



**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**Fakulta elektrotechnická**

**Katedra počítačové grafiky a interakce**

**Více-uživatelské prostředí pro výuku ve virtuální realitě**

**Multi-user environment for teaching in VR**

diplomová práce

Studijní program: Otevřená informatika  
Studijní obor: Počítačová grafika

Vedoucí práce: Ing. David Sedláček, Ph.D.

**Marek Římal**

**Praha 2022**

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Římal** Jméno: **Marek** Osobní číslo: **465849**  
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**  
Zadávací katedra/ústav: **Katedra počítačové grafiky a interakce**  
Studijní program: **Otevřená informatika**  
Specializace: **Počítačová grafika**

## II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce:

**Více-uživatelské prostředí pro výuku ve virtuální realitě**

Název diplomové práce anglicky:

**Multi-user environment for teaching in VR**

Pokyny pro vypracování:

Navrhněte virtuálně realitní (VR) systém pro třídu žáků (předpokládejte až cca 30 uživatelů současně), kteří jsou spolu ve fyzickém prostoru a podobným způsobem sdílí i prostor virtuální. Žáci se ve fyzickém prostoru nepohybují, sedí na židličkách. Lektor se může pohybovat ve vymezeném fyzickém prostoru. Navrhněte postup pro definici virtuálního prostoru tak, aby nemusel být použit globální sledovací systém, ale každé VR zařízení se bude orientovat v prostoru nezávisle na ostatních pomocí svých interních senzorů, přesto by měly být ve virtuálním prostoru vidět přibližné pozice žáků dle fyzického uspořádání. Předpokládejte využití tzv. standalone VR technologie, např. Oculus Quest/Quest 2.

Navržený systém implementujte a demonstруйте na výukové aplikaci 'virtuální planetárium', kterou specifikujete ve spolupráci s vedoucím práce. Pro tuto aplikaci navrhněte a implementujte vhodné interakční techniky pro prezentátora.

Implementovaný systém otestujte s počtem uživatelů dle dostupnosti vhodného VR vybavení, minimálně se třemi uživateli (prezentátor a 3 žáci). Navrhněte způsob provedení výkonnostních testů s předpokladem připojení všech 30ti "uživatelů", bez nutnosti fyzických 30ti VR zařízení.

Implementovanou výukovou aplikaci otestujte z pohledu interakčních technik s alespoň 3-mi prezentátory a počtem posluchačů dle dostupného VR zařízení.

VR zařízení bude zajištěno vedoucím práce.

Seznam doporučené literatury:

- 1] Jason Jerald. 2015. The VR Book: Human-Centered Design for Virtual Reality. Association for Computing Machinery and Morgan & Claypool, New York, NY, USA.
- 2] Steven M. LaValle - Virtual Reality, Cambridge University Press 2016

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) diplomové práce:

**Ing. David Sedláček, Ph.D., katedra počítačové grafiky a interakce FEL**

Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) diplomové práce:

Datum zadání diplomové práce: **17.09.2021**

Termín odevzdání diplomové práce: **04.01.2022**

Platnost zadání diplomové práce: **19.02.2023**

Ing. David Sedláček, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) práce

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

prof. Mgr. Petr Páta, Ph.D.  
podpis děkana(ky)

# Prohlášení

„Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně a že jsem uvedl veškeré použité informační zdroje v souladu s Metodickým pokynem o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.“

**V Praze dne 3. 1. 2022**

Podpis autora práce .....

# Poděkování

Děkuji panu Ing. Davidovi Sedláčkovi, Ph.D. za ochotu a pomoc při vedení mé diplomové práce a za doporučení kvalitní literatury. Děkuji také své rodině a Anně Bezouškové za podporu během studia.

# Abstrakt

Tato práce se zabývá možnostmi využití virtuální reality ve školním vyučování. Zkoumaná je zejména možnost víceuživatelského systému, ve kterém žáci společně s lektorem sdílí fyzický prostor a podobným způsobem sdílí i prostor virtuální. Žáci se ve fyzickém prostoru nepohybují, sedí na židličkách. Lektor se může pohybovat ve vymezeném fyzickém prostoru. Ve třídě není použito globální sledování, ale každé zařízení se orientuje v prostoru nezávisle na ostatních pomocí svých interních senzorů. Součástí této práce je také analýza, následný návrh a implementace vhodných interakčních technik pro lektora. Vycházeno je zejména z Normanových principů interakčního designu.

Výsledkem práce je víceuživatelská aplikace pro virtuální realitu, kterou by bylo možné použít pro vyučování ve škole. Implementovaná aplikace je dále podrobena testování jak z pohledu lektora, tak z pohledu posluchačů. Testována je i správnost vzájemného uspořádání uživatelů ve virtuálním světě na základě jejich uspořádání ve světě fyzickém.

**Klíčová slova:** Virtuální realita, VR, Víceuživatelská virtuální realita, Výuka ve virtuální realitě, Interakční vzory, Interakční techniky, Oculus Quest

# Abstract

This work focuses on the possibilities of using virtual reality for teaching in schools. In particular, it explores the possibility of a multi-user system, in which students and a lecturer share the same physical space and also the virtual space in a similar way. Students do not move in the physical space, they sit on chairs. The lecturer can move freely in a defined physical space. There is not any global tracking used and each device orients itself in space independently of the others using only its internal sensors. Part of this work also focused on the analysis, design, and implementation of appropriate interaction techniques for the lecturer. Interaction techniques are based mainly on Norman's principles of interaction design.

The result of this thesis is a multi-user application for virtual reality suitable for use in school. The implemented application is further subjected to testing both from the lecturer's point of view and from the student's point of view. The correctness of the mutual arrangement of users in the virtual world based on their arrangement in the physical world is also tested.

**Keywords:** Virtual reality, VR, Multi-user virtual reality, Teaching in virtual reality, Interaction patterns, Interaction techniques, Oculus Quest

# Obsah

<b>1 Úvod a motivace</b>	<b>1</b>
<b>2 Analýza</b>	<b>2</b>
2.1 Vliv VR na schopnost učit se	2
2.1.1 Integrace aplikace do škol	3
2.2 Lokalizace	4
2.2.1 Terminologie	4
2.2.2 Zarovnání virtuálního a fyzického světa	5
2.2.3 Optický tracking	6
2.3 Analýza interakčních technik	7
2.3.1 Normanovi principy interakčního designu	7
2.3.2 Přímá a nepřímá interakce	9
2.3.3 Interakční vzory a interakční techniky	9
2.3.4 Specifikace od Jana Spratka	11
2.4 Uživatelské rozhraní	13
2.5 Rešerše podobných aplikací	17
2.5.1 Víceuživatelské VR aplikace	17
2.5.2 VR aplikace o vesmíru	18
<b>3 Návrh řešení</b>	<b>19</b>
3.1 Zvolená technologie	19
3.1.1 VR headset	19
3.1.2 Herní engine	19
3.1.3 Síťování	20
3.2 Návrh víceuživatelského systému	22
3.2.1 Kalibrace zařízení ve stejné pozici	22
3.2.2 Sdílení kalibračního souboru	22
3.2.3 Využití omezení pohybu	23
3.2.4 Opakovaná výuka	23
3.2.5 Teleportace	24
3.3 Výkonnostní testování	25
3.4 Návrh interakčních technik	26
3.4.1 Translace a rotace těles	26
3.4.2 Uživatelské rozhraní	27
3.4.3 Změna měřítka	27
3.4.4 Specifické operace	28
3.4.5 Pohyb	28

<b>4 Implementace</b> .....	<b>29</b>
4.1 Mapování.....	29
4.2 Implementace víceuživatelského systému.....	31
4.3 Implementace interakčních technik .....	32
4.4 Implementace planetária .....	35
<b>5 Testování</b> .....	<b>38</b>
5.1 Testování s prezentátorem.....	38
5.1.1 Zhodnocení .....	40
5.2 Testování s posluchači .....	41
5.2.1 Analýza výsledků .....	41
5.2.2 Co se líbilo a co se nelíbilo .....	45
5.2.3 Zhodnocení .....	45
5.3 Testování víceuživatelské lokalizace .....	46
<b>6 Shrnutí</b> .....	<b>47</b>
<b>7 Závěr</b> .....	<b>48</b>
<b>8 Do budoucna</b> .....	<b>49</b>
8.1 Víceuživatelský systém .....	49
8.2 Výuka o vesmíru.....	50
8.3 Interakční techniky.....	50
<b>Zdroje</b> .....	<b>52</b>
<b>Příloha A: Dotazník</b> .....	<b>54</b>
<b>Příloha B: Sestavení a spuštění aplikace</b> .....	<b>59</b>

# 1 Úvod a motivace

Je to již dávno, co v roce 1774 položila Marie Terezie základy školní docházky. Do té doby byla možnost vzdělávat se luxusem bohatých. Tehdy se do školy tolik nechodilo. Učilo se hlavně přes zimu, protože jindy musely děti pomáhat na poli. Dnes je škola od denního života dětí takřka neodmyslitelná. Ročně čeští školáci stráví ve škole téměř 200 dní [7]. Problémem již dávno není dostupnost škol nebo finanční prostředky, tedy alespoň ve vyspělých zemích. Dnešní školství čelí nezájmu dětí se učit. Učitelé se často marně snaží vymyslet inovativní způsob, jak své hodiny udělat pro žáky atraktivní, ale žáky to často nebaví. Není se vlastně ani tak čemu divit. Děti dnes nedřou od rána do večera na poli. Místo toho mají spoustu volného času, který mohou strávit na hřišti nebo hraním videoher. Tomu se pro ně sezení v lavici a poslouchání výkladu může jen těžce rovnat. Svět kolem se velice změnil, ale školství se teprve pomalu začíná přizpůsobovat. Technologie dnes pro děti představuje zejména distrakce, ale je to právě technologie, která by dle mého názoru mohla děti opět přimět se se zájmem učit.

Nejedná se pouze o to, aby děti rády chodily do školy. Zažít je více než slyšet, číst či vidět. Prožité zážitky v nás utkví mnohem déle a silněji než slova z učebnice. Děti ale nemohou odletět s učitelem fyziky na Měsíc a během 45 minut se vrátit zpět do lavic. Alespoň zatím takovou technologii nemáme. Máme však technologii, která dětem může umožnit tento výlet absolvovat virtuálně. Možnosti virtuální reality se v poslední době rapidně rozšiřují. Headsety již nejsou velké krabice ohromným kabelem připojené k počítači. Například headsety série Oculus Quest váží zhruba půl kilogramu a žádné kabely nepotřebuje. Stačí tedy pouze vybrat tu správnou aplikaci, rozdat ve třídě headsety a výuka může začít.

V rámci této práce prozkoumám vliv virtuální reality na schopnost učit se. Zjistím tak, zda má smysl zabývat se vývojem virtuálně realitní aplikace pro výuku. Pokud ano, zamyslím se nad tím, jak by se tato technologie mohla integrovat do dnešní výuky. Výstupem této práce bude virtuálně realitní aplikace, kterou bude možné využít v běžné školní výuce. Vývoj této aplikace budu stavět na analýze interakčních technik pro virtuální realitu, která bude rovněž součástí této práce.



## 2 Analýza

Během analytické části této práce se pokusím zamyslet nad tím, jak vytvořit kvalitní výukovou aplikaci. Kvalitní jak po stránce vzdělávací, tak i satisfakce uživatele. V první části této kapitoly rozeberu, zda je virtuální realita vůbec vhodná pro výuku. Pokud ano, pokusím se zamyslet nad tím, jak by se taková aplikace mohla ve výuce využívat.

Druhá část této části se bude věnovat interakčním technikám. Budu věnovat pozornost zejména tomu, jak navrhnout aplikaci po interakční stránce. Aplikace by měla být jednoduchá na ovládání, však stále poskytovat všechny potřebné možnosti interakce.

### 2.1 Vliv VR na schopnost učit se

První otázkou, kterou bychom si měli položit, je otázka, zda má vůbec smysl vytvářet výukovou aplikaci ve VR. V čem je výuka za pomoci VR efektivnější než tradiční vyučovací metody.

Při psaní této kapitoly jsem vycházel zejména ze zdroje [8].

Jednou z největších výhod VR oproti tradičním metodám vyučování je míra zahrnutí studenta do probírané látky. Díky VR student získává možnost zažívat situace, které lze tradičními metodami jen velmi těžko popsat. Od studenta se často očekává, aby se vcítil do role, ve které se v životě neocítil, nebo aby si představil těžko představitelné koncepty. Z pouhého vyprávění si student stěží vytvoří věrohodnou představu o tom, jak to vypadalo zde na Zemi před tisíci let, či jak to vypadá jinde ve vesmíru tisíce kilometrů daleko.

Těžko představitelné koncepty se často vyučují pomocí metafor či analogie. Využitím analogie popisujeme koncept pomocí pojmů ze světa kolem nás. Věci kolem nás známe a nové koncepty si tak dokážeme spojit s vlastní zkušeností. Z našich zkušeností si tvoříme takzvaný mentální model nového konceptu, a tím si rozšiřujeme své vědomosti. O mentálním modelu budu psát více později v této kapitole.

Člověk se učí na základě smyslové interakce se světem kolem nás. VR nám ve své podstatě replikuje fyzický svět kolem do virtuální podoby. Virtuální svět se pak snaží vhodně reagovat na naše akce, čímž nám poskytuje možnost interakce. Replikací světa do virtuální podoby získáváme možnost si svět upravit podle svých představ. Můžeme se zbavit fyzikálních zábran a zažívat věci, které si lze jinak pouze představovat. Obecně by se dalo říct, že cílem VR je vytvořit virtuální svět, ve kterém by se uživatel mohl chovat stejně jako v reálném, aniž by poznal rozdíl

Ve vztahu k výuce bych zmínil tři povahy VR.

**Imerse** znamená být obklopen svým prostředím, být do něj vtažen. Důvod, proč je imerse důležitá je ten, že se pak člověk cítí být opravdu přítomný ve světě kolem.

**Interakce** ve VR znamená odezvu virtuálního světa na naše pohyby. Pomocí interakce jsme schopni měnit simulovanou realitu kolem nás. Interakce je důležitá, protože dovoluje člověku testovat své hypotézy. Navíc to, že člověk vidí, že jeho činy mají nějakou odezvu, zvyšuje míru jeho imerse.

**Více-smyslová odezva** znamená přijímání informací pomocí více smyslů najednou. To dělá zážitky více uvěřitelné, zábavné a opět zvyšuje míru imerse.

