrofony. Oproti HoloLensu má Meta 2 navíc popruh přes horní stranu hlavy, díky kterému je jeho nošení pohodlnější a stabilnější. Brýle jsou napájeny a k počítači připojeny třímetrovým kabelem. [120][121][122][123]

Meta se zatím vůbec nezabývala možností využití svého headsetu k herním účelům a soustředila se pouze na tvorbu aplikací pro pracovní a osobní život. Nicméně při koupi Mety 2 uživatel navíc zdarma dostane software development kit založený na Unity - nejpopulárnějším 3D enginu na světě. V budoucnu se tedy určitě objeví hry pro Metu stvořené či optimalizované komunitou. Na oficiálních stránkách Mety byla zveřejněna informace, že se již brzy objeví optimalizovaná verze Solidworksu pro Metu 2, což by mělo umožnit snadnou tvorbu a sdílení holografických modelů. [120][121][123]

Další generace těchto brýlí by podle vývojářů měla být menší, lehčí a nutnost připojení k počítači by měla být nahrazena přenosnou výpočetní jednotkou kapesní velikosti, prozatím však brýle musí být připojeny k počítači s Windows 8 nebo 10. [119][121]

## 4.5. Magic Leap

Společnost Magic Leap byla založena v roce 2011 Ronym Abovitzem. Firma se proslavila několika videi zobrazujícími jejich technologie v praxi, asi nejznámější z nich zobrazuje hologram velryby v tělocvičně plné dětí, nicméně všechny tyto videa byly fake, a jednalo se pouze o marketingový tah, jak vzbudit ve veřejnosti zájem o virtuální a rozšířenou realitu, což mělo nalákat investory. To se jim povedlo, po jejich boku se postavil například Google, Disney či Alibaba group, ale přestože od svého vzniku získali od investorů na více než 1,4 miliardy dolarů, dodnes nepředstavila ani fungující demo svého produktu. [124]

Přestože již zmiňované fake videa byly bezpochyby dobrý marketingový tah, postupem času se ukazují jako dvojsečná zbraň, neboť dostaly firmu pod tlak vytvořit brýle poskytující stejný zážitek, jaký byl prezentován ve videích. To by nebylo nic špatného, kdyby Magic Leap měl nějakou reálnou šanci své vize naplnit, nicméně podle událostí posledních několika měsíců se zdá, že Magic Leap hodně zaostává za konkurencí. Na veřejnost se poslední dobou dostaly informace, že se společnosti nepodařilo zkonstruovat funkční „Fiber Scanning Display“, ani zprovoznit jejich „lightfield“ technologii. Rozruch také způsobila fotka údajného prototypu a tvrzení, že není ani zdaleka tak výkonný jako HoloLens, Rony Abovitz však všechno popřel. [124][125]

Na konci roku 2016 v ojedinelém rozhovoru Rony Abovitz prohlásil, že do 18 měsíců se Magic Leap začne vyrábět, a že s sebou přinese novou éru výpočetních technologií. Magic Leap má údajně otřást v základech trhem s počítači, televizemi a mobilními telefony. Při výčtu funkcí a možností použití víceméně zmínil to, co dnes již umí konkurenční brýle, podle Abovitze však Magic Leap konkurenci překoná ve všech ohledech. Samozřejmě ale z jeho strany nepadla jediná zmínka, jak toho chce dosáhnout. [127]

Magic Leap by se dal charakterizovat jako tajnůstkářská společnost, která na povrch nepouští žádné informace, vývojáři odmítají odpovědět na jakékoliv otázky týkající se použitých technologií, a jejich pověsti určitě nepřidá ani to, že opakovaně zveřejňovali fake videa, které vydávali za pravé. Minimálně o jedno z nich se postarala společnost Weta Workshop, tvůrce speciálních efektů pro filmy jako Hobit nebo Mad Max. Současný stav projektu je neznámý, Magic Leap údajně nemůže své obrovské výkonné prototypy zmenšit na přijatelnou velikost a vměstnat je do brýlí. Podle dostupných informací se zdá, že celý projekt byl převálcován konkurencí, zejména HoloLensem od Microsoftu, otázkou tedy je kdy, a jestli vůbec se Magic Leap objeví na trhu. [124]



Obrázek 4.8: Magic Leap promo [126]

## 5. Tvorba aplikací pro VR a AR

Pro tvorbu VR aplikací pro PC, konzole a smartfouny je momentálně nejvhodnější použít buď Unity[128] nebo Unreal Engine.[129] Jak bude později upřesněno, oba tyto enginy spolupracují s širokým spektrem platform.

Pro vývoj aplikací pro Gear VR, tedy pro telefony značky Samsung, byl vydán Oculus Mobile SDK[130], ten však není nutno stahovat v případě tvorby aplikace v jednom z uvedených enginů.

I v případě tvorby obsahu pro virtuální realitu od Googlu lze aplikace vyvíjet buď v Unity/UE4. Druhou možností je vyvíjet aplikaci v Android Studiu v kombinaci s Google VR SDK pro Android[131], nebo v Xcode s Google VR SDK pro iOS.[132]

Ke tvorbě AR aplikací pro chytré brýle je momentálně k dispozici pouze pomocí několika frameworků, např. Wikitude[133] a ARToolKit[134]. Mimoto v případě Microsoft Hololens lze aplikace tvořit také v Unity.

Herní engine je softwarový framework navržený pro tvorbu a vývoj her. Je to v podstatě kolekce knihoven, souborů a nástrojů řešících základní problémy jako např. kolize mezi objekty, prostorový zvuk, načítání modelů atd. Využívání těchto enginů umožňuje vývojářům soustředit se na vývoj nového obsahu a neztrácet čas řešením základních úloh stále dokola. [135][136][138]

Herní enginy se skládají z několika částí, menších enginů, jež zastřešují a zajišťují jejich spolupráci. Každý z těchto podenginů je zaměřen na specifickou oblast.