Povaha VR je v souladu s takzvaným konstruktivistickým přístupem k učení. Tento přístup říká, že si člověk tvoří vědomosti na základě zkušeností ze svých prožitků.

**Mentální model** je naše zjednodušené vysvětlení neboli model toho, jak věci kolem nás fungují. Mentální model by šlo metaforicky přirovnat k mapě nějakého území. Mapa je zjednodušení reálného světa, není světem samotným. Mapa bude vždy zkrácená, jelikož se jedná o zjednodušení. Stejně tak si my vytváříme zkrácený mentální model světa v naší hlavě. Hodnota mapy spočívá v tom, co jsme z ní schopni vyčíst.

Hlavním účelem mentálního modelu je predikce. Užitečný model nám slouží jako vodičko, na základě kterého lze predikovat, jak se budou věci chovat a jak s nimi máme interagovat pro dosažení svých cílů. Takový model nemusí být kompletní ani přesný. Důležité je, aby byl užitečný. Ideálně by měl být co možná nejjednodušší, ale ne zlehčující. Zlehčující model vytváří iluze a může nás dostat do nesnází. Když nastane neočekávaná situace, je dobrý mentální model základem. Vývojáři VR by se měli snažit uživateli tvorbu mentálního modelu usnadnit. O tom, jak to provést, budu více psát v analýze interakčních technik.

### 2.1.1 Integrace aplikace do škol

Rád bych se držel své motivace cílit aplikaci na výuku ve školách. Škola je centrum vzdělání. Je to podle mého dobrý způsob, jak dostat tuto technologii i k těm, kteří si ji dovolit nemohou. Dále jsem přesvědčen, že je důležité seznamovat děti se současnou technologií již v raném věku.

Naskytují se tedy dvě cesty, kudy se s tvorbou výukové aplikace vydat. Buďto může mít každý student k dispozici potřebná VR zařízení a plnil úkoly samostatně. Tím mám na mysli to, že by každý student měl vlastní kopii virtuálního světa, ve kterém by plnil zadaný úkol. Druhá možnost je vytvořit virtuální svět, ve kterém by mohli být všichni studenti i učitel přítomni současně. Studenti by měli nasazené VR brýle a pozorovali by učitele (jeho avatara ve virtuálním světě), jak jim přednáší látku pomocí implementovaných technik ve VR.

Největší výhoda první varianty je, že každý student může sám interagovat s vlastním virtuálním světem. Nevýhodou je, že učitel nebude mít plnou kontrolu nad tím, co jeho žáci dělají. Navíc mohou nastávat situace, kdy si student neví rady s ovládním aplikace, tedy učitel mu bude muset napomáhat. Ve chvíli, kdy takových studentů bude více, učitel nebude stíhat všem pomoci. Zařízení nejsou vždy plně spolehlivá a vyšší počet zařízení znamená větší riziko technických potíží.

Druhá varianta sice studentům neposkytne možnost interakce se světem, však učitelé poskytnou absolutní kontrolu nad probíhající hodinou. Koncept výuky se nijak nezmění. Třída sedí pohromadě, učitel přednáší a žáci ho poslouchají, popřípadě pokládají otázky. Myslím si, že takováto aplikace by mohla být mnohem jednodušší pro integraci do současné výuky.

Na základě výše položených argumentů jsem se rozhodl jít druhou cestou a vytvořit více-uživatelské výukové virtuální prostředí. Bohužel přicházíme o benefity interakce s virtuálním světem. Stále nám však zůstává imerse a více-smyslová odezva, tedy zrak a zvuk.

Šlo by podotknout, že takováto aplikace ve své podstatě není omezena na výuku ve školách. Takovýto typ aplikace bude možné využít pro libovolné prezentační potřeby.

## 2.2 Lokalizace

Z minulé kapitoly vyplynulo, že budu vytvářet víceuživatelskou VR aplikaci. Tato aplikace se bude od většiny víceuživatelských aplikací lišit tím, že se jednotliví uživatelé budou připojovat do virtuálního světa ze sdíleného fyzického prostoru. Obecně víceuživatelské aplikace fungují tak, že máme virtuální svět, který má nějakou vlastní podobu určenou designerem aplikace. Tato podoba je většinou nezávislá na fyzickém světě, ve kterém žijeme. Do tohoto virtuálního světa se uživatelé připojují z různých fyzických lokalit. Uživatel ve fyzickém světě specifikuje prostor vyhrazený pro volný pohyb, který je následně mapovaný do světa virtuálního. V tomto prostoru se uživatel může volně pohybovat a jeho avatar se podobně pohybuje v mapovaném virtuálním prostoru. Pokud se uživatel ve virtuálním světě někam teleportuje, pak se fyzický prostor kolem uživatele znovu namapuje na prostor kolem nové pozice uživatele. Jelikož však uživatelé sdílí stejný fyzický prostor, řešení, které budu navrhovat, musí brát v potaz i to, jaký je vztah mezi světem virtuálním a fyzickým. V jádru této problematiky leží problematika lokalizace. Než se tedy pustím dále, vysvětlím základní terminologii související s lokalizací.

### 2.2.1 Terminologie

**Tracking** je termín používaný k popisu dynamického chování systému vzhledem ke svému okolí. [2] Tracking vlastně znamená identifikace polohy zařízení v průběhu času. [11] Pro zjednodušení čtení budu termín v rámci této práce skloňovat podle pravidel českého pravopisu.

**Kalibrace** je proces srovnávání hodnot naměřených na dvou různých zařízeních. Jedno zařízení je referenční a druhé se má tzv. zkalibrovat. Zařízení referenční lze nahradit známými referenčními hodnotami nebo v kontextu geometrického měření známým souřadným systémem. Cílem kalibrace je určit parametry pro správné fungování kalibrovaného zařízení. Zatímco tracking znamená provádět výpočty průběžně v čase, kalibrace se většinou provádí jen jednou za čas. [2]

**Lokalizace** je jednoduše určení polohy objektu v prostoru. V kontextu této práce jsou tímto objektem zejména brýle pro virtuální realitu, které má uživatel na hlavě. Pro správné lokalizování zařízení je nutné, aby jeho souřadný systém odpovídal skutečnému souřadnému systému fyzického světa. Zarovnání těchto dvou souřadných systémů se říká **registrace**. Tedy pokud řekneme, že zařízení je registrované s fyzickým světem, znamená to, že souřadný systém zařízení je zarovnaný se souřadným systémem fyzického světa. Statická registrace znamená zarovnání těchto souřadných systémů v momentě, kdy se zařízení nehýbe. To se provede kalibrací tohoto zařízení. Dynamická registrace je průběžné zarovnávání těchto souřadných systémů během pohybu zařízení. To se provádí pomocí trackingu. [2]

Možná nejdůležitější součástí zařízení pro správně fungující tracking je jednotka **IMU**. Vývoj IMU jednotek z velkých mechanických systémů k levným mikroskopickým zařízením bylo jedním z nejdůležitějších kroků k vysoce přesnému trackingu. Touto jednotkou je vybavena většina zařízení podporujících tracking. IMU je elektronické zařízení obsahující akcelerometr, gyroskop a často i magnetometr. Jedná se o zařízení, které je velice rychlé a přesné. Je vestavěno do zařízení a poskytuje tak měření ihned.

IMU se typicky skládá ze tří základních součástí. **Gyroskop** je zařízení pro výpočet úhlové rychlosti, **akcelerometr** měří zrychlení a **magnetometr** měří magnetickou sílu. Každé z těchto zařízení poskytuje hodnoty ve třech ortogonálních osách. [4]

Ačkoli je IMU jednotka schopná vysoce přesného sledování orientace zařízení ve 3D prostoru, při sledování pozice si nevede příliš dobře. Samotné IMU ani nerozpozná konstantní pohyb od žádného, neboť akcelerometr měří pouze zrychlení. Pro 6DOF tracking je tedy nutné IMU jednotku podpořit trackingem pomocí jiného sensoru. IMU však stále zůstává důležitou součástí 6DOF trackingu. [2]

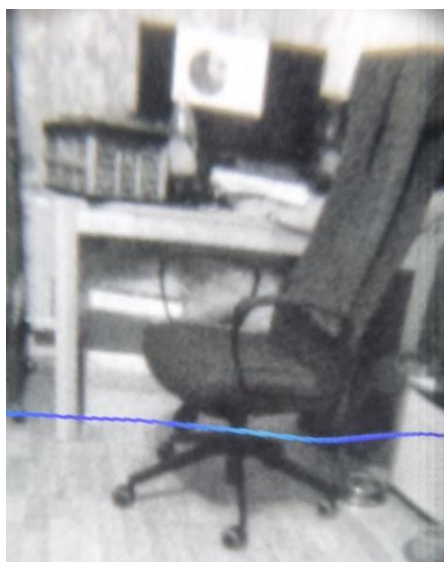
IMU lze podpořit trackingem pomocí vizuálních sensorů. Tracking tedy podpořím daty získaných pomocí z hloubkových kamer. Právě tracking pomocí vizuálních sensorů (optický tracking) bude tématem zbytku této kapitoly.

### 2.2.2 Zarovnání virtuálního a fyzického světa

To, že se uživatel pohybuje najednou ve fyzickém i virtuálním světě, přináší svá úskalí. Musíme brát v potaz zarovnání virtuálního a reálného světa. Dostáváme tak následující tři možnosti. [4]

#### **Pouze reálné objekty**

Tento případ nastává, pokud nějaký fyzický objekt není reprezentován ve virtuálním světě. Uživatel, který má na sobě brýle a vidí tak pouze svět virtuální, nemá o tomto objektu tušení a hrozí jeho kolize s daným objektem. Může se jednat například o skleničku s vodou, kterou by uživatel mohl svrhnout nebo třeba zeď, do které by uživatel mohl narazit. Z tohoto důvodu většina VR headsetů podporuje tvorbu bezpečné zóny. To je prostor, který si uživatel sám specifikuje, a ve kterém se může volně pohybovat, aniž by hrozila jeho kolize s nějakým fyzickým objektem. Ve chvíli, kdy se uživatel přiblíží k okraji tohoto prostoru, zobrazí se mu ve virtuálním světě mříž, která indikuje, že se uživatel chystá tuto zónu opustit. Například headsety série Oculus Quest při opuštění tohoto prostoru přestávají uživateli vykreslovat virtuální svět. Namísto toho uživateli zobrazují obraz z předních kamer, jak je vidět na obrázku 1.



*Obr. 1 Obraz předních kamer zařízení Oculus Quest. Obrázek získán ze zdroje [18].*

#### **Pouze virtuální objekty**

Tento případ nastává, pokud je objekt přítomen pouze ve virtuálním světě. Není nebezpečný, ale může v uživateli vyvolat nevolnost. Uživatel se totiž může například dostat hlavou do zdi. Řešením tohoto problému může být zastavení bodu pohledu uživatele ve chvíli, kdy chce daným virtuálním objektem projít. To však přináší nesoulad mezi jeho virtuálním bodem pohledu a fyzickým bodem pohledu, což opět může způsobovat nevolnost.

#### **Reálné i virtuální objekty**

Tento případ nastává ve chvíli, kdy jsou fyzické objekty reprezentovány i ve virtuálním světě. Pokud tyto objekty jsou umístěny na stejném místě v obou světech a tyto světy jsou správně zarovnané, pak je tento efekt velmi imersivní. Do virtuálního světa se nám tak podařilo vpravit hmat, což zvyšuje míru imerze, viz více-smyslová odezva v kapitole Vliv VR na schopnost učit se.

K tomuto dělení bych ještě rád dodal, že fyzické objekty mohou být ve virtuálním světě reprezentovány nepřesně. Pak by se dalo říct, že se nám tyto objekty rozdělí na pouze fyzické a pouze virtuální. Řekl bych, že tato možnost je vůbec možná nejnebezpečnější, jelikož uživatel počítá s tím, že dané fyzické objekty jsou na jiném místě, než doopravdy jsou.

### 2.2.3 Optický tracking

Optický tracking je založen pouze na datech získaných z optických sensorů. Dnes je jedním z nejdůležitějších principů pro virtuální a rozšířenou realitu. [2] Dokonce i levné malé kamery poskytují velmi bohatá data. Produkuje miliony nezávislých pixelů pořízených najednou, které lze analyzovat pomocí technik počítačového vidění.

Základním principem optického trackingu je rozpoznávání význačných bodů v okolí. Význačné body se vyznačují tím, že jsou na snímcích pořizovaných kamerou jednoduše rozpoznatelné a rozlišitelné od ostatních bodů ve svém okolí, viz obr. 3. Takovéto body jsou význačné zejména pro kameru. Pro člověka většinou význam nemají. Často se jedná například o rohy objektů nebo změny v texturách. Dále se od význačných bodů také očekává vlastnost jejich opakovaného rozpoznání z více různých úhlů. [2]



*Obr. 2 Detekce význačných bodů na snímku. Obrázek získán ze zdroje [14]*

Význačným bodům se přiřazují tzv. deskriptory. To jsou datové struktury popisující význačný bod jako vektor. Jsou invariantní k rotacím a změně měřítka. Visuálně podobné význačné body mají podobný deskriptor. Tím myslím to, že euklidovská vzdálenost těchto dvou vektorů bude blízká nule. Deskriptory jsou důležité při vyhledávání stejných význačných bodů na různých snímcích. Snímky se profiltrují filtrem, který pro daný snímek vrátí seznam význačných bodů. Tyto body se pak na základě jejich deskriptorů vzájemně párují. [11]

## 2.3 Analýza interakčních technik

Dříve než přejdu k samotným interakčním technikám, rád bych poznamenal, pro koho vlastně tyto techniky budu navrhovat. V této kapitole se zmiňuji o konceptu komunikace mezi technologií a uživatelem. Uživatelem je v tomto případě myšlený zejména přednášející, tedy osoba, která bude aplikaci ovládat. Mým úkolem je skrze aplikaci správně komunikovat navržené techniky jemu. Jeho úkolem pak je skrze tyto techniky komunikovat obsah posluchačům. Tedy například já skrze aplikaci prezentuji přednášejícímu, že planeta, kterou má nyní vybranou, mu po stisknutí tlačítka přiletí do ruky. On prezentuje posluchačům, že si právě vybírá planetu Mars.

Při psaní této kapitoly jsem vycházel zejména ze zdroje [1].

Když navrhujeme virtuální svět, je třeba myslet na to, jaké všechny možnosti uživateli poskytnout. Šlo by tak mluvit o nějakém souboru funkcí, které uživateli vystavíme k tomu, aby interagoval s virtuálním světem. Nelze však pouze přemýšlet o tom, jaké všechny funkce to budou. Je velmi důležitý také způsob, jakým uživateli tyto funkce budeme prezentovat a jak je uživatel bude používat. O této problematice by šlo přemýšlet jako o komunikaci člověka s technologií.

Při tvorbě virtuálního světa se design soustředí zejména na lidskou část této komunikace. Mluvíme tak o designu zaměřeném na člověka<sup>1</sup>. Na komunikaci mezi člověkem a technologií koukáme právě ze strany uživatele. Takováto interakce by měla v uživateli podporovat porozumění toho, co se stalo, co se právě děje, jaké má možnosti a jak je provést. Při nejlepším by se uživatel při interakci se světem měl navíc cítit uspokojen.

Jedním z nejdůležitějších faktorů takového designu je intuitivnost. Interakční techniky by pro uživatele měly být, co možná nejintuitivnější. Minulou kapitolu jsem popsal, co jsou to mentální modely. Také, že takovéto modely by měly být, co možná nejjednodušší, však zároveň ne zjednodušující. Uživatel by neměl mít potřebu znát algoritmy, které se za interakci skrývají. Měl by znát pouze potřebné vysoko-úrovňové vztahy mezi objekty ve světě, vstupy a výstupy. Abychom uživateli napomohli k intuitivní interakci s virtuálním světem, můžeme se držet jistých konceptů, které dopomáhají uživateli ke tvorbě mentálního modelu.

Interakce lze navrhovat podle konceptu takzvaných interakčních metafor. Interakční techniky se snažíme udělat podobné technikám, které uživatel již zná z jiné domény. Tím velmi napomůžeme uživateli, aby si rychle vytvořil mentální model nové interakce. Například necháme uživatele ve virtuálním světě zatloukat hřebík mácháním ruky, zatímco drží kladivo.

Intuitivnost je velmi důležitá i z důvodu toho, že se uživatel ve virtuálním světě nachází zcela sám. Tedy bez ostatních lidí, kteří by mu mohli pomoci. Interakční techniky by měly být navrženy tak, aby je uživatel pochopil, aniž by se musel spoléhat na jakékoliv externí zdroje.

### 2.3.1 Normanovi principy interakčního designu

Uživatel vstupující do virtuálního světa se s novým světem musí seznámit, a následně s ním být schopen efektivně interagovat. Abychom uživateli tento proces usnadnili, můžeme se držet jistých principů, které definoval Don Norman. Těmito principy jsou afordance, signifikátory, omezení, odezva, mapování a kompilance<sup>2</sup>. Kdybych se pokusil o lepší překlad, zkusil bych nabídky, indikátory, omezení, odezva, mapování a souznění. Jelikož se jedná o termíny definované Normanem, zůstanu u minimálního překladu.

---

<sup>1</sup> Anglicky *human-centered design*

<sup>2</sup> Anglicky *affordance, signifiers, constraints, feedback, mapping, compliance*.

**Afordance** je vztah mezi schopnostmi uživatele a vlastnostmi věcí. Myšlenka je taková, že věci nabízejí uživateli možnosti. Například pokud se chceme posadit, pak nám židle v naší blízkosti nabízí možnost se na ni posadit. Stůl nám může nabízet možnost si na něj položit papír. Pokud by však v místnosti nebyly žádné židle, pak bychom možná využili možnosti posadit se na stůl. Věc může také poskytovat různé možnosti různým uživatelům. Například možnost odemknout dveře bude poskytnuta pouze někomu, kdo od dveří vlastní klíč.

Správný návrh interakcí se zaměřuje na vytváření těch správných afordancí, aby požadované cíle mohli být splněny pomocí používané technologie (namíření ovladačem na objekt a stisknutí tlačítka) a těmi správnými uživateli, respektive jejich stavem (uživatel, který vlastní klíč může provést otevření dveří).

**Signifikátory** jsou jakékoliv vnímatelné indikátory, které uživateli komunikují, jak má daná věc být používána nebo k čemu. Správný signifikátor by měl informovat uživatele o tom, jaké mu daná věc nabízí možnosti dříve, než s ní začne interagovat.

Signifikátory se nemusejí vztahovat pouze k určitým objektům. Mohou také informovat o stavu, ve kterém se uživatel nachází a do jakého stavu se může přesunout.

Interakčními **omezeními** se myslí omezení akcí a chování. Lze mluvit o logických, sémantických či kulturních omezeních. Správné použití omezení vede ke snížení počtu možných akcí, což dělá interakční design méně komplexní a zároveň umožňuje lepší přesnost jednotlivých interakčních technik. Menší počet akcí vede i k menšímu počtu interpretací uživatelem, což snižuje jeho kognitivní námahu.

Příkladem mohou být takzvané stupně volnosti objektu (DoF<sup>3</sup>), což znamená počet nezávislých parametrů, které jsou potřeba k přesnému popisu stavu zařízení. Například pro určení pozice zařízení v prostoru potřebujeme tři parametry, proto se jedná o takzvané 3DoF zařízení. Omezením může být například translace po povrchu, kde se omezíme pouze na dvě dimenze místo tří, což nám ulehčuje pohyb v prostoru, protože například nemůžeme proletět podlahou.

Omezením lze také přidat na realističnosti. Například nedovolíme, aby model uživateli ruky prošel skrz zeď, i když jeho ovladač je ve fyzickém světě již za zdí. V souvislosti s mentálními modely by se ideálně omezení neměla příliš měnit v rozsahu virtuálního světa, jelikož to může vést ke zmatení uživatele.

Interakční omezení by měla být komunikována skrze signifikátory. Bez správné komunikace toho, co uživatel může a nemůže, ho nepřímou omezujeme v jeho akcích, z důvodu jeho nevědomosti.

**Mapování** je vztah mezi ovládacím prvkem a jeho akcí vyvolanou ve virtuálním světě. Tyto vztahy si uživatel snáze osvojí, pokud toto mapování uděláme co možná nejvíce zřejmé. Například bude mnohem zřejmější, pokud budeme pistolí střílet stisknutím ukazováčku než stisknutím palce. Opět bychom při návrhu mapování měli myslet na mentální modely, jež člověk má již vytvořené.

Důležitým faktorem jsou také technické možnosti zařízení. Rozpoznávání gest rukou je vhodné pro interakční techniky, jako je selekce. Pro jízdu autem rozpoznávání rukou nebude zdaleka tak přesné, jako by bylo sledování otočení umělého volantu.

**Kompilance** je souznění našeho sensorického vnímání se vstupním zařízením v čase a prostoru. Jinými slovy, jestli to, co zažíváme, odpovídá tomu, co právě konáme pomocí vstupního zařízení. To vede k takzvanému sensorickému propojení. Udržováním kompilance zvyšujeme uživatelův výkon a uspokojení.

---

<sup>3</sup> Zkratka z anglického *degrees of freedom*

Prostorovou kompilanci můžeme dělit na poziční, směrovou a nulovou. Prostorová kompilance znamená souznění naší pozice s pozicí ovládaného objektu. Například pokud se model virtuálních rukou vykresluje na stejném místě jako uživateli ruce, pak se jedná o kompilanci pozice. Směrová kompilance je z těchto tří nejdůležitější. Jedná se o souznění směru vstupního zařízení a ovládaného objektu. Můžeme si představit například kurzor myši na počítačové obrazovce. Pozice myši a kurzoru se liší, ale přitom nám jeho ovládání přijde velmi intuitivní. Při pohybu myši po stole dopředu se kurzor myši na obrazovce pohybuje směrem nahoru. Takto nám ovládání myši přijde velmi intuitivní a snadné, ale kdybychom si myše otočili o 90 stupňů, již to tak snadné nebude. Nulová kompilance znamená, že se vstupní zařízení vrátí do jeho původní pozice, tak i ovládaný předmět vrátí do původní pozice. Toto je možné posuzovat pouze u zařízení absolutních, ne relativních.

Časová kompilance vyžaduje, aby senzorické vjemy korespondující ke stejné události přicházeli naráz.

### 2.3.2 Přímá a nepřímá interakce

Všechny interakční techniky by se daly zařadit na škálu mezi takzvanou přímou interakcí a nepřímou interakcí. Přímá interakce nastává, když předmět, se kterým interagujeme, mění své vlastnosti v přímé souvislosti s našimi vstupy. Když vezmu zbraň do ruky a rukou otáčím, zbraň se také otáčí, proto se jedná o přímou interakci s předmětem. Přímá interakce je velmi typická pro VR. VR nabízí větší množství předmětů, se kterými lze přímo interagovat, jelikož jsme schopni objekty přímo mapovat do rukou uživatele s plnou prostorovou i časovou kompilací.

Nepřímá interakce vyžaduje více mentální práce, protože zde dochází ke konverzi mezi vstupem a výstupem. Například vyhledávání obrázků pomocí klíčových slov je nepřímá interakce, jelikož prostor vstupů a výstupů se liší. Ne vždy však lze použít přímou interakci, a ne vždy se také přímá interakce hodí více.

Jako příklad interakce, která se nachází někde mezi těmito extrémami, by mohl být například měnič frekvence v rádiu. S otočným kolečkem sice interagujeme přímo, ale ke změně frekvence a následné změně stanice již dochází nepřímou. Častou interakcí s kolečkem se pro nás tato interakce stává více přímou.

### 2.3.3 Interakční vzory a interakční techniky

**Interakční vzor** je obecný interakční koncept, který lze použít napříč různými virtuálními světy pro dosažení obvyklých cílů či potřeb uživatele. Tyto vzory jsou popsány z pohledu uživatele a jsou implementačně nezávislé. Popisují interakci mezi uživatelem a virtuálním světem na významové úrovni.

**Interakční technika** je více specifická záležitost a je závislá na technologii. Podobné interakční techniky lze sdružovat do interakčních vzorů. Interakčním vzorem by mohla být chůze, kterou lze realizovat pomocí mnoha interakčních technik od reálné chůze po pohyb joystickem. Kvalitní interakční techniky by měly odpovídat Normanovým principům popsaným dříve v této kapitole, aby uživateli napomáhaly s tvorbou efektivního mentálního modelu.

Interakční vzory lze dělit do skupin podle typu úlohy, kterou mají plnit. Následující dělení jsem převzal z knihy [2]. Neuvádím zde všechny vzory uvedené v knize.

#### **Selektivní vzory**

Selektivní vzory jsou vzory, které plní funkci výběru. Tím se myslí určení objektu, na který se v budoucnu bude vztahovat nějaká akce, například manipulace. Mezi takové vzory patří například výběr pomocí rukou a výběr pomocí ukazování.

**Výběr pomocí rukou** uživateli umožňuje interagovat s předmětem na základě přímého kontaktu. Tento způsob interakce napodobuje interakci z reálného světa, tedy hodí se ve chvíli, kdy nám jde o



realistickou interakci nebo když chceme, aby si uživatel interakci rychle osvojil. Největší nevýhodou takové interakce jsou naše fyziologická omezení.

Příklady technik implementujících výběr pomocí rukou mohou být reálné ruce, nereálné ruce nebo takzvaná Go-go technika, která umožňuje uživateli vystřelovat jeho ruce po vzdálených objektech.

**Výběr pomocí ukazování** umožňuje uživateli provádět selekci pomocí nějakého ukazovátka. Takový vzor vysílá do scény paprsek. Objekt, který zasáhne, může být vybrán například stisknutím tlačítka. Tento přístup je ideální pro výběr na větší vzdálenost. Občas však může být obtížné ukazovátkem vybrat malý objekt v dálce.

Techniky, které implementují tento vzor se liší zejména v tom, jakým způsobem ukazování provádíme. Ukazovat můžeme jednou rukou, oběma rukama nebo třeba hlavou. Zajímavou technikou je objektové přichytávání<sup>4</sup>. To uživateli usnadňuje výběr objektu na dálku. Vržený paprsek se přichytává k nejbližšímu objektu, který je možný vybrat. Uživatel tak nemusí být v míření tak přesný.

### **Manipulační vzory**

Manipulační vzory jsou vzory, které modifikují atributy jednoho nebo více objektů. Modifikacemi mohou být například změna velikosti, pozice nebo barvy. Manipulace obvykle následuje selekci, protože objekt, se kterým chceme manipulovat, nejprve musíme vybrat. Mezi takové vzory patří například přímá manipulace pomocí rukou, manipulace skrze prostředníka nebo manipulace pomocí náradí.

**Přímá manipulace pomocí rukou** dovoluje uživateli přímo uchopit předmět, se kterým chce manipulovat. Tento objekt se připevní k jeho ruce a pohybuje stejně jako ruka. Takovýto vzor odpovídá interakci v reálném světě, proto vhodný pro realističnost a intuitivnost. Ukázalo se, že tento způsob manipulace je pro uživatele více uspokojivější než ostatní manipulační vzory. Opět jsme však omezeni našimi fyziologickými vlastnostmi.

Techniky implementující tento vzor mohou přímou manipulaci modifikovat. Například pokud pro daný úkol vyžadujeme od uživatele přesnost, můžeme rotace uživateli ruky mapovat na rotaci objektu v nějakém menším měřítku.

**Manipulace objektu skrze prostředníka** uživateli umožňuje přímo interagovat s prostředníkem pomocí ruky a tato manipulace je pak přímo aplikovaná na cílový objekt. Tento vzor se hodí, pokud je potřeba intuitivně manipulovat s objektem, který je vzdálený.

**Manipulace pomocí náradí** uživateli umožňuje přímo manipulovat s náradím, které pak přímo manipuluje s cílovým objektem. Takový vzor se používá k rozšíření schopností našich rukou ve smyslu manipulace.

Mezi techniky implementující tento vzor můžeme řadit jakékoliv ruční nástroje, jako je vrtačka nebo dálkové ovládání. Příkladem mohou být i například úchyty na krychli, za které lze krychli roztahovat.

### **Vzory měnící pohled uživatele**

Vzory měnící pohled uživatele jsou vzory, které mohou zahrnovat translaci, orientaci nebo změnu měřítko. Změna pohledu uživatele odpovídá ve virtuálním světě pohybu, rotaci nebo změně velikosti světa. Mezi takové vzory patří například vzor chůze, vzor řízení nebo automatizovaný pohyb.

**Vzor chůze** umožňuje se uživateli pohybovat na základě chůze. Uživatel buď může doopravdy chodit nebo pouze hýbat nohama v sedě. Tento vzor napodobuje způsob přemísťování v reálném světě. V uživateli tak vyvolává vyšší míru presence, také napomáhá k lepší prostorové orientaci.