Grafika 3D her je tvořena pomocí importovaných assetů vytvořených v externích programech jako Maya nebo Blender. Poté, co byl asset do enginu importován, jej lze pomocí bump mappingu natexturovat, definovat jeho osvětlení, stíny atd.

Zvukové efekty obvykle nevychází z reproduktorů tak, jak byly nahrány, ale jsou enginem upraveny tak, aby odpovídaly relativní poloze charakteru vůči zdroji zvuku. Dále je modifikovaná hloubka zvuku či ozvěna v závislosti na prostředí.

Kvalitní fyzika je dnes již nedílnou součástí všech engineů. Vyrenderovaný objekt v 3D světě je pouze vizuální efekt do té doby, než je definováno, jak se na něj mají vztahovat fyzikální zákony. Fyzikální engine definuje, jak se má těleso chovat při střetu s jiným objektem, nebo jak na něj má působit gravitace. Příkladem takového engineu může být Rigidbody, který je zakomponován do Unity.

Engine také musí rozpoznat, kdy uživatel pohnul myší, klikl na klávesnici, či v případě VR a AR headsetů pohnul hlavou, a jak se změnila jeho poloha v prostoru. O to se starají input systémy, které mají předdefinováno, co jednotlivé akce znamenají.

Další oblasti o které se engine stará jsou například skriptování, umělá inteligence atd. [137]

Herní enginey se liší tím, jak a nakolik mají předdefinované řešení různých problémů a úloh. Nejjednodušší enginey jako např. SDL či XNA ponechávají tvůrcům největší svobodu volby jednotlivých komponentů a jejich implementace, na druhou stranu je zde potřeba tvořit téměř vše od píky, a právě kvůli tomu jsou dnes pro vývojáře lákavější vyspělejší enginey jako Unreal Engine 4, nebo Unity 5. [136]

## 5.1. Unity3D

Unity je herní engine vyvinutý společností Unity Technologies. Podle Thenextweb.com[139] je volbou více než 45% vývojářů, na druhém místě je Unreal s 17%. Jedním z hlavních důvodů, proč Unity zaujímá dominantní postavení na trhu s herními enginey je jeho multiplatformní podpora. Na oficiálních stránkách [140] je uvedeno 27 podporovaných platform, z hlediska virtuální a rozšířené reality jsou pro nás nejzajímavější například Oculus, Google Cardboard, SteamVR, Microsoft HoloLens a další VR/AR platformy mají přibýt. [141][142]

Unity 5 bylo stvořeno jako point-and-click engine, což v praxi znamená, že zde uživatel dosáhne s minimálními znalostmi kódování maximálních výsledků. Na druhou stranu point-and-click enginey mohou být v některých oblastech poměrně omezující, proto tvůrci většiny AAA her (hry s největším rozpočtem) upřednostňují Unreal Engine 4, který jim ponechává větší svobodu v programování a skriptování. [136][143][144]

Framework Unity je založen na jazyku C++, uživatel ale s engineem komunikuje buď přes C nebo Javascript. Unity tedy uživatele nenutí používat C++, který je obecně složitější. Naproti tomu Unreal Engine 4 využívá výhradně C++.

Dříve platilo, že UE4 a CryEngine měly řádově lepší grafiku než Unity. V březnu 2015 však byl představen PBS (physically based shading) a další vylepšené osvětlovací systémy pro Unity 5, a onen propastný rozdíl se výrazně zmenšil. PBS má za úkol reálněji osvětlovat prostředí díky tomu, že odlišuje kovové a nekovové materiály ve výpočetních operacích týkajících se světla. [144]

Unity Asset Store [155] je virtuální obchod s assety, kde se nachází více než 15 000 skriptů, 3D modelů, rozšíření editoru, materiálů, audio souborů, animací a dalších předmětů usnadňujících vývojářům tvorbu. Většina těchto položek je k dispozici za cenu v řádech dolarů, některé jsou dokonce zdarma. Unreal a jiné enginey sice také disponují svými asset story, ten od Unity je ale nejobsáhlejší. Některé tyto předměty jsou tvořeny

## 5.2. UNREAL ENGINE 4

Unity Technologies, tvorbu většiny z nich však má na svědomí rychle rostoucí komunita. [145][146][147]

Dá se říct, že právě komunita tvoří velkou část obsahu Unity, ta čítá více než 5,5 miliónů registrovaných uživatelů. Na oficiálním fóru [148] a v uživatelském manuálu je k dispozici ohromné množství tutoriálů, školení, návodů a přednášek. [145][149][150]

EditorVR je první velký krok Unity k tvorbě VR (a brzy také AR) obsahu ve virtuální realitě. Unity Labs je tým zabývající se virtuální a rozšířenou realitou. V roce 2016 představili svůj open source projekt EditorVR, který přináší některé editovací nástroje Unity dovnitř headsetu. EditorVR není vhodný ke psaní kódu, ale umožňuje tvůrcům tvořit 3D prostředí či upravovat trojrozměrné modely ve 3D. [145][152]

Unity je momentálně nejvhodnější volba pro tvorbu VR aplikací. Samotná společnost Unity Technologies se snaží vycházet tvůrcům vstříc a navíc byl tento engine přijat všemi hlavními tvůrci VR headsetů, kteří vydali své SDK pro Unity. SDK (software development kit) je sada programů, knihoven a nástrojů pro tvorbu aplikací pro specifické platformy. V tomto SDK je předdefinované řešení určitých problémů specifických pro daný headset, například se jedná o tvorbu 3D obrazu pro parametry daných brýlí, řešení prostorového zvuku, využívání údajů ze senzorů k přesnému mapování pohybu headsetu či snímání pohybu ovladačů. [146][151]