---

<sup>4</sup> Anglicky object snapping

Nezpůsobuje pohybovou nevolnost a je vhodný spíše na menší nebo střední vzdálenosti. Není však vhodný na rychlé pohyby nebo přesuny na velkou vzdálenost.

**Vzor řízení** uživateli umožňuje pohyb, aniž by museli hýbat nohama. Takovýto způsob pohybu se hodí na větší vzdálenosti, neboť nezpůsobuje fyzickou únavu. Na druhou stranu uživatelům často způsobuje nevolnost.

Techniky, které implementují tento vzor, se liší zejména v tom, jak určují směr uživatelského pohybu. Tento směr uživatel může specifikovat pomocí směru pohledu, jeho naklonění nebo například joystickem na ovladači.

**Automatizovaný pohyb** mění uživatelský pohled, aniž by se ve světě musel vlastním úsilím přepravovat. Takový způsob pohybu je vhodnější pro aplikace, kde uživatel zaujímá spíše pasivní roli.

Techniky implementující tento vzor typicky simulují pohyb pomocí nějakého vozidla. Tento způsob pohybu však často bývá pro uživatele nepříjemným.

Pod tuto skupinu se řadí i teleportace. Já osobně bych tedy teleportaci zařadil někde mezi vzor řízení a tento vzor. Záležet bude na tom, kdo teleportaci ovládá. Pokud je to uživatel, pak mi přijde, že technika teleportace spadá spíše pod vzory řízení. Lze však mluvit o teleportaci, jak na krátké vzdálenosti, tak i na obrovské vzdálenosti mezi světy. Tento způsob pohybu většinou uživateli nezpůsobuje nevolnost, však negativně ovlivňuje prostorovou orientaci uživatele po proběhnutí teleportace.

### **Nepřímé interakční vzory**

Nepřímé interakční vzory poskytují prostředníka, skrze kterého nepřímo modifikujeme objekt, prostředí nebo celou aplikaci. Jsou více abstraktní než vzory popsané výše. Vhodné je použít tyto vzory tehdy, když není zřejmé, jak s objekty interagovat přímo.

**Vzor widgetů a panelů** je asi nejčastější formou nepřímé kontroly. Je inspirován klasickými 2D widgety, které známe z počítačových uživatelských rozhraní. Místo kurzoru myši s widgety ve VR interagujeme zejména pomocí vzoru ukazování nebo podobných selektivních vzorů. Při návrhu takové interakce je důležité přemýšlet o tom, jak widgety do světa umístíme. Musíme řešit problémy jako je zastínění nebo distrakce uživatele.

### **Složené interakční vzory**

Složené interakční vzory kombinují více interakčních vzorů do jednoho.

**Vzor miniaturního světa**<sup>5</sup> je interaktivní mapa zmenšeného světa, ve kterém se uživatel zároveň nachází. Uživatel má možnost hýbat s objekty ve zmenšeném modelu, což vyvolává jejich pohyb i ve zvětšeném světě, kde se uživatel nachází. Uživatel takto může hýbat i se sebou samým.

## **2.3.4 Specifikace od Jana Spratka**

Jan Spratek je český popularizátor vědy, zejména vesmíru a kosmonautiky. Pracuje s učiteli na základních a středních školách. Těm se snaží napomáhat a vysvětlovat, jak aplikovat atraktivní témata vesmíru ve výuce. Jeho cílem je popularizovat vesmír a vychovávat budoucí české astronauty. Jan Spratek dříve pracoval v planetáriu, což ho vedlo k nápadu dostat planetárium do škol. Planetárium je samo o sobě poměrně velká věc. Za pomocí VR to tak však být nemusí. Právě VR planetárium je jednou z typických podob aplikace, kterou jsem popsal výše. Máme třídu posluchačů, kteří dávají pozor a přednášejícího, jenž vypráví o vesmíru. Demonstrační aplikaci budu vyvíjet zejména podle představ Jana Spratka, tedy člověka z oboru, který má v hlavě představy, jak s takovou aplikací

---

<sup>5</sup> Anglicky world-in-miniature

naložit. Obdržel jsem od něj specifikace, které se pokusím shrnout v této kapitole. Jejich implementaci bude věnována pozornost v praktické části této práce.

Specifikaci od Jana Spratka bych rozdělil do čtyř kategorií.

### **Lokace a přesuny**

Jan Spratek definoval zajímavá místa ve Sluneční soustavě (SS), kde by chtěl mít tu možnost se ocitnout s diváky. Jsou to konkrétní místa jako například Sluneční pól nebo povrch planety Mars. Specifikoval také, že by rád přidal místo, ze kterého by bylo dobře vidět fungování SS. Z takového místa by chtěl mít možnost se k jednotlivým planetám přibližovat nebo aby se planety přibližovaly k němu.

### **Interakce se Sluneční soustavou**

Zde Jan Spratek specifikoval různé vizuální modifikace SS. Jedná se například o možnost vidět oběžné dráhy planet nebo jejich měsíců, měnit měřítko planet či jejich čas oběhu Slunce.

### **Interakce s planetami**

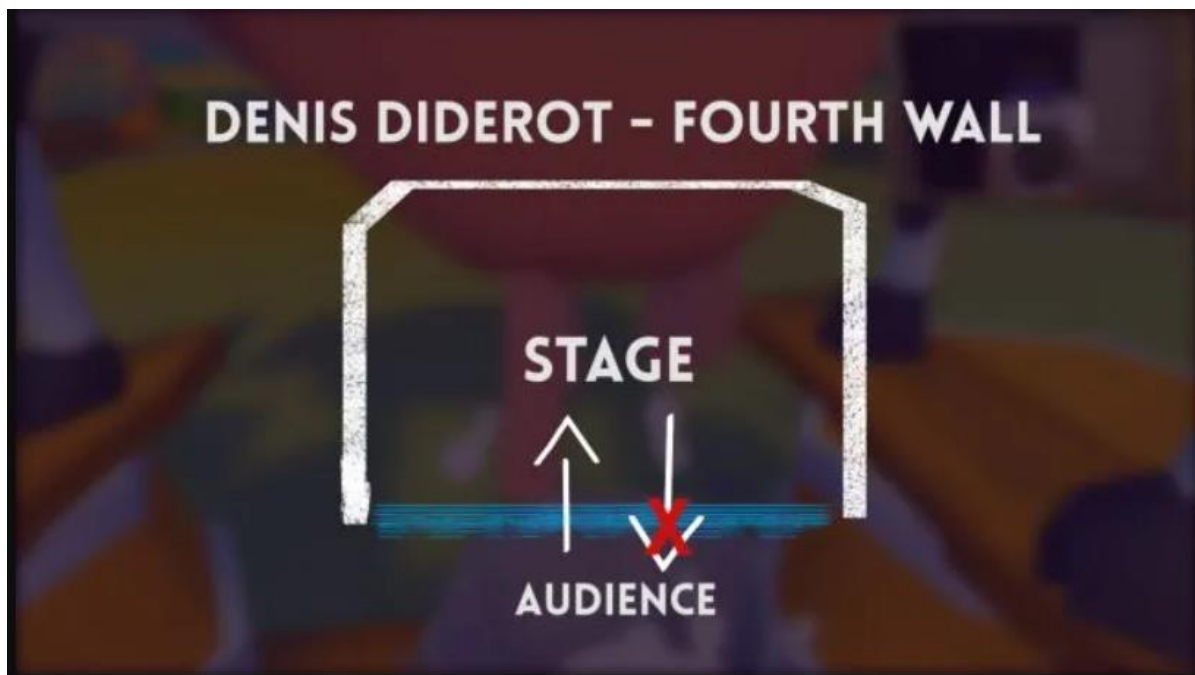
Jan Spratek by dále chtěl možnost porovnávat planety vedle sebe podle velikosti. Chtěl by mít možnost rozevřít planetu a ukázat její jádro. Specifikoval dále porovnání Země a Měsíce vedle sebe, kde by chtěl mít možnost ukázat skutečnou vzdálenost Měsíce od Země na základě velikosti Země v dlani.

### **Sondy a rovery**

Na povrchu planety Mars by měla být možnost vidět pohyb roveru Curiosity. Dále pak ve vesmíru zobrazit několik družic v prostoru vedle sebe, které by šlo natáčet a porovnávat.

## 2.4 Uživatelské rozhraní

Dalo by se říct, že uživatelské rozhraní je prostředníkem mezi uživatelem a aplikací. Poskytuje uživateli možnosti a dopomáhá k pochopení toho, co se v aplikaci děje. Podle Jesse Shella je cílem uživatelského rozhraní dopřát uživateli pocit kontroly nad aplikací. [3] Skrze uživatelské rozhraní jsme schopni uživateli komunikovat důležité informace uživateli a z druhé strany uživatel aplikaci skrze uživatelské rozhraní ovládá.

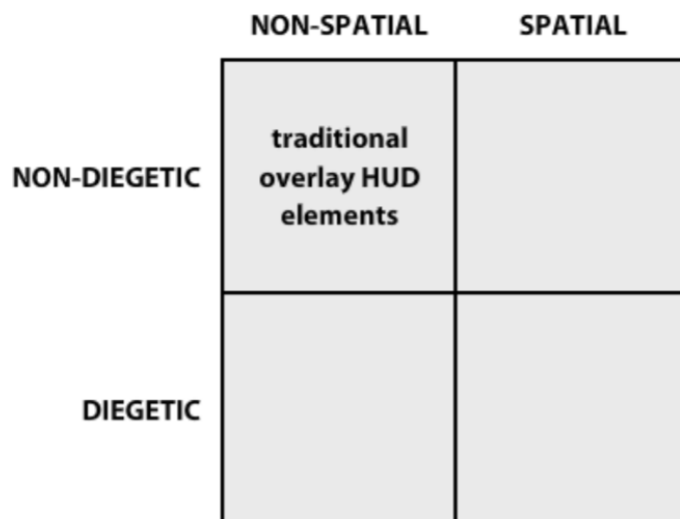


Obr. 3 Divadlo. Obrázek získán ze zdroje [5].

Podle vztahu k virtuálnímu světu by šlo prvky uživatelského rozhraní dělit podle toho, zda jsou součástí fiktivního herního světa. Tomu se říká diegeze,<sup>6</sup> což je původně divadelní koncept, který nám pomáhá určit, zda je daný element součástí fiktivního světa pomocí konceptu takzvané čtvrté stěny. Čtvrtá stěna proto, že divadlo je typicky sestaveno s třemi stěnami a čtvrtá je vynechána, jelikož tím směrem sedí publikum, viz obrázek 3. Koncept čtvrté stěny definoval Denis Diderot jako imaginární bariéru, která odděluje herce od diváků. Divákům se stěna jeví jako průhledná a mohou tak sledovat představení. Herci zevnitř tuto zeď vidí jako neprůhlednou a nejsou si vědomi publika. Diegeze je tedy vztah nějakého elementu k této stěně. Elementy, které jsou na straně herců, označujeme jako diegetické a elementy na straně publika jako niediegetické. [9] Otázky, které nám pomohou určit, zda je element diegetický jsou například „Má tento element ve fiktivním světě svůj význam?“ nebo „Jsou postavy fiktivního světa schopny tento element vidět?“. Dalším kritériem, podle kterého by šly prvky uživatelského rozhraní dělit, je jejich prostorové zařazení. Pokud je prvek součástí herní 3D geometrie, pak ho označujeme za prostorový, a pokud ne, pak ho označujeme za neprostorový. Podle tohoto dělení dostáváme diagram na obrázku 4.

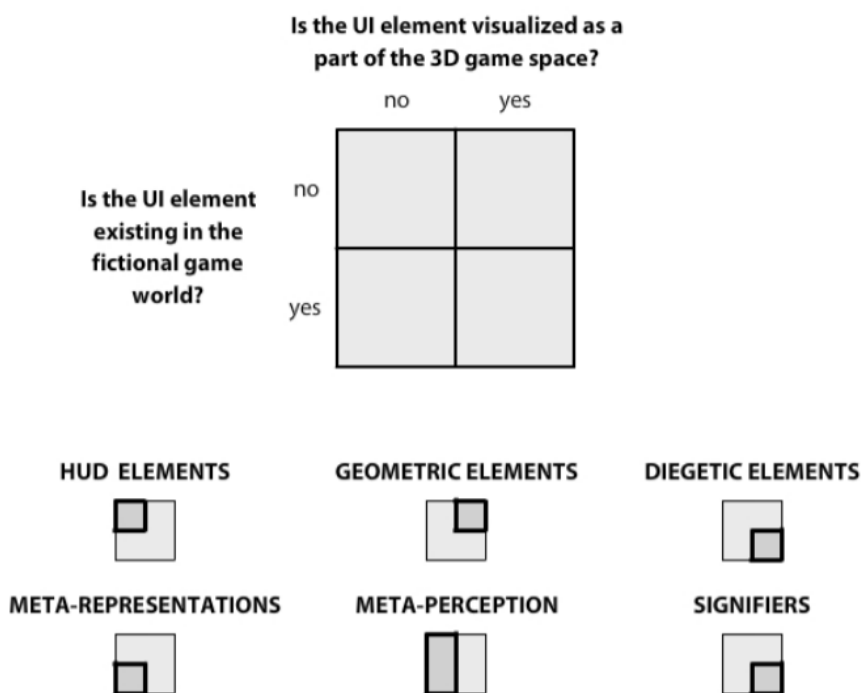
---

<sup>6</sup> Anglicky *Diegesis theory*



Obr. 4 Rozdělení na základě diegeze a prostorovosti. Obrázek získán ze zdroje [5].

Bohužel dělení podle diegeze má svá šedá místa, jako například krev vykreslená přes obrazovku. Tento element sice má svůj význam ve fiktivním světě, však pokud nás někdo poraní, pravděpodobně neuvidíme kapičky krve na naší sítnici. Toto motivovalo dvojici Fagerholt a Lorentzon [5] diegezi nepoužít jako osu, ale spíše jako oblast v diagramu, kde jsme tuto osu nahradili pouze významovou složkou diegeze. Tedy pokud má daný element ve fiktivním světě význam, postavy ho však nadále nemusí být schopny vidět. Dostáváme tedy nový diagram, viz obrázek 5, kde Fangerholt a Lorentzon definovali celkem šest kategorií pro prvky uživatelského rozhraní.