Unity nabízí čtyři typy licencí. Základní Personal licence je kompletně zdarma, Plus stojí 35\$ měsíčně a Pro licence stojí 125\$ měsíčně. Čtvrtá licence Enterprise je vhodná zejména pro velké vývojové týmy a její cena není uvedena. Uživatel se základní licenci může na své hře či aplikaci vydělat maximálně 100 000\$ ročně a Plus licence má limit 200 000\$ ročně. Při překročení této částky je uživatel nucen koupit si vyšší úroveň licence. Licence Pro a Enterprise nemají limit. Dále placené licence oproti té základní poskytují jisté výhody, jako např. prioritní sdílení obsahu přes Unity Cloud, až 40% slevy v Asset store či automatický sběr informací o fungování aplikace na jednotlivých platformách. [146]

## 5.2. Unreal Engine 4

Unreal Engine byl vytvořen americkou firmou Epic Games a jeho první verze se předvedla již v roce 1998 v legendární hře Unreal. Dnes je to druhý nejpoužívanější herní engine. Výčet platform podporovaných Unreal Enginem je kratší než u Unity, nicméně ani zde nechybí podpora nejrozšířenějších headsetů, své SDK vydali například SteamVR, PlayStation VR, či Google VR. [154]

Tvorba stejného obsahu v UE4 trvá mnohem déle než v Unity, uživatel ale disponuje více možnostmi. Kvůli časové náročnosti a větším požadavkům na znalost programování není tento engine moc využíván běžnými developery, ale jak již bylo v předešlé kapitole řečeno, je upřednostňován spíše velkými vývojovými týmy k tvorbě vysokorozpočtových her. [136][143]

Unreal Engine je známý svým Blueprint Visual Scripting systémem. Jedná se o skriptovací systém v Unreal Editoru fungující na bázi propojování objektů, dějů a vlastností. Díky tomu uživatel teoreticky nemusí umět programovat, avšak i zde platí stejně jako u Unity, že k vytvoření kvalitní hry nebo aplikace je vhodné ovládat příslušný programovací jazyk. Kódovacím jazykem UE4 je C++, který je obecně složitější, než v Unity využívaný C a Javascript. [157][158][159]

Asset store Unreal Engine [160] pojmenovaný Marketplace není tak obsáhlý jako v případě Unity. Stejně jako u konkurence je i v případě UE4 k dispozici mnoho tutoriálů a návodů na oficiálním fóru [161] a v uživatelském manuálu. [162]

Virtuální a rozšířená realita má maximální požadavky na kvalitu a reálnost obrazu, a právě v této oblasti má UE4 mírnou výhodu nad Unity, neboť obraz vytvořený v Unreal Engine je stále o něco kvalitnější. [158][163]

Unreal Engine je kompletně zdarma, vývojáři jsou vázáni platit 5% ze svých hrubých příjmů až poté, co zisky jejich produktu překročí 3000\$ za kvartál. [155][156]

### 5.3. Wikitude

Wikitude je všestranný SDK sloužící k tvorbě aplikací pro rozšířenou realitu. Využívá SLAM technologii sloužící k mapování a pochopení okolního prostředí, díky čemuž do něj může následně přesně zasadit AR obsah. Wikitude také umožňuje do aplikace implementovat propracovaný systém pro rozpoznávání předmětů (kamera vidí auto a systém např. pozná jeho značku), nebo naprogramovat aplikaci tak, aby využívala data ze senzorů umístěných na brýlích. Pomocí Wikitude SDK lze vytvářet aplikace nejen pro Android a iOS, ale také pro chytré brýle Epson, Vuzix a ODG. [164][165][166]

Samotná tvorba aplikací probíhá ve Wikitude Studiu, ve kterém není třeba umět programovat. Možnosti tvorby jsou však zatím relativně omezeny na práci s importovanými assety nebo vkládání videí do zorného pole uživatele. [167]

Wikitude nabízí několik typů licencí v cenovém rozpětí 2490-4490 za rok, mimoto je k dispozici také trialová verze zdarma. Tvořit AR aplikace pro chytré brýle je ale možné pouze v Enterprise SDK, u kterého je cena stanovena dohodou se společností. [168]

### 5.4. ARToolKit

ARToolKit je open source software řešící několik hlavních problémů rozšířené reality, mezi něž patří například výpočet zorného pole uživatele, kalibrace kamery, rozpoznávání objektů a povrchů a umožňuje také využívat GPS a senzory. ARToolKit je multiplatformní software umožňující tvorbu aplikací nejen na tradiční platformy jako Android, iOS a Windows, ale také na chytré brýle a na nejrůznější experimentální zařízení. K dispozici je také dokumentace [169] obsahující návody a vzorové aplikace. [134]

ARToolkit je pod licencí LGPLv3, což znamená, že je zdarma, ale uživatelé jsou vázáni dodržovat několik licenčních pravidel. [170][171]

## 6. Závěr

Cílem této práce bylo sepsat dostupné informace o několika nejvýznamnějších headsetech. Popsány byly momentálně nejprodávanější a nejočekávanější headsety.

Kvalitních zdrojů není mnoho, proto bylo nutno hledat některé informace nejen na oficiálních stránkách výrobců, ale také v recenzích a na stránkách developerů. Vzhledem k tomu, že se jedná o relativně nové technologické odvětví, je pochopitelné, že se firmy snaží chránit své know-how, proto nejsou co se použitých technologií týče příliš sdílné.

V textu se mohou objevit drobné nepřesnosti, protože drtivá většina zdrojů je anglických a některé prvky nemusí mít ekvivalentní český překlad, nicméně co se faktografické správnosti týče, všechny informace by měly být pravdivé a správné, neboť jsem se je pokoušel vždy ověřit z více zdrojů.

V poslední části práce byly stručně popsány možnosti vývoje VR a AR aplikací a her a struktura herního enginu. Detailněji byly popsány momentálně nejpoužívanější a pro oblast virtuální a rozšířené reality nejperspektivnější herní enginy Unreal Engine 4 a Unity3D.

# Literatura

- [1] What is Virtual Reality? *Virtual Reality Society* [online]. [cit. 2017-2-20]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/what-is-virtual-reality.html>
- [2] What's the Difference Between Virtual, Augmented Mixed Reality? *Next Reality* [online]. [cit. 2017-2-20]. Dostupné z: <https://next.reality.news/news/whats-difference-between-virtual-augmented-mixed-reality-0171163/>
- [3] Virtual reality. *Merriam Webster* [online]. [cit. 2017-2-20]. Dostupné z: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/virtual%20reality>
- [4] What are the differences among virtual, augmented and mixed reality? *Recode* [online]. [cit. 2017-2-20]. Dostupné z: <https://www.recode.net/2015/7/27/11615046/whats-the-difference-between-virtual-augmented-and-mixed-reality>
- [5] What are the differences among virtual, augmented and mixed reality? *Virtual reality society* [online]. [cit. 2017-2-20]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-applications/>
- [6] Augmented reality. *Merriam Webster* [online]. [cit. 2017-2-21]. Dostupné z: <https://www.merriam-webster.com/dictionary/augmented%20reality>
- [7] Absolutely immersive VR isn't right around the corner, AMD says in the new white paper. *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-2-21]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/computing/absolutely-immersive-vr-isnt-right-around-the-corner-amd-says-in-new-white-paper/>
- [8] How HTC and Valve built the Vive. *Engadget* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2016/03/18/htc-vive-an-oral-history/>
- [9] History and Development of HTC Vive. *VR Answers* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <http://www.vranswers.com/clubs/htc-vive/wikis/39898839/title/history-development-htc-vive>
- [10] HTC Vive. *Vive* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <https://www.vive.com/eu/product/>
- [11] SteamVR Update Adds Asynchronous Reprojection. *Road to VR* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <http://www.roadtovr.com/steamvr-update-adds-asynchronous-reprojection/>
- [12] Vlastníme HTC Vive. *CzechGamer* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <http://www.czechgamer.com/23892/vlastnime-htc-vive-opravdova-recenze.html>
- [13] HTC Vive review rating. *PC Mag* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/review/343390/htc-vive>
- [14] HTC Vive review: An experience that's out of this world. *Pocket-Lint* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/review/136126-htc-vive-review-an-experience-that-s-out-of-this-world>

## LITERATURA

- [15] HTC announces its own VR headset. *VR Times* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <http://virtualrealitytimes.com/2015/03/02/htc-announces-its-own-vr-headset/>
- [16] Recenze HTC Vive: Virtuální realita s novým rozměrem. *VR Times* [online]. [cit. 2017-2-24]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/recenze-htc-vive-vr-steam-hry-201606/>
- [17] Recenze virtuální reality: Přehnané sliby, nebo vytoužená revoluce?. *Bonuswebs* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: [http://bonusweb.idnes.cz/htc-vive-recenze-virtualni-reality-duw-/Magazin.aspx?c=A160802\\_160003\\_bw - magazin\\_nb](http://bonusweb.idnes.cz/htc-vive-recenze-virtualni-reality-duw-/Magazin.aspx?c=A160802_160003_bw - magazin_nb)
- [18] This Is How Valve's Amazing Lighthouse Tracking Technology Works. *Gizmodo* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <http://gizmodo.com/this-is-how-valve-s-amazing-lighthouse-tracking-technol-1705356768>
- [19] Vive Deluxe Audio Strap. *Vives* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <https://www.vive.com/us/vive-deluxe-audio-strap/>
- [20] HTC's Vive Deluxe Audio Strap is coming in June for \$99.99. *The Verge* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <http://www.theverge.com/circuitbreaker/2017/2/27/14748876/htc-vive-deluxe-audio-strap-tracker-price-availability>
- [21] HTC Vive Pre impressions: A great VR system has only gotten better. *Ars Technica* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <https://arstechnica.com/gaming/2016/01/htc-vive-pre-impressions-a-great-vr-system-has-only-gotten-better/>
- [22] Spec Comparison: Does the Rift's Touch Update Make It a True Vive Competitor? *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/oculus-rift-vs-htc-vive/> 22
- [23] SteamVR Performance Test. *Steam Store* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <http://store.steampowered.com/app/323910/>
- [24] PSVR vs. HTC Vive vs. Oculus Rift vs. Gear VR: Which VR headset should you buy? *Ars Technica* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <https://arstechnica.com/gaming/2016/10/best-vr-headset-2016-psvr-rift-vive/>
- [25] HTC Vive review. *Techradar* [online]. [cit. 2017-2-28]. Dostupné z: <http://www.techradar.com/reviews/wearables/htc-vive-1286775/review>
- [26] Zakladatel Oculu doručil první Rift. *Infinite* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://blog.infinite.cz/novinky/zakladatel-oculus-dorucil-prvni-rift>
- [27] A Brief History Of Oculus. *TechCrunch* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2014/03/26/a-brief-history-of-oculus/>
- [28] A Brief History of Oculus, from Day Zero to Day One. *Medium* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <https://medium.com/kickstarter/a-brief-history-of-oculus-from-day-zero-to-day-one-8878aae002f8.9zgfa1221>