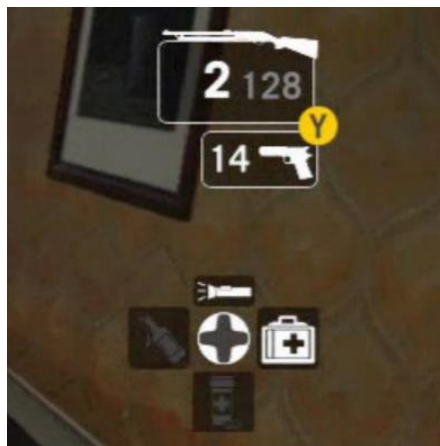
Obr. 5 Dělení na základě fikce a prostorovosti. Obrázek získán ze zdroje [5].

**Meta-vnímání** je skupina elementů uživatelského rozhraní, která se vlastně propojuje hráče se smysli jeho avatara. Do této skupiny prvků může patřit například právě zakrvácená obrazovka od krve, která naznačuje to, že je avatar zraněn, viz obrázek 6.



Obr. 6 Obrazovka od krve. Obrázek získán ze zdroje [5].

**Nediegetické** prvky jsou podskupinou prvků meta-vnímání. Tyto prvky nejsou umístěné ve 3D virtuálním světě a ani nemají v daném světě dějový význam. Jsou vykreslené v prostoru obrazovky a mohou například ukazovat hráči počet zbylých nábojů, viz obrázek 7.



Obr. 7 Nediegetické UI. Obrázek získán ze zdroje [5].

**Meta-reprezentace** je opět podskupina meta-vnímání. Jsou to elementy, které jsou reprezentovány mimo geometrii světa, však reprezentují věci nacházející se ve fiktivním světě. Dobrým příkladem takového elementu je mobil z GTA IV, viz obrázek 8.



Obr. 8 Mobilní telefon vykreslovaný v prostoru obrazovky. Obrázek získán ze zdroje [19].

**Geometrické** prvky jsou součástí 3D geometrie světa, však nemají svůj dějový význam ve fiktivním světě. Takovéto prvky se často využívají například k předávání informací o hráčově okolí a napomáhají k jeho navigaci a orientaci. Příklad takového UI je ukázáno na obrázku 9.



Obr. 9 Prostorové zvýraznění spoluhráče. Obrázek získán ze zdroje [5].

**Diegetický** prvek uživatelského rozhraní je prvek, který je umístěn ve 3D virtuálním světě a také zde má svůj dějový význam. Tyto elementy lépe zapadají dohromady s celkovým herním zážitkem, jejich využití je však omezeno konkrétní zařazením fiktivního světa. Na obrázku 10 je příklad diegetického uživatelského rozhraní.



Obr. 10 Diegetické zobrazení počtu nábojů. Obrázek získán ze zdroje [5].

**Signifikátory** jsou specifické diegetické prvky, které předávají informace o objektech ve fiktivním světě. Signifikátorem může být například hořící barel, který signifikuje to, že barel za chvíli vybuchne, viz obrázek 11.



Obr. 11 Oheň signifikující, že barel za chvíli exploduje. Obrázek získán ze zdroje [5].

V kapitole Vliv VR na schopnost učit se jsem popisoval, že imerze je jedním z důležitých kvalit virtuální reality pro schopnost učit se. Na základě toho by bylo vhodné navrhnout uživatelské rozhraní, co nejvíce imersivní. Nejvíce imersivní uživatelská rozhraní pro hry v první osobě jsou rozhraní diegetická a geometrická [6] a z toho důvodu budu v aplikaci využívat právě tyto.

## 2.5 Rešerše podobných aplikací

Dříve než se pustím do návrhu a implementace vlastního řešení, bylo by rozumné se ujistit, zda nějaké vhodné řešení již neexistuje. Virtuálně realitních aplikací, jež podporují pobyt více uživatelů ve stejném virtuálním světě najednou, na trhu najdeme již více. V této kapitole projdu několik vybraných aplikací, které by se potencionálně mohly hodit pro výuku ve VR, a zhodnotím jejich použití namísto tvorby vlastní aplikace. V této kapitole se také zaměřím na VR aplikace o vesmíru, jež by mi mohly napovědět, co funguje a co ne.

### 2.5.1 Víceuživatelské VR aplikace

**Multiverse** je víceuživatelský virtuální svět sestavený z tematicky zaměřených oblastí. Jednou z těchto oblastí je dokonce virtuální planetárium. Toto planetárium je složeno z mnoha místností, kde každá místnost je věnovaná nějaké oblasti Sluneční soustavy jako například jednotlivým planetám. Celé toto planetárium je koncipované jako muzeum, ve kterém se lze volně pohybovat. K dispozici je zde mnoho modelů a obrazů, u kterých se vám po stisknutí tlačítka přehraje mluvený doprovod.

Podle mého je možné se v tomto světě dozvědět mnoho informací z dostupných modelů a mluveného doprovodu. Chybí mi zde však možnost velikostního porovnání planet či znázornění vesmírných vzdáleností. Svět je bohužel velmi statický, podobně jako běžné muzeum. Je to skvělým místem pro získání informací zajímavou formou, ale postrádá interaktivitu. Mimo tlačítek pro zvukový doprovod se s objekty dá interagovat jen zřídka. Aplikace je tedy spíše, jak již jsem říkal, samo dostačující muzeum. Nemyslím si, že by tato aplikace byla vhodná pro školní výuku. Učitel zde není potřeba a každé dítě se zde pohybuje nezávisle, aniž by nad ním měl učitel kontrolu. Absence interaktivity navíc znemožňuje si výklad více přizpůsobit vlastní potřebě.

**Facebook Horizon** je sociální víceuživatelský virtuální svět. Je založen na místnostech, které mohou vytvářet sami uživatelé virtuálního světa přímo ve virtuálním světě. Nejedná se pouze o rozmísťování objektů, aplikace dokonce podporuje i jednoduché skriptování. Jedná se o implementaci herní logiky pomocí dostupných logických bloků. Oproti Multiverse tato aplikace umožňuje vytvářet vlastní obsah a výklad si tak více přizpůsobit vlastní potřebě. Skriptování je však stále velmi omezené oproti možnostem, které dnes nabízí herní enginy jako například Unity nebo Unreal Engine. Do aplikace také bohužel není možné vkládat vlastní modely. Vybírat lze pouze základní objekty z nabídky, což mé možnosti velmi limituje.

**Rec Room** je velmi podobný aplikaci Facebook Horizon. Aplikace je také založena na místnostech, které tvoří sami uživatelé přímo v aplikaci. Místo skriptování Rec Room využívá takzvané čipy. Výhodou oproti Facebook Horizon je, že těchto čipů je v aplikaci již mnoho před vytvořených. Osobně mi však přijde, že skriptování Facebook Horizon má větší potenciál, jelikož je flexibilnější a více se blíží skriptování, které dnes používají herní enginy.

**Altspace VR** je obdoba Facebook Horizon od společnosti Microsoft. Největší výhodou této aplikace je, že podporuje tvorbu místností v herním enginu Unity. Díky tomu lze do této aplikace dostat chování téměř libovolné. Pokud by se tedy veškerá logika vytvořila pomocí herního enginu Unity, pak by šlo přemýšlet o využití Altspace VR jako řešení síťové části aplikace.

Výše zmíněné aplikace již poskytují možnost připojení více uživatelů najednou. Chybí zde pouze možnost připojení přes lokální síť. Aplikace by tak byla závislá na připojení k internetu. Tento problém však dnes již nemá takový význam, jelikož ve většině škol je již běžně dostupné internetové připojení. Přes lokální síť však připojení bude více stabilní.

Co se týče možnosti tvorby, tak zmíněné aplikace většinou poskytují pouze omezené možnosti. Jediná aplikace Altspace VR umožňuje tvořit obsah v herním enginu Unity. Myslím si, že omezovat se v možnostech tvorby dostupnými nástroji vybrané aplikace, je příliš limitující. Stálo by tedy za



zváženou pro tvorbu aplikace využít herní engine Unity a prozkoumat možnosti propojení přes Altspace VR.

### 2.5.2 VR aplikace o vesmíru

Dalšími aplikacemi, na které se zaměřím, jsou VR aplikace o vesmíru. Těmito aplikacím sice chybí možnost připojení více uživatelů do virtuálního světa najednou. Stále však z těchto aplikací můžu čerpat, jak vesmírná tělesa zobrazovat, co funguje a co ne.

**Titans of space** je prohlídka vesmíru ve VR, ve které prolétáte kolem obrovských vesmírných těles. Ke každému tělesu je k dispozici povídání. Aplikaci jsem osobně nezkoušel, z ukázek jsem však měl pocit, že jsou zde poměrně dobře znázorněny relativní velikosti planet. Prostor je velmi zkreslený, aby to divákovi dávalo smysl. Později v průběhu prohlídky se však pozorovací mód změní a tělesa se velmi zmenší, že jsou vidět pouze jejich orbity. Tak je pak možné získat i ponětí o vzdálenostech mezi tělesy. Aplikace je téměř neinteraktivní. Uživatel pouze potvrzuje, zda se může pokračovat v prohlídce.

**Solar System VR** je podobná prohlídka vesmíru jako Titans of space. Tato prohlídka neposkytuje žádnou interakci. Letí se od planety k planetě postupně od Neptunu ke Slunci. Mezi planetami vždy vesmírná loď přejde do hyper rychlosti, a objeví se u planety další. Tuto aplikaci jsem také nezkoušel osobně. Na ukázkách se mi však líbilo, že se vesmírná loď pohybovala i velmi blízko tělesům, že bylo vidět povrch tělesa a jednotlivé krátery.

**Universe Sandbox 2 VR** není předdefinovanou prohlídkou vesmíru jako aplikace zmíněné výše. Jedná se o plně interaktivní aplikaci, která vás vnáší do role boha. Z nabídky lze vybírat z mnoha různých těles, které je možné vkládat do prostoru kolem sebe. Tělesa pak spolu fyzikálně interagují a uživatel může pozorovat jejich různá chování. Aplikaci jsem taktéž neměl možnost vyzkoušet, však zhlédnul jsem několik videí na internetu. Aplikace zajímavě pracuje s měřítkem. Prostor kolem sebe je možné zvětšovat, zmenšovat a otáčet pomocí gest rukou. Myslím si, že je to velmi zajímavé ovládání aplikace. Otázkou by mohlo být, jak by takovéto ovládání snášela celá třída studentů pohromadě. Při čtení recenzí jsem se dočítal, že lidem přišlo toto ovládání těžké na osvojení. Na druhou stranu ve chvíli, kdy se uživatel naučil aplikaci ovládat, bylo ovládání efektivní. Aplikace je také velmi dobře zvládnuta po vizuální stránce.

Aplikace Titans of space a Solar System VR ukazují, jakým způsobem se dají prezentovat velké planety. Solar System VR má velmi působivě udělané povrchy vesmírných těles. Universe Sandbox 2 VR by pak mohl posloužit jako velký zdroj inspirace pro manipulaci s jednotlivými tělesy, práci s měřítkem a fyzikální simulaci.

## 3 Návrh řešení

Navrhovanou aplikaci by šlo rozdělit do dvou stěžejních částí. První částí je řešení víceuživatelského připojení v kontextu třídy žáků a učitele v jedné místnosti. Druhou částí je návrh vhodných interakčních technik pro výuku v rámci zmíněného systému. Přesně takto jsem tuto kapitolu rozdělil. Protože při návrhu aplikace bude již nutné brát v potaz jisté technologické limity, popíšu nejprve technologii, kterou jsem pro vývoj výsledné aplikace zvolil.

### 3.1 Zvolená technologie

V této kapitole popíšu zvolenou technologii pro realizaci demonstrační aplikace. Jedná se tedy o víceuživatelskou VR aplikaci primárně určenou pro školní výuku. Budu tak potřebovat vybrat vhodný VR headset, herní engine a technologii, která mi umožní připojení více uživatelů najednou.

#### 3.1.1 VR headset

Jelikož vytvářím aplikaci do prostoru školní třídy, možná nejdůležitějším kritériem pro výběr vhodných VR brýlí je jejich autonomista. Tím mám na mysli to, že jsou schopny fungovat samy bez potřeby externího počítače. Bylo by téměř nereálné, aby každý student měl místo brýlí ještě před sebou na stole počítač. K tomu všechny VR brýle by musely být kabelem připojeny do počítačů a každý počítač by pak musel být zapojený do nabíjení. Takovýto přístup by byl velmi nešikovný. Navíc od aplikace vyžadují umožnit prezentujícímu pohyb mezi studenty, který by kabel zapojený do počítače velmi omezoval.

Pokud tedy chci využít brýle, které nepotřebují externí počítač, nabízí se nám možnost využít headset pro mobilní VR (například GearVR) anebo plně samostatný VR headset (například Oculus Quest). Podle mého je vhodnější variantou vybrat samostatný VR headset. Z vlastní zkušenosti mi přijde, že kvalita virtuální reality v podání headsetu Oculus Quest je na velmi dobré úrovni. Headsety série Oculus Quest jsou také dnes nejvíce dostupnými samostatnými headsety v české republice. Druhým argumentem pro výběr samostatného headsetu oproti mobilnímu VR je ten, že ne každé dítě nutně vlastní dobrý chytrý telefon, či vůbec nějaký. Tím pádem by bylo nutné pro každý mobilní VR headset dokupovat i chytrý telefon. Tak by se tato varianta stala i pravděpodobně více nákladnou. Tvorbu aplikace jsem se tedy rozhodl cílit na platformu Android, zejména na headsety série Oculus Quest.

#### 3.1.2 Herní engine

Nyní, když vím, jaká je cílová platforma pro demonstrační aplikaci, mohl bych začít s vývojem. Bylo by možné napsat celou aplikaci od nuly, však podle mého mnohem rozumnější bude zvolit vhodný herní engine, který mi vývoj aplikace výrazně ulehčí. Budu se tedy moct více zaměřit na stanovené cíle a netrávit tolik času v oblastech, které nejsou zaměřením této práce.

Herní engine je softwarový nástroj, který soustřeďuje obecné funkce pro vývoj interaktivních aplikací jako jsou třeba počítačové hry. Mezi tyto funkce patří například 2D a 3D vykreslování, herní fyzika nebo podpora exportu pro různé platformy. Herní enginy mají také často grafické uživatelské rozhraní, což velmi usnadňuje samotný vývoj aplikace.

Pro vývoj demonstrační aplikace jsem se rozhodl použít herní engine Unity. Unity je jedním z nejpoužívanějších herních engineů současnosti. Podporuje široké spektrum platform jako je právě vývoj pro platformu Android, na který svou aplikaci primárně cílím.

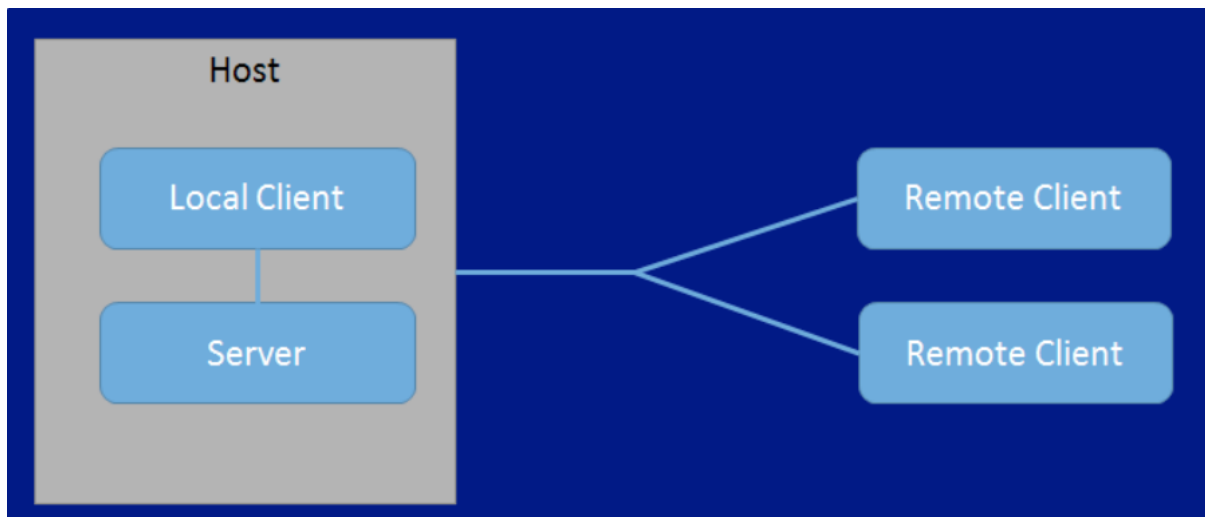
Projekt v Unity dělíme do jednotlivých scén. Scéna je 3D nebo 2D prostor, kam lze přidávat herní objekty. Objekty ve scéně se chovají na základě komponent, které jim přiřadíme. Každý objekt má v

základu komponentu *Transform*, které obsahuje svou pozici, rotaci a rozměr. Komponentou může být dále například *Collider*, který umožňuje nad daným objektem vypočítávat kolize. Takovýchto komponent najdeme v Unity mnoho. Můžeme i tvořit komponenty vlastní pomocí programovacího jazyka C#, což je největší výhodou oproti většině víceuživatelských aplikací zmíněných v kapitole Rešerše podobných aplikací. V tomto kontextu je výběr Unity v hodný i z toho důvodu, že se v něm dají tvořit virtuální světy pro Altspace VR.

### 3.1.3 Síťování

Posledním dílem demonstrační aplikace je implementace víceuživatelského systému. Bohužel Unity v této době neposkytuje vlastní řešení síťování, však existuje několik řešení třetích stran. Jedním z nejpopulárnějších takových řešení je knihovna Mirror.

Knihovna Mirror je založena na architektuře client-server, což znamená, že jedna instance aplikace funguje jako takzvaný server a ostatní instance jsou takzvanými klienty. Server je instance hry, do které se ostatní hráči připojují, aby mohli hrát spolu. Klient je instance hry, která většinou běží na jiném zařízení než server. Skrze klienty se na server po síti připojují ostatní hráči. Mirror však umožňuje jednomu klientovi být zároveň klientem a serverem najednou, čemuž se říká host. Na obrázku 12 je zobrazen diagram tří hráčů připojených do hry. [17] Nemusí se tak zřizovat samostatný dedikovaný server.



Obr. 12 Diagram ukazující připojení tří hráčů. Obrázek získán ze zdroje [17].

Další výhodou této knihovny je, že využívá TCP protokolu zvaného Telepathy. Jedná se o spolehlivý protokol, což znamená, že ztracené zprávy jsou posílány znovu a také, že všechny zprávy jsou doručeny ve správném pořadí. Tento přístup je sice pomalejší než například protokol UDP, je však méně náchylný na chyby, což je u této aplikace důležitější. Mirror také umožňuje připojení přes lokální síť, což bude případem mé aplikace. Z těchto důvodů mi přišlo vhodné využít knihovnu Mirror pro implementaci síťové části této aplikace.

Mirror řeší časté problémy víceuživatelských aplikací, jako je například synchronizace dat přes síť. Jedná se o server autoritativní systém, což znamená, že všechna data jsou synchronizována skrze server. Ve zbytku této podkapitoly popíšu nejdůležitější komponenty knihovny Mirror pro vývoj finální aplikace.

**NetworkBehaviour** je síťovaná obdoba *MonoBehaviour*. Tento skript poskytuje funkcionalitu pro komunikaci po síti v podobě funkcí *Command* a *ClientRpc*, o kterých budu více psát v kapitole Implementace. Objekt, který obsahuje tento skript musí také obsahovat komponentu *NetworkIdentity*.

**NetworkIdentity** je komponenta, kterou musí mít každý síťovaný objekt. Tato komponenta zaručuje jeho unikátní identitu mezi různými instancemi aplikace.

**NetworkManager** je komponenta, která obstarává síťový aspekt aplikace. Spravuje věci jako například instancování hráčů nebo přesun mezi scénami. Tato komponenta musí být ve scéně přítomna, aby síťování správně fungovalo.

**NetworkDiscovery** zjednodušuje proces připojování na server. Běžně, abychom se připojili na server, je nutné znát jeho IP adresu. K tomu slouží komponenta *NetworkDiscovery*. Ve své podstatě rozešle zprávy po síti a zjistí, zda na síti nejsou přítomny nějaké servery. Pokud ano, tyto servery vyčte. T dostupných serverů si pak lze vybrat ten, na který se chceme připojit.

**NetworkTransform** je synchronizační komponenta komponenty *transform*. Tato komponenta nám zaručuje, že *transform* herního objektu, který obsahuje tuto komponentu, bude synchronizovaný přes síť na všech instancích aplikace. U této komponenty si lze zvolit, co všechno chceme synchronizovat, tedy pozici, rotaci nebo velikost.

## 3.2 Návrh víceuživatelského systému

Navrhuji tedy virtuálně realitní systém, pro třídu žáků, kteří jsou spolu ve fyzickém prostoru a podobným způsobem sdílí i prostor virtuální. Žáci se ve fyzickém prostoru nepohybují, sedí na židličkách. Lektor se může pohybovat ve vymezeném fyzickém prostoru. Dále bych chtěl, aby nemusel být použit globální sledovací systém, ale aby se každé VR zařízení orientovalo v prostoru nezávisle na ostatních pomocí svých interních senzorů, viz kapitola Lokalizace.

Jelikož chci umožnit prezentátorovi volný pohyb mezi studenty, největším problémem jsou fyzické objekty, které nejsou reprezentovány ve virtuálním světě, nebo jsou reprezentovány na nesprávném místě, viz kapitola Registrace. V případě headsetu série Oculus Quest si prezentátor vyznačí místo pro volný pohyb pomocí funkce Guardian<sup>7</sup>. Tvorbou této oblasti se provede původní kalibrace zařízení, čímž se zařízení registruje s fyzickým světem, a tak souřadný systém zařízení odpovídá souřadnému systému fyzického světa. Díky správnému trackingu zůstávají tyto systémy neustále registrované, a tak se uživatel může ve vyznačené oblasti pohybovat, aniž by do něčeho narazil.

Při tvorbě této aplikace však musím brát v potaz i vzájemnou registraci jednotlivých zařízení, které mají uživatelé na hlavě. Od aplikace totiž požadují, aby rozmístění avatarů zhruba odpovídalo rozmístění žáků ve třídě. Problémem je, že zařízení neznají svou vzájemnou polohu. Každé zařízení se lokalizuje v prostoru samo nezávisle na ostatních. Aby rozmístění avatarů ve virtuálním světě odpovídalo rozmístění zařízení ve fyzickém světě, musí být souřadné systémy všech zařízení navzájem registrované. Pokusil jsem se navrhnout několik řešení tohoto problému, které popisují níže.

### 3.2.1 Kalibrace zařízení ve stejné pozici

Abychom vzájemně registrovali zařízení vůči sobě, je nutné je kalibrovat stejnými referenčními hodnotami. V případě headsetu série Oculus Quest se kalibrace provádí tvorbou ochranného prostoru, kdy se stanoví počátek a orientace souřadného systému. Pokud tedy všechna zařízení zkalibrujeme na stejném místě, pak budou vzájemně registrovaná. Jinými slovy, pokud vytvoříme ochranný prostor pro všechny zařízení ze stejného místa a se stejnou orientací, pak vzájemná pozice avatarů bude odpovídat vzájemné pozici zařízení.

Prvním řešením by tedy mohlo být pro každé zařízení vytvořit ochranný prostor ve stejné pozici, a následně pak s každým zařízením dojít na požadované místo ve třídě. Nevýhoda tohoto přístupu je, že tvorba ochranného prostoru zabere poměrně hodně času. Pokud bychom měli třídu 30 dětí, pak by taková příprava mohla zabrat klidně 30 minut.

### 3.2.2 Sdílení kalibračního souboru

Otázkou tedy je, jak tento přístup zefektivnit. V průběhu kalibrace si každé zařízení tvoří interní model okolí, na základě význačných bodů, viz kapitola Optický tracking. Při spuštění zařízení ve známé lokalitě si zařízení tyto informace načte a je tak schopné automaticky registrovat svůj souřadný systém se souřadným systémem fyzického světa. Tím se zařízení správně lokalizuje v prostoru. Naskytuje se tedy možnost těchto informací využít. V ideálním případě by šlo provést kalibraci jednoho zařízení, které by pak tyto informace rozeslalo ostatním zařízením. Tento způsob by byl pravděpodobně ideální, bohužel však Oculus tyto informace udržuje tajné a vývojáři k nim nemají přístup.

Možností by tedy bylo si tyto informace vytvořit sám na základě výstupu z předních kamer, kterými jsou headsety série Oculus Quest obdařeny. Nejspíše z důvodů ochrany soukromí je přístup k těmto kamerám odepřen. Zbývalo by tedy akorát využít nějakých externích kamer, jako například kamery ZED mini. Problém by pak ale nastal v propojení kamery s headsetem. Abychom mohli obraz

---

<sup>7</sup> Guardian spravuje prostor pro volný pohyb uživatele.

z kamery zpracovávat, potřebovali bychom ji připojit k počítači, čímž by nám přibyl ke každému zařízení mimo externí kamery ještě počítač navíc. Jistě by každé zařízení mohlo využít stejný počítač a kameru. Tento přístup by však podle mého byl minimálně stejně časově náročný jako přístup zmíněný výše. Pokud by se nám podařilo nějak posílat výstup z kamer přímo do headsetu, kde ho zpracovávali, mohli bychom se obejít bez počítače a tento přístup by tak mohl být velmi rychlý.

### 3.2.3 Využití omezení pohybu

Třetí možností je nejít cestou vzájemné registrace zařízení, pokud vhodně využijeme daných omezení. Víme, že studenti ve třídě sedí a nehýbou se. Jediný, kdo se hýbe je učitel. Naskytuje se nám tedy možnost toho, že prezentátor nejprve vytvoří vlastní ochranný prostor. Po spuštění aplikace pak uživatel obejde všechny židle ve třídě a stanoví zde pozorovací místa. Studentská zařízení se nastaví do stacionárního režimu,<sup>8</sup> což zabere mnohem méně času než tvorba ochranného prostoru. Studenti se pak podle pořadí připojování párují s místy specifikovanými prezentátorem. Z pohledu učitele v tuto chvíli rozmístění avatarů zhruba odpovídá rozmístění žáků ve třídě včetně učitele. Aby toto platilo i pro posluchače, pak stačí, aby se jednoduše při spuštění stacionárního režimu dívali přímo před sebe. Pokud by se žáci naučili zapínat zařízení ve stacionárním režimu sami, pak si myslím, že by tímto způsobem mohla být výuka připravena za pět minut.

Nevýhodou tohoto postupu je zejména to, že se zařízení musí připojovat postupně. Tento problém by šel vyřešit jednoduchým zápisem do souboru. Já bych navrhol, aby se každému headsetu přiřadilo číslo od jedné do maximálního počtu studentů. Toto číslo by se pevně uložilo do souboru na zařízení a zařízení by se označilo nálepkou s daným číslem. Toto zařízení by se pak vždy párovalo s pozorovacím místem odpovídajícím danému číslu. Příprava třídy na výuku by tímto způsobem podle mého zabrala jen pár minut.

### 3.2.4 Opakovaná výuka

Pokud budeme brát v potaz, že výuka ve třídě bude probíhat pravděpodobně opakovaně, při přípravě následujících vyučování by šel čas přípravy dále zkrátit.

V případě opakované výuky ve třídě by se první možnost stala pravděpodobně nejrychlejší. Každé zařízení by se při spuštění samo lokalizovalo na základě informací získaných z minula a výuka by mohla začít. Občas se však může stát, například změnou světelných podmínek, že se nějakému zařízení nepodaří načíst kalibrační soubor a musí se tak kalibrovat znova. Tato skutečnost by mohla přípravu výuky velmi zpomalit.

Druhý způsob se zrychlí o prvotní skenování ve třídě, které se načte z minula. Opět se však může stát, že změnou světelných podmínek ve třídě se nepodaří zařízení stejným souborem kalibrovat, a tak se celá kalibrace bude muset dělat od nuly.

Třetí varianta by se urychlila o specifikaci pozorovacích míst, jejichž pozice by se načetla ze souboru vytvořeného dříve. Pak by příprava na výuku byla hotová téměř ihned. V tomto případě jediné zařízení, které potřebuje kalibrovat je zařízení prezentátora. Jelikož toto zařízení bylo ve třídě již kalibrováno, mělo by se zkalibrovat automaticky při spuštění. Pokud by se tomu tak nestalo, bylo by to jediné zařízení, které by se muselo kalibrovat znova.

Z těchto možností mi jako nejlepší přijde možnost třetí. Prvotní příprava třídy na výuku je poměrně rychlá. Každá další příprava ve stejné třídě je hotova téměř ihned. Při změně světelných podmínek je nutné překalibrovat pouze jedno zařízení a rychlost přípravy je tak stále poměrně rychlá. Kdyby se podařilo nějakým způsobem propojit externí kameru s headsetem, pak by druhá možnost mohla být

---

<sup>8</sup> Stacionární režim je režim, ve kterém uživatel pouze stojí nebo sedí na místě. Nespecifikuje tak prostor pro volný pohyb. Ten je automaticky vytvořen v těsné blízkosti kolem něj.

teoreticky lehce rychlejší. Tato možnost však vyžaduje využití externích kamer. Jelikož je toto řešení závislé na správnosti trackingu všech použitých zařízení, stává se také méně robustní než řešení třetí, které je závislé pouze na správnosti trackingu zařízení prezentátora. Z těchto důvodů jsem se rozhodl do aplikace implementovat třetí řešení.