- [29] Facebook Shows Oculus Rift. *Independent* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://www.independent.co.uk/life-style/gadgets-and-tech/news/facebook-oculus-rift-virtual-reality-vr-friends-social-network-a7350086.html>
- [30] Oculus Riftt. *Specout* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/4/Oculus-Rift>
- [31] Oculus Rift review: The VR revolution begins here. *Pocket Lint* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/review/136621-oculus-rift-review-the-vr-revolution-begins-here>
- [32] Oculus Rift review. *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: [http://www.digitaltrends.com/vr-headset-reviews/oculus-rift-review/?utm\\_source=feedlyutm\\_medium=webfeeds](http://www.digitaltrends.com/vr-headset-reviews/oculus-rift-review/?utm_source=feedlyutm_medium=webfeeds)
- [33] Oculus Rift review. *Wareable* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <https://www.wareable.com/oculus-rift/oculus-rift-review>
- [34] Oculus Rift review rating. *PC Mag* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://www.pcmag.com/review/343413/oculus-rift>
- [35] The Oculus Rift earbuds are surprisingly comfy. *Engadget* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <https://www.engadget.com/2016/10/06/oculus-rift-earphones>
- [36] Virtuální realita a požadavky na grafické karty. *Svět Hardware* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://www.svethardware.cz/recenze-virtualni-realita-a-pozadavky-na-graficke-karty/41502-4>
- [37] Asynchronous Timewarp Examined. *Oculus Developers* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <https://developer3.oculus.com/blog/asynchronous-timewarp-examined/>
- [38] Oculus Touch Controllers Review. *IGN* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://www.ign.com/articles/2016/12/05/oculus-touch-controllers-review>
- [39] HTC Vive vs. Oculus Rift With Touch – Which Is The Better Roomscale Experience?. *UploadVR* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <https://uploadvr.com/vive-vs-oculus-rift-touch-roomscale/>
- [40] Oculus Touch Review. *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-3-2]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/vr-headset-reviews/oculus-touch-review/>
- [41] Sony's Virtual Reality Expert Explains How PlayStation VR Works. *Time* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://time.com/4520123/playstation-vr-virtual-reality-headset/>
- [42] PlayStation VR. *PlayStation VR* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/explore/playstation-vr/>
- [43] Podrobnosti o soupravě PS VR - Technické údaje. *PlayStation VR* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/explore/playstation-vr/tech-specs/>

## LITERATURA

- [44] PlayStation VR. *PlayStation VR* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/explore/playstation-vr/>
- [45] Sony PlayStation VR review. *Wareable* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.wareable.com/sony/sony-playstation-vr-review>
- [46] Zaměřovací ovladač PlayStation VR. *PlayStation VR* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/explore/accessories/playstation-vr-aim-controller/>
- [47] Pohybový ovladač PlayStation Move. *PlayStation VR* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/explore/accessories/playstation-move-motion-controller/>
- [48] Sony PlayStation VR. *Specout* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/3/Sony-PlayStation-VR>
- [49] How PlayStation Move Works. *How Stuff Works* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://electronics.howstuffworks.com/playstation-move3.htm/>
- [50] PlayStation VR review. *Techradar* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://www.techradar.com/reviews/gaming/playstation-vr-1235379/review/2>
- [51] PlayStation VR: vyzkoušeli jsme si virtuální realitu od Sony. *Mobilenet* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://mobilenet.cz/clanky/playstation-vr-vyzkoušeli-jsume-si-virtualni-realitu-od-sony-31365>
- [52] Sony PlayStation VR review: Virtual reality for the masses. *Pocket Lint* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/review/136646-sony-playstation-vr-review-virtual-reality-for-the-masses>
- [53] PlayStation Camera. *PlayStation* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/explore/accessories/playstation-camera/>
- [54] How the PlayStation Camera Works. *How Stuff Works* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://electronics.howstuffworks.com/playstation-camera1.htm>
- [55] RIG 4VR. *Plantronics* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://www.plantronics.com/us/product/rig-4vr>
- [56] What does PlayStation VR's external processor unit actually do? *EuroGamer* [online]. [cit. 2017-3-15]. Dostupné z: <http://www.eurogamer.net/articles/digitalfoundry-2016-what-does-playstation-vr-external-processor-unit-actually-do>
- [57] An Inside Look At The Development Of Samsung's Gear VR At Oculus With CEO Brendan Iribe. *TechCrunch* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://techcrunch.com/2014/09/03/samsung-gear-vr-oculus-ceo-brendan-iribe/>
- [58] Il nuovo Gear VR gioca a fare l'Oculus Rift con un controller dedicato. *Android World* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.androidworld.it/2017/03/29/gear-vr-2017-controller-caratteristiche-uscita-prezzo-459834/>

- [59] Gear VR. *Samsung* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>
- [60] New Gear VR redesign doesn't fix what wasn't already broken last year. *Ars Technica* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://arstechnica.com/gaming/2016/08/samsung-gear-vr-2016-review-more-of-the-same-great-portable-vr/>
- [61] Nový Samsung Gear VR: virtuální realita „v černém“. *Mobilmania* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://samsungmania.mobilmania.cz/titulni-strana/novy-samsung-gear-vr-virtualni-realita-v-cernem-recenze/sc-21-a-1335825>
- [62] What are the best Bluetooth controllers for Samsung Gear VR? *Slant* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://www.slant.co/topics/6291/bluetooth-controllers-for-samsung-gear-vr>
- [63] Best Gamepad For Samsung Gear VR. *Androidcentral* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.androidcentral.com/best-gamepads-samsung-gear-vr>
- [64] Samsung Explores the World of Mobile Virtual Reality with Gear VR. *Samsung Mobile Press* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.samsungmobilepress.com/press/Samsung-Explores-the-World-of-Mobile-Virtual-Reality-with-Gear-VR?2014-09-03>
- [65] Samsung Gear VR Review. *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/vr-headset-reviews/samsung-gear-vr-review/>
- [66] Headset Samsung Gear VR Lite (SM-R322): Virtuální realita pro fajnšmekry. *Světandroida* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://www.svetandroida.cz/samsung-gear-vr-lite-sm-r322-recenze-201601>
- [67] Introducing the Samsung Gear VR Innovator Edition. *Oculus* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://www3.oculus.com/en-us/blog/introducing-the-samsung-gear-vr-innovator-edition/>
- [68] Have Google Cardboard? Here are the best apps that work with it. *Gizmo Times* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://www.gizmotimes.com/apps/google-play/google-cardboard-best-apps/8766>
- [69] Google Cardboard: who it's for, where to buy, and first steps. *VR source* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://vrsource.com/is-google-cardboard-worth-buying-11/>
- [70] Google Cardboard. *Google VR* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://vr.google.com/cardboard/>
- [71] The 8 Best Virtual Reality Headsets to Buy in 2017. *Lifewire* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://www.lifewire.com/best-virtual-reality-headsets-4060322>
- [72] Google Cardboard. *Specout* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/11/Google-Cardboard>