### 3.2.5 Teleportace

V aplikaci jsem uživateli umožnil schopnost teleportace jako způsob pohybu, viz další kapitola. Možnost teleportace však do aplikace vnáší jistá úskalí. Při pohybu pomocí reálné chůze se díky správnému trackingu zařízení zarovnání fyzického a virtuálního světa neporuší. Ve chvíli, kdy uživatel provede teleportaci, se zarovnání fyzického a virtuálního světa poruší a uživatel studenty uvidí na jiných místech, než kde reálně jsou.

Pro tento problém jsem vyřešil jednoduché registrační menu. Toto menu obsahuje dvě ikony. Po přetažení ikony světa na ikonu uživatele se souřadný systém virtuálního světa registruje se souřadným systémem uživatele a stanoví se počátek virtuálního světa na základě pozice a orientace uživateli hlavy. Toto by se mělo ideálně provést jednou při prvním spuštění aplikace na nějakém místě. Pokud přetáhneme ikonu uživatele na ikonu světa, pak se virtuální pozice uživatele synchronizuje podle takto nastaveného počátku. V podstatě přetažení ikony uživatele na ikonu světa odečte od uživateli virtuální pozice veškerou translaci provedenou teleportací. Zůstane tak pouze translace provedená pomocí reálné chůze, a tak jsou oba světy synchronizované. V tuto chvíli může prezentátor libovolně chodit ve vyznačeném území, aniž by narazil do nějakého fyzického či virtuálního objektu.

### 3.3 Výkonnostní testování

Jelikož mám k dispozici pouze omezený počet headsetů, musím vymyslet nějaký způsob, jakým by se dalo otestovat, zda by aplikace byla schopna unést připojení celé třídy žáků a prezentátora najednou, řekněme 30 uživatelů naráz. Cílená zařízení série Oculus Quest jsou schopna 72 FPS<sup>9</sup>. Dodržení tohoto počtu snímků za sekundu je však pro interaktivní aplikace vyžadováno. [OC10] Otázkou tedy je, zda je server schopný zvládnutí připojení třiceti uživatelů současně přičemž zachovat 72 FPS.

Zachování vysokého počtu FPS je u aplikací pro virtuální realitu obzvlášť důležité. Čím nižší FPS aplikace má, tím je delší doba mezi aktuálně zobrazeným snímkem a tím, co by uživatel měl správně vidět. Mozek předpokládá, že se při pohybu hlavou obraz mění ihned, a tak můžou nízké FPS vyvolat uživateli nevolnost.

FPS klientských aplikací nejsou přímo ovlivněny obsluhou síťování, neboť ta se provádí pouze na serveru. Z toho důvodu má největší smysl měřit FPS právě na serveru. Všechny klienty ovlivňuje dále rychlost aplikace, tedy rychlost vykreslování, výpočet fyziky atd. Mirror využívá server v podobě host klienta, viz kapitola Mirror, který je zároveň klientem i serverem najednou. Jeho FPS budou zatíženy jak obsluhou síťování, tak rychlostí aplikace jako takové. Rychlost serveru se pak odvíjí od toho, jak rychle dokáže aplikace běžet na host klientovi. Klienti nebudou zatíženi obsluhou síťování, ale budou ovlivněni latencí, která se odvíjí také od toho, jak rychlý je server. Spodní hranice latence se u mobilních zařízení propojených přes WiFi pohybuje kolem 40-60 milisekund. [22]

S omezeným množstvím headsetů lze k testování využít počítač, na kterém budeme spouštět instance aplikace. Jelikož v reálném scénáři komunikace mezi zařízeními probíhá přes WiFi, testování musí být taktéž provedeno přes WiFi. Jak jsem zmínil výše, tak pouze zařízení, které operuje jako server je zatíženo obsluhou síťování. Bude tedy stačit, aby pouze host instance běžela na cílovém zařízení série Oculus Quest, na kterém se také bude výkonost měřit. Jelikož se za normálních okolností budou posluchači hýbat, je nutné toto chování nějakým způsobem imitovat v klientských instancích také. Navrhoval bych tedy udělat nějaký jednoduchý skript, který by například otáčel hlavou posluchačů.

Při návrhu jsem vycházel ze zdroje [10]. Tato práce se zabývá právě výkonnostním testováním víceuživatelské aplikace ve virtuální realitě přes lokální síť. Pro implementaci aplikace je taktéž využít herní engine Unity a síťovací knihovna Mirror. Výsledky práce ukázaly, že je možné udržet v průměru 70–72 FPS při současném připojení 30 uživatelů. Však v době snímků, kdy je prováděna synchronizace se FPS výrazně sníží, což je nevhodné pro víceuživatelskou VR aplikaci. Kdyby se však synchronizace více rovnoměrně rozložila, mohlo by se těmito úpadkům FPS zamezit. 18 současně připojených uživatelů je tedy spodní hranice toho, co by takovýto systém měl zvládnout.

---

<sup>9</sup> Z anglického *frames per second*. Znamená počet snímků za vteřinu.



## 3.4 Návrh interakčních technik

Jelikož je návrh interakčních technik spjatý s návrhem naučné části aplikace ohledně vesmíru, budu v této kapitole popisovat obě tyto součásti.

Při návrhu demonstrační aplikace jsem vycházel z toho, co by aplikace měla prezentátorovi umožňovat. Tedy ze specifikace od Jana Spratka. Přišlo mi, že požadavky by se daly rozdělit do dvou skupin. Do první skupiny spadá manipulace s jednotlivými tělesy a jejich vzájemné porovnávání. Dalo by se říct, že tato skupina vnáší prezentátora do role boha. On je středem vesmíru a může si s vesmírnými tělesy dělat, co se mu zlíbí. Tělesa se podřizují jemu, necestuje on k tělesům, ale tělesa cestují k němu.

Druhá skupina vnáší prezentátora do role člověka obdařeného schopností přemísťovat se na různá místa ve Sluneční soustavě. Tato místa, jako například oběžná dráha planety Mars, jsou pevně dána a uživatel cestuje na tato místa, nikoli tato místa k uživateli.

Na základě tohoto dělení jsem se rozhodl aplikaci logicky rozdělit do dvou částí. Na takzvaný malý individuální vesmír, se kterým může uživatel libovolně manipulovat, a na takzvaný velký skutečný vesmír, po kterém uživatel cestuje. Uživatel je v každou chvíli na nějakém konkrétním místě ve velkém vesmíru, přičemž má neustále k dispozici vesmír malý. Díky tomu je tak například možné pozorovat velký Mars, jak prolétá kolem, zatímco mít v ruce malý Mars a ukazovat jeho vnitřní strukturu.

Malý vesmír je v podstatě soubor zmenšenin vesmírných těles, se kterými může uživatel libovolně manipulovat. K dispozici má nabídku, ze které může jednotlivá tělesa přivolávat. Tato nabídka obsahuje všechny planety, měsíce a družice. Po přivolání tělesa s ním pak uživatel může provádět následující operace popsané dále v této kapitole.

### 3.4.1 Translace a rotace těles

Jedním z požadavků od Jana Spratka byla možnost porovnávat tělesa vedle sebe. Proto bylo vhodné do aplikace zahrnout možnost přemísťovat objekty. Uživatel pak může skládat tělesa vedle sebe podle libosti. Navíc opakovaným výběrem stejného tělesa z nabídky může prezentátor tato tělesa naskládat vedle sebe. Lze tak například ukázat, kolikrát se Země vejde do průměru Jupiteru. Pro porovnávání těles vedle sebe jsem dále do aplikace zahrnul možnost rotace těles. Rotace přijde vhod, pokud chce prezentátor ukazovat nějaká konkrétní místa na tělese. Rotace těles také umožní například porovnání Jupiterovi Velké rudé skvrny s velikostí jednotlivých planet.

Pro translaci a rotaci těles jsem chtěl využít co možná nejvíce přímou interakci, na kterou je uživatel zvyklý z reálného světa. Tím uživateli napomůžeme s tvorbou mentálního modelu, viz kapitola Analýza interakčních technik. Tělesa na dosah ruky uživatel může přesouvat a otáčet přímo pomocí rukou. Pokud na těleso uživatel nedosáhne, pak může tyto operace provádět pomocí interakčního paprsku, který mu vychází z ruky. Paprskem nejprve dané těleso vybere tím, že na něj paprskem namíří. To, že je těleso vybráno, uživateli dávám najevo tím, že paprsek zbledne. V tuto chvíli uživatel může těleso uchopit zmáčknutím tlačítka pro úchop, viz nadcházející kapitola Mapování. Těleso pak může pohybem ruky přesouvat a otáčet podobně, jako kdyby měl objekt přichycený na dlouhé tyči. Oba tyto způsoby manipulace zachovávají jak prostorovou, tak časovou kompilanci. Ve chvíli, kdy má uživatel těleso uchopené pomocí paprsku, může jej pomocí joysticku přibližovat nebo oddalovat od ruky. Pokud tedy například chce s tělesem manipulovat pomocí ruky a ne paprsku, nejprve jej paprskem uchopí, a následně si jej přiblíží do ruky.

Pomocí kontrolního panelu, viz další podkapitola, lze rotaci těles deaktivovat. Těleso tak bude ignorovat rotace ruky. Toto se také hodí pro resetování rotace zvoleného tělesa.

### 3.4.2 Uživatelské rozhraní

Abych zachoval vysokou imersi uživatele, snažil jsem se používat co nejvíce diegetická a geometrická uživatelské prvky, viz kapitola Uživatelské rozhraní.

S objekty ve scéně uživatel buď interaguje přímo pomocí rukou či paprsku nebo nepřímo prostřednictvím kontrolního panelu. Ten jsem se snažil navrhnout tak, aby působil více diegeticky, než běžný widget. Kontrolní panel je reprezentován jako trojrozměrný pult, obsahující různé kontrolní prvky, jako jsou tlačítka a posuvníky. Poskytuje uživateli funkcionality, které nelze s objekty vykonávat přímo. Těleso, se kterým bylo naposled manipulováno, se automaticky zvolí do kontrolního panelu a všechny akce z kontrolního panelu se dále stahují na tento zvolený objekt. Objekt lze také zvolit namířením interakčního paprsku na objekt a zmáčknutím tlačítka pro aktivaci, viz kapitola Mapování. Každé těleso, které je přivoláno z nabídky se také automaticky zvolí.

Aby uživatel nebyl ovládacími prvky zahlcen, rozdělil jsem menu do dvou úrovní. Kontrolní panel jsem se také pokusil navrhnout tak, aby funkcionality, které jsou významově příbuzné, byly v menu pohromadě. To z důvodů logického uspořádání, které si lze snáze zapamatovat. Také však z důvodu možnosti plynulejšího výkladu bez nutnosti navštěvovat jiná menu. První úroveň menu poskytuje důležité akce, jako například smazání objektu a navigaci do jednotlivých menu v druhé úrovni, jenž poskytují příbuzné funkcionality. Jelikož mi přišlo, že změna velikosti tělesa se využívá téměř pořád, je tento posuvník obsažen v každém menu.

Dalším prvkem uživatelského rozhraní byla nabídka těles. Tato nabídka je opět reprezentována trojrozměrnými objekty umístěnými ve světě. Při namíření paprsku na těleso se těleso v nabídce zvýrazní, což naznačuje, že je těleso možné přivolat.

Uživatelské rozhraní pro definici pozorovacích míst je také spíše diegetické. Uživatel si pomocí určeného tlačítka zapne poloprůhlednou rovinu ve výšce podlahy. Na této rovině pak může specifikovat pozorovací místa pomocí interakčního paprsku. V místě, kde se interakční paprsek protíná s plochou je uživateli zobrazován 3D objekt znázorňující pozorovací místo. Ve chvíli, kdy uživatel stiskne tlačítko pro aktivaci, se daný objekt se zde instancuje<sup>10</sup>. Vzhled tohoto objektu jsem zvolil téměř identický s objektem, který reprezentuje uživatele. Tento objekt jsem akorát navrhl poloprůhledný, aby byl rozlišitelný od připojených uživatelů. Tedy pokud dané pozorovací místo ještě neobývá uživatel, je avatar poloprůhledný, pokud ho již obývá, pak je vykreslen avatar neprůhledný.

Co se týče geometrického uživatelského rozhraní, tak to jsem využil pro vizualizaci oběžných drah těles. Jedná se vlastně o vykreslení oběžné elipsy na základě aktuálních parametrů obíhajícího tělesa.

### 3.4.3 Změna měřítka

Jan Spratek si dále přál nějaký vhodný způsob, jak zobrazit fungování Sluneční soustavy. Mluvil například o možnosti měnit rychlost oběhu planet. Aby bylo nejlépe vidět fungování Sluneční soustavy, přišlo mi nejvhodnější její zmenšeninu vymodelovat a animovat. Logicky každá planeta a Slunce má vlastní oběžný systém. Tento systém lze podle libosti zapnout a vypnout. Ve chvíli, kdy je systém zapnutý, je možné měnit jeho různá měřítka, a to měřítka času, těles a prostoru.

Měřítka času zrychluje a zpomaluje rychlost pohybu těles. Měřítka času funguje tak, že když ho zmenšíme na minimum, odpovídá skutečné rychlosti těles. Tedy například bychom opravdu čekali rok, než Země obletí Slunce. Maximální měřítka času jsem u jednotlivých oběžných systémů volil tak, aby tělesa oběhla kolem středového tělesa během jednotek vteřin.

---

<sup>10</sup> Instancování v tomto kontextu znamená vytvoření herní instance objektu na základě jeho předlohy. Této předloze se v Unity říká prefab.