## LITERATURA

- [73] Cardboard. *Google Play* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://play.google.com/store/apps/details?id=com.google.samples.apps.cardboarddemo&hl=en>
- [74] Google Cardboard review. *Cnet* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <https://www.cnet.com/products/google-cardboard/>
- [75] Google Cardboard review: The cornerstone of mobile VR. *Pocket Lint* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/review/136650-google-cardboard-review-the-cornerstone-of-mobile-vr> 75
- [76] Jump. *Google VR* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: [https://vr.google.com/intl/cs\\_cz/jump/](https://vr.google.com/intl/cs_cz/jump/)
- [77] Google has shipped 10 million Cardboard VR headsets since 2014. *Androidcentral* [online]. [cit. 2017-3-19]. Dostupné z: <http://www.androidcentral.com/google-has-shipped-10-million-cardboard-vr-headsets-2014> 77
- [78] Phones built for virtual reality. *Google VR* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://vr.google.com/daydream/phones/>
- [79] Everything you need to know about Google Daydream. *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/virtual-reality/google-daydream-news/>
- [80] Google Daydream View review. *Wearable* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/vr/google-daydream-view-review>
- [81] I Love The Google Daydream VR Controller. *Kotaku* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://kotaku.com/i-love-the-google-daydream-vr-controller-1791337215>
- [82] How I hacked Google Daydream controller. *Hackernoon* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://hackernoon.com/how-i-hacked-google-daydream-controller-c4619ef318e4>
- [83] Daydream View. *Google VR* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://vr.google.com/daydream/headset/>
- [84] Google Daydream View. *Specout* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/152/Google-Daydream-View>
- [85] Review: Google Daydream View. [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://www.wired.com/2016/11/daydream-view-review/>
- [86] This is Huawei's Daydream VR headset. *Pocket Lint* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/news/139926-this-is-huawei-s-daydream-vr-headset>
- [87] Hands-on: Huawei VR is the First Third-party Daydream Headset. *Road to VR* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.roadtovr.com/hands-huawei-vr-cross-daydream-view-gear-vr/>

- [88] Huawei VR Headset. *Specout* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/334/Huawei-VR-Headset>
- [89] Huawei is backing Google VR with a Daydream headset and Tango smartphone. *Techradar* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.techradar.com/news/huawei-is-backing-google-vr-with-a-daydream-headset-and-tango-smartphone>
- [90] Welcoming more devices to the Daydream-ready family. *Google Blog* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://www.blog.google/products/google-vr/welcoming-more-devices-daydream-ready-family/>
- [91] This is Huawei's Daydream VR headset. *Pocket Lint* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/news/139926-this-is-huawei-s-daydream-vr-headset>
- [92] Microsoft HoloLens. *Specout* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/6/Microsoft-HoloLens>
- [93] Microsoft HoloLens now available in the UK, if you've got almost £3,000 handy. *Pocket Lint* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.pocket-lint.com/news/139150-microsoft-hololens-now-available-in-the-uk-if-you-ve-got-almost-3-000-handy>
- [94] Microsoft HoloLens. *Microsoft* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/hololens>
- [95] What's Inside Microsoft's HoloLens And How It Works. *Tom's Hardware* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.tomshardware.com/news/microsoft-hololens-components-hpu-28nm,32546.html>
- [96] Microsoft HoloLens: Everything you need to know about the \$3,000 AR headset. *Wearable* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/microsoft/microsoft-hololens-everything-you-need-to-know-about-the-futuristic-ar-headset-735>
- [97] Microsoft reveals secret HoloLens processor specs. *The Verge* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.theverge.com/circuitbreaker/2016/8/23/12602516/microsoft-hololens-holographic-processing-unit-specifications>
- [98] Why HoloLens. *Microsoft* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/microsoft-hololens/en-us/why-hololens>
- [99] Capacitive eye tracking technology could be featured in Microsoft's HoloLens 2. *Phone Arena* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <http://www.phonearena.com/news/Capacitive-eye-tracking-technology-could-be-featured-in-Microsofts-HoloLens-2,d88908>
- [100] Microsoft patents capacitive eye tracking using the bulge in your eyeball. *MS Poweruser* [online]. [cit. 2017-3-27]. Dostupné z: <https://mspoweruser.com/microsoft-patents-capacitive-eye-tracking-using-the-bugle-in-your-eyeball/>

## LITERATURA

- [101] AR startup ODG raised \$58 million to build its smartglasses. *Business Insider* [online]. [cit. 2017-4-2]. Dostupné z: <http://www.businessinsider.com/ar-startup-osterhout-design-group-gets-58-million-in-series-a-2016-12>
- [102] ODG R7. *Motionwerx* [online]. [cit. 2017-4-2]. Dostupné z: <http://www.motionwerx.com/odg-r7/>
- [103] Company Overview of Osterhout Design Group, Inc. *Bloomberg* [online]. [cit. 2017-4-2]. Dostupné z: <http://www.bloomberg.com/research/stocks/private/snapshot.asp?privcapId=247561833>
- [104] ODG R8. *Specout* [online]. [cit. 2017-4-2]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/306/ODG-R-8>
- [105] ODG Announces Two New Smartglasses With Positional Tracking, Expanded Field of View. *Road to VR* [online]. [cit. 2017-4-2]. Dostupné z: <http://www.roadtovr.com/odg-announces-smart-glasses-r8-r9-ar-qualcomm-snapdragon-835/>
- [106] ODG R9. *Specout* [online]. [cit. 2017-4-4]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/301/ODG-R-9-Smartglasses>
- [107] ODG Debuts Two New AR Glasses Aimed At Consumer Market. *Upload VR* [online]. [cit. 2017-4-4]. Dostupné z: <https://uploadvr.com/ces-2017-odg-r9-r8/>
- [108] R7 Techsheet. *ODG* [online]. [cit. 2017-4-4]. Dostupné z: <http://osterhoutgroup.com/presskit/R-7-TechSheet.pdf>
- [109] Trying Vuzix Blade 3000, the smartglasses for work and play. *Wearable* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <https://www.wearable.com/smartglasses/vuzix-blade-3000-review>
- [110] Vuzix's Blade 3000 Augmented Reality Smart Glasses Are Google Glass Reborn. *Digital Trends* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <http://www.digitaltrends.com/mobile/vuzix-blade-3000-ces-2017/>
- [111] Vuzix Blade 3000. *Specout* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/303/Vuzix-Blade-3000>
- [112] Vuzix Blade 3000 Are Less Dorky AR Glasses. *Tom's Guide* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <http://www.tomsguide.com/us/vuzix-blade-3000-specs-price-availability,news-24189.html>
- [113] Blade 3000. *Vuzix* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <https://www.vuzix.com/Products/Blade-3000-Smart-Glasses>
- [114] AR3000 Series of Smart Glasses. *Vuzix* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <https://www.vuzix.com/products/series-3000-smart-glasses>
- [115] M3000 Smart Glasses. *Vuzix* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <https://www.vuzix.com/Products/m3000-smart-glasses>

- [116] Vuzix Unveils Award-Winning M3000 Smart Glasses at CES 2017. *Vuzix* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <http://ir.vuzix.com/press-releases/detail/1535/vuzix-unveils-award-winning-m3000-smart-glasses-at-ces-2017>
- [117] Vuzix M3000. *Specout* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/77/Vuzix-M3000-Smart-GlassesOverviews=1uutUH>
- [118] Vuzix M3000 Smart Glasses Makes A Splash This CES 2017. *Ubergizmo* [online]. [cit. 2017-4-6]. Dostupné z: <http://www.ubergizmo.com/2017/01/vuzix-m3000-smart-glasses-makes-a-splash-this-ces-2017/>
- [119] Meta's augmented reality glasses look ridiculous, but they're ridiculously comfortable. *The Verge* [online]. [cit. 2017-4-12]. Dostupné z: <http://www.theverge.com/ces/2017/1/6/14187780/meta-2-augmented-mixed-reality-headset-hands-on-ces-2017>
- [120] Metavision. *Metavision* [online]. [cit. 2017-4-12]. Dostupné z: <https://www.metavision.com/>
- [121] Meta 2. *Specout* [online]. [cit. 2017-4-12]. Dostupné z: <http://virtual-reality-headsets.specout.com/1/135/Meta-2>
- [122] What's the Difference Between HoloLens, Meta Magic Leap? *Next Reality* [online]. [cit. 2017-4-12]. Dostupné z: <https://mixed.reality.news/news/whats-difference-between-hololens-meta-magic-leap-0171361/>
- [123] The augmented reality headset wars have begun. *Mashable* [online]. [cit. 2017-4-12]. Dostupné z: <http://mashable.com/2017/03/11/meta-2-augmented-reality-headset/85ENkd2g9EqP>
- [124] Remember that amazing video of the whale leaping out the gym floor and splashing down? Yeah, it was BS. *The Register* [online]. [cit. 2017-4-18]. Dostupné z: [https://www.theregister.co.uk/2016/12/09/magic\\_leap\\_n\\_either\\_magic\\_n\\_or\\_leaping/](https://www.theregister.co.uk/2016/12/09/magic_leap_n_either_magic_n_or_leaping/)
- [125] Magic Leap is actually way behind, like we always suspected it was. *The Verge* [online]. [cit. 2017-4-18]. Dostupné z: <http://www.theverge.com/2016/12/8/13894000/magic-leap-ar-microsoft-holo-lens-way-behind>
- [126] Magic Leap files patent for it's revolutionary augmented reality device. *Upstream* [online]. [cit. 2017-4-18]. Dostupné z: <http://www.upstreamnews.org/blog/2015/01/21/magic-leap-files-patent-for-its-revolutionary-augmented-reality-device>
- [127] Inside Magic Leap, The Secretive \$4.5 Billion Startup Changing Computing Forever. *Forbes* [online]. [cit. 2017-4-18]. Dostupné z: <https://www.forbes.com/sites/davidewalt/2016/11/02/inside-magic-leap-the-secretive-4-5-billion-startup-changing-computing-forever/f4fb244223da>
- [128] *Unity* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://unity3d.com/>

## LITERATURA

- [129] *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/>
- [130] Oculus Mobile SDK. *Oculus Developers* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/downloads/package/oculus-mobile-sdk/>
- [131] Google VR for Android. *Google Developers* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://developers.google.com/vr/android/>
- [132] Google VR SDK for iOS. *Google Developers* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://developers.google.com/vr/ios/>
- [133] *Wikitude* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://www.wikitude.com/>
- [134] *ARToolkit* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://artoolkit.org/>
- [135] Library vs Framework vs Engine. *Gamefromscratch* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <http://www.gamefromscratch.com/post/2015/06/13/GameDev-Glossary-Library-Vs-Framework-Vs-Engine.aspx>
- [136] What is a Game Engine? *Game Career Guide* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: [http://www.gamecareerguide.com/features/529/what\\_is\\_a\\_game.php](http://www.gamecareerguide.com/features/529/what_is_a_game.php)
- [137] Game engines: What they are and how they work. *Eyal Kalderon* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://nullpwd.wordpress.com/2011/05/09/game-engines-what-they-are-and-how-they-work/>
- [138] Game Engines: How do they work?. *GiantBomb* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://www.giantbomb.com/profile/michaelenger/blog/game-engines-how-do-they-work/101529/>
- [139] This engine is dominating the gaming industry right now. *The Next Web* [online]. [cit. 2017-5-7]. Dostupné z: <https://thenextweb.com/gaming/2016/03/24/engine-dominating-gaming-industry-right-now/>
- [140] Multiplatform. *Unity* [online]. [cit. 2017-5-7]. Dostupné z: <https://unity3d.com/unity/multiplatform>
- [141] Unity Game Engine Review. *GameSparks* [online]. [cit. 2017-5-7]. Dostupné z: <https://www.gamesparks.com/blog/unity-game-engine-review/>
- [142] Unity for VR and AR. *Unity* [online]. [cit. 2017-5-7]. Dostupné z: <https://unity3d.com/unity/multiplatform/vr-ar>
- [143] Top VR Game Engines. *Filmora* [online]. [cit. 2017-5-7]. Dostupné z: <https://filmora.wondershare.com/virtual-reality/state-of-vr-games-the-game-engines-and-present-convention.html>
- [144] *Unity Store* [online]. [cit. 2017-5-5]. Dostupné z: <https://store.unity.com/>
- [145] Why Unity Will Power the Future of Virtual and Augmented Reality. *Presence Press* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://presencepress.presencepg.com/why-unity-will-power-the-future-of-virtual-and-augmented-reality-6e79960fbce4>

- [146] Diversify Your Work Build Apps for Both. *Metavision* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://blog.metavision.com/future-proof-yourself-develop-for-augmented-reality-and-virtual-reality>
- [147] Unity. *Unity* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://unity3d.com/unity>
- [148] *Unity Forum* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://forum.unity3d.com/>
- [149] *Unity Manual* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/UnityManual.html>
- [150] Public Relations. *Unity* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://unity3d.com/public-relations>
- [151] SDK. *Webopedia* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <http://www.webopedia.com/TERM/S/SDK.html>
- [152] EditorVR Experimental Build Available Today. *Unity Blog* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://blogs.unity3d.com/2016/12/15/editorvr-experimental-build-available-today/>
- [153] Future-proof Yourself: Develop for Augmented Reality and Virtual Reality. *Metavision* [online]. [cit. 2017-5-8]. Dostupné z: <https://blog.metavision.com/future-proof-yourself-develop-for-augmented-reality-and-virtual-reality>
- [154] VR. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/vr>
- [155] Custom Licensing. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/custom-licensing>
- [156] Unreal Engine End User License Agreement. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/eula>
- [157] Become Familiar with Blueprint Visual Scripting in Unreal Engine 4. *Pluralsight* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.pluralsight.com/blog/tutorials/become-familiar-blueprint-visual-scripting-unreal-engine-4>
- [158] Unreal Engine 4 vs. Unity: Which Game Engine Is Best for You?. *Pluralsight* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/unreal-engine-4-vs-unity-game-engine-best>
- [159] Blueprints Visual Scripting. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/latest/INT/Engine/Blueprints/>
- [160] Unreal Engine Marketplace. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/marketplace>
- [161] Unreal Engine Forum. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://forums.unrealengine.com/>

## LITERATURA

- [162] Unreal Engine 4 Documentation. *Unreal Engine* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/>
- [163] Unity, Source 2, Unreal Engine 4, or CryENGINE - Which Game Engine Should I Choose? *Pluralsight* [online]. [cit. 2017-5-10]. Dostupné z: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/unity-udk-cryengine-game-engine-choose> 163
- [164] 8 Best augmented reality SDK for AR development for iOS and Android in 2017. *Thinkmobiles* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <https://thinkmobiles.com/blog/best-ar-sdk-review/>
- [165] Top 5 Tools for Augmented Reality in Mobile Apps. *Developer Economics* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <https://www.developereconomics.com/top-5-tools-for-augmented-reality-in-mobile-apps>
- [166] Augmented Reality SDK. *Wikitude* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <http://www.wikitude.com/products/wikitude-sdk/>
- [167] Wikitude Studio. *Wikitude* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <https://www.wikitude.com/products/studio/>
- [168] Wikitude Store. *Wikitude* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <http://www.wikitude.com/store/>
- [169] ARToolKit Documentation. *ARToolKit* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <https://artoolkit.org/documentation/>
- [170] GNU lesser general public license. *GNU* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <https://www.gnu.org/licenses/lgpl-3.0.txt>
- [171] About ARToolKit's Licensing. *ARToolKit* [online]. [cit. 2017-5-17]. Dostupné z: <https://artoolkit.org/artoolkit-licensing>

# Seznam obrázků

3.1	HTC Vive s příslušenstvím [24]	5
3.2	Snímání pohybu [25]	6
3.3	Oculus Rift [24]	8
3.4	Oculus Touch [38]	9
3.5	PlayStation VR [42]	10
3.6	Ovladače pro PSVR [44]	11
3.7	Samsung Gear VR [58]	12
3.8	Google Cardboard [68]	14
3.9	Google Daydream View [85]	15
3.10	Huawei Daydream [86]	16
4.1	Microsoft HoloLens [94]	17
4.2	ODG R7 [102]	19
4.3	ODG R9 [105]	20
4.4	ODG R8 [105]	20
4.5	Vuzix Blade 3000 [114]	20
4.6	Vuzix M3000 [115]	21
4.7	Meta 2 [120]	22
4.8	Magic Leap promo [126]	24

# Seznam použitých zkratek

AR	Augmented reality - rozšířená realita
CPU	Central processing unit - centrální procesorová jednotka
FOV	Field of view - zorné pole
FPS	Frames per second - snímky za sekundu
GPU	Graphics processing unit - grafický procesor
HPU	Holographic processing unit - holografický procesor
IMU	Inertial measurement unit - inerciální měřicí jednotka
MR	Mixed reality - smíšená realita
SDK	Software development kit - sada vývojových nástrojů
VR	Virtual reality - virtuální realita