Měřítka těles mění velikosti těles. Nejmenší a největší velikosti těles jsem zvolil tak, aby to velikostně dávalo uživateli smysl. V aplikaci je dále možné přepínat mezi využitím uniformního měřítka a využitím relativního měřítka. Uniformní měřítka znamená, že jsou všechny planety stejně velké. Relativní měřítka pak zachovává relativní velikosti planet vůči sobě. Toto měřítka se od ostatních liší tím, že ovlivňuje všechny aktuálně přivolaná tělesa z dané skupiny těles. Tomu je tak z toho důvodu, aby se nerozhodily relativní velikosti mezi tělesy. Skupina těles je skupina těles, která se porovnává vůči sobě exkluzivně. V danou chvíli aplikace obsahuje dvě skupiny těles. Jednou skupinou jsou planety, měsíce a Slunce. Druhou skupinou jsou družice. Toto dělení jsem zavedl, protože rozdíl ve velikosti družic a planet je až příliš velký. V relativním měřítku by družice nebyly vidět a přišli bychom tak o možnost porovnávat družice velikostně vůči sobě.

Měřítka prostoru ovlivňuje vzdálenost mezi jednotlivými tělesy. Tedy kdyby bylo měřítka prostoru rovno nule, pak by všechna tělesa byla soustředná v počátku oběžného systému. V aplikaci jsem měřítka prostoru nastavil vždy tak, že pokud je rovno maximální hodnotě, pak vzdálenost odpovídá skutečnosti. Tím mám na mysli to, že kdyby tělesa měla takovouto velikost, pak by vzdálenosti mezi nimi byly takové. Měřítka těles tedy přímo ovlivňuje i měřítka prostoru, ale ne naopak.

Jelikož tyto operace nejsou již tak triviální, využil jsem zde méně přímou interakci, a to využitím posuvníku na kontrolním panelu. Uživatel přímo interaguje s posuvníkem buď rukou anebo pomocí paprsku. Podle polohy posuvníku se pak mění dané měřítka.

#### 3.4.4 Specifické operace

Jak Spratek dále specifikoval několik specifických operací, jako například rozevření planety a ukázání jejího jádra, zobrazení oběžných drah těles nebo navštívení tělesa ve vesmíru. Pro tyto specifické operace jsem se rozhodl využít tlačítek v menu. Tedy například pro otevření další vrstvy zvolené planety existuje v menu odpovídající tlačítka. Tento přístup je velmi intuitivní a jednoduchý na pochopení. Nevýhodou tohoto přístupu je to, že je časově náročnější než přímá interakce. Pokud by těchto funkcí bylo v menu mnoho, uživatel by se v menu mohl začít ztrácet. Aktuální stav menu sice neobsahuje příliš mnoho funkcionalit, však podle mého by se mělo přemýšlet o tom, jak co nejvíce interakcí umožnit provést přímo bez menu. Tento přístup jsem se pokusil aplikovat právě na otevírání a zavírání vrstev vybrané planety pomocí dvou gest. Když uživatel drží planetu v jedné ruce, může ji zároveň uchopit i druhou rukou. Dále pak pokud rukou táhne směrem od druhé ruky a úchop pustí, pak je detekováno gesto pro otevření vrstvy. Pokud rukou táhne směrem k druhé ruce a úchop pustí, detekuje se gesto pro zavření vrstvy.

Pohyby po vesmíru jsou také implementovány skrze kontrolní panel. Ve chvíli, kdy máme planetu vybranou, je možné pomocí zmáčknutí tlačítka s raketou se planetě přemístit. Obrazovka se nejprve pomalu zatemní a po následném odtemnění se uživatel ocitá v blízkosti planety.

#### 3.4.5 Pohyb

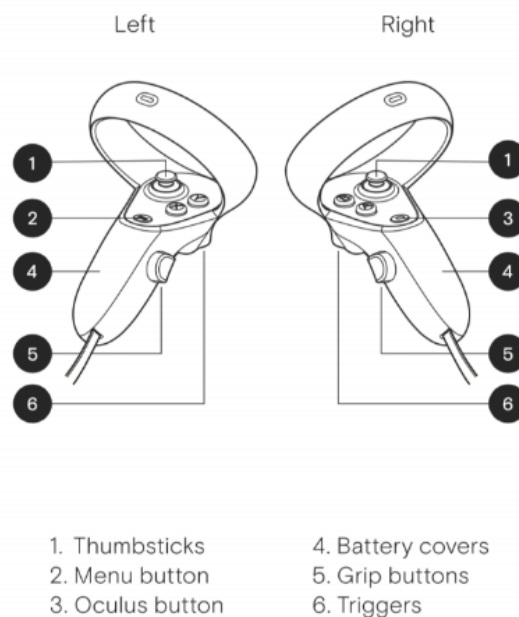
Aplikace je určena zejména pro školní výuku, a tedy do školních tříd. Ve třídě si uživatel před startem aplikace vytvoří ochranný prostor, který bude vyznačovat prostor, ve kterém se uživatel bude moci libovolně pohybovat, aniž by do něčeho narazil. Tento prostor pak ve virtuálním světě bude téměř stejně velký, jako ten v reálném světě. Hlavním způsobem pohybu ve scéně je teak reálná chůze. Jelikož se však někdy může hodit se někam dostat rychleji a teleportace je dnes poměrně běžným způsobem pohybu ve VR, tak jsem tuto možnost uživateli také poskytl.

## 4 Implementace

V minulé kapitole jsem popsal aplikaci po významové stránce, v této kapitole blíže rozeberu aplikaci po implementační stránce. Kapitulu jsem rozdělil stejným způsobem jako kapitolu minulou. Nejprve se tedy budu zabývat implementačními detaily víceuživatelského systému. Poté přejdu k implementačním detailům interakčních technik. Úplně nejdříve však popíšu, jak jsem provedl mapování ovládacích prvků na Oculus ovladače.

### 4.1 Mapování

Aplikace se ovládá pomocí ovladačů headsetu Oculus Quest. V této kapitole nejprve ovladače popíšu, a následně vysvětlím, jak jsem se rozhodl namapovat jednotlivé akce na tyto ovladače.



Obr. 13 Ovladače pro Oculus Quest. Obrázek získán ze zdroje [15].

Každý ovladač obsahuje celkem šest ovládacích prvků, viz níže. Jednotlivé prvky lze vidět na obrázku 13. Anglické označení lze vidět na obrázku 13.

1. 2DoF joystick
2. Tlačítko menu. Toto tlačítko je pouze na levém ovladači
3. Tlačítko Oculus. Toto tlačítko je pouze na pravém ovladači.
4. Rukojeť
5. Tlačítko úchop
6. Tlačítko spoušť

Dále každý ovladač obsahuje ještě dvě tlačítka, která na obrázku nejsou popsána. Na levém ovladači to je tlačítko X a Y (X dole, Y nahoře). Na pravém ovladači to pak je tlačítko A a B (A dole, B nahoře).

Při návrhu mapování bychom měli opět brát v potaz na mentální modely, které má již člověk vytvořené. V mnoha aplikacích pro virtuální realitu se akce pro úchop objektů mapuje, jak název napovídá, na tlačítko úchop. Tento způsob mapování se také podobá způsobu, jakým držíme objekty

v reálném světě. Z těchto důvodů nevidím důvod, proč bych toto mapování dělal jinak. Podobně je tomu s akcí aktivace, která se většinou mapuje na tlačítko spoušť. Aktivaci jsem namapoval na toto tlačítko i já. Pro teleportaci se často využívá joystick nebo jedno z tlačítek X/Y či A/B. Já jsem se rozhodl akci teleportace namapovat na joystick, protože se mi zbylá tlačítka budou hodit pro zbylé akce. Těmito akcemi jsou zobrazení či skrytí jednotlivých menu. Jelikož mají povahu přepínače, nedávalo smysl je mapovat na joystick.

## 4.2 Implementace víceuživatelského systému

Pro implementaci víceuživatelského systému používám knihovnu Mirror, jak jsem popsal v kapitole Zvolená technologie.

Při spuštění aplikace se uživatel objeví v nesíťované scéně. Zde je uživateli přiřazen nesíťovaný hráč, který mu umožní provádět základní interakce, neposkytuje mu však žádnou síťovou funkcionalitu. Zde má možnost buď vyhledat dostupné servery nebo založit nový server. Po založení nového serveru se uživatel automaticky na server připojí a přemístí se do již síťované scény. Pokud uživatel vyhledá dostupné servery, může si následně z nabídky serverů požadovaný vybrat. Po vybrání serveru se uživatel přemístí do síťované scény, kde již může vidět ostatní.

Pro zjednodušení připojování na server využívám *NetworkDiscovery*, viz kapitola Zvolená technologie. Po vytvoření serveru pomocí metody *StartHost* uvědomím komponentu *NetworkDiscovery* o vytvořeném serveru pomocí metody *AdvertiseServer*. Pro vyhledání dostupných serverů využívám metody *StartDiscovery*. Ve chvíli, kdy je nějaký server nalezen, dynamicky vytvořím tlačítko, které umožní se k danému serveru připojit.

Po připojení do síťované scény je každému hráči přiřazen síťovaný hráč. Důležité je, lokálně odstranit kamery všem nelokálním hráčům, jinak by si je hráči navzájem přebírali. Synchronizuji tedy pouze herní objekt hlavy, nikoli však kameru. Podobně tomu je s tělem. To ponechávám pro změnu pouze nelokálním hráčům, neboť velmi překáželo ve výhledu. Ruce zase nechávám pouze prezentátorovi, jenž je jediný, kdo může aplikaci ovládat.

Zda je hráč lokální lze ze skriptu *NetworkBehaviour* poznat pomocí proměnné *isLocalPlayer*. Zda je hráčem prezentátor poznám podle toho, kolik hráčů je již připojeno. Prvního připojeného hráče označím jako prezentátora.

Po připojení prezentátora, což je zpravidla ten, kdo vytvořil server, lze specifikovat pozorovací místa pro posluchače, viz kapitola Návrh víceuživatelského systému. Do scény jsem přidal rovinu, kterou uživatel může aktivovat a deaktivovat pomocí tlačítka Y. Namířením interakčním paprskem na rovinu a následnou akci aktivace může uživatel vytvářet tato pozorovací místa. Připojujícím posluchačům je pak při připojení v metodě *OnServerAddPlayer* přiřazeno příslušné pozorovací místo.

Synchronizace transformací se provádí pomocí komponenty *NetworkTransform*, viz kapitola Zvolená technologie. Synchronizace událostí se musí provádět přes metody zvané *Commands* a *ClientRpc*. *Command* je metoda, pomocí které komunikují klienti se serverem. Je volána z klientské instance a běží na serveru. *Command* může být zavolán pouze z herního objektu, nad kterým má klient autoritu. To je vždy objekt reprezentující daného klienta v aplikaci. *ClientRpc* je na druhou stranu metoda, kterou komunikuje server ke klientům. Tato metoda je volána ze serveru a běží na klientských instancích aplikace.

Pokud tedy chceme provést nějakou akci na všech klientech, musíme nejprve zavolat *Command* na serveru a následně z dané metody zavolat *ClientRpc* na klientech. Jelikož, jak jsem říkal, *Command* je možné volat pouze z objektu, nad kterým má klient autoritu, je nutné tato volání provádět skrze tento objekt. Každému objektu hráče jsem přiřadil skript *PVRNetworkPlayer*, skrze který mohu volat na serveru metody typu *Command*.

## 4.3 Implementace interakčních technik

Pro zrychlení vývoje VR aplikace jsem se rozhodl využít XR Interaction Toolkit. To je vysokoúrovňový interakční systém založený na komponentách. Základem tohoto systému jsou komponenty typu *Interactor* a *Interactable*. Komponenty typu *Interactor* umožňují herním objektům interagovat s objekty, které obsahují komponenty *Interactable*. Veškerá interakce tedy probíhá vždy mezi těmito dvěma typy komponent a tuto komunikaci zajišťuje *Interaction Manager*. Dále tento systém poskytuje *XR Rig*, což je prefab,<sup>11</sup> který zajišťuje, aby poloha kamery v aplikaci odpovídala poloze headsetu.

V základu mi tento systém poskytuje základní interakční techniky pro manipulaci s objekty a pohyb ve scéně. Mezi ty patří úchop objektu rukou, úchop objektu paprskem a teleportace. Pro každou z těchto technik XR Interaction Toolkit poskytuje speciální typ komponenty *Interaktor*. Na základě vztahu mezi objektem s komponentou *Interactor* a objektem s komponentou *Interactable* jsou volány události *HoverEntered*, *HoverExited*, *SelectEntered*, *SelectExited*, *Activated* nebo *Deactivated*. Události typu *Hover* jsou spjaté s tím, zda je možná v danou chvíli objekt vybrat. Události typu *Select* jsou spjaté s akcí vybrání objektu a události typu *Activate* pak s akcí aktivace. Tyto události jsou volány, jak na objektu s komponentou *Interactor*, tak i na objektu s komponentou *Interactable*. Se základní funkcionalitou jsem byl téměř spokojen. Více jsem upravoval pouze následující tři záležitosti.

### Aktivace bez nutnosti akce úchop

První záležitostí, kterou jsem potřeboval změnit, bylo logika události *Activate*. V původní implementaci poskytované systémem XR Interaction Toolkit lze objekt s komponentou *Interactable* aktivovat pouze, pokud objekt již držíme. Chtěl jsem, aby bylo možné objekt aktivovat pouze namířením paprsku na objekt a zmáčknutím tlačítka pro aktivaci. Přepsal jsem tedy *XRRayInteractor* na *PVRRayInteractor*.<sup>12</sup> *PVRRayInteractor* si drží seznam referencí na objekty s komponentou *Interactable*, na které paprsek zrovna míří. Vždy, když na nějaký objekt s komponentou *Interactable* paprsek namíří, přidám ho do tohoto seznamu. Vždy, když na nějaký takový objekt paprsek mířit přestane, odeberu ho z tohoto seznamu. K tomu využívám události *HoverEntered* a *HoverExited*. Při zavolání metody *Activate* vyberu ze seznamu ten nejbližší objekt a na tomto objektu zavolám událost *Activated*.

### Vzdálený úchop

Základní implementace úchopu pomocí ruky v systému XR Interaction Toolkit je taková, že když se objekt uchopíme, pak se nám jeho střed zarovná na takzvaný *attachTransform*. To je herní objekt, který specifikuje místo úchopu. Problém je ten, že pak každé těleso můžeme držet pouze v jeho středu. To je nepraktické obzvláště u velkých těles, u kterých může jejich poloměr klidně přesahovat délku ruky, tím pádem to umísťuje uživatelskou hlavu dovnitř tělesa.

Řešení je takové, že ve chvíli, kdy uživatel objekt uchopí, nastavíme *attachTransform* do středu objektu. Tím pádem se objekt nepohne, neboť *attachTransform* je přímo na jeho místě. S objektem tak lze manipulovat z místa, ve kterém jsme ho chytili. Při puštění objektu nastavíme *attachTransform* zpět na původní místo.

---

<sup>11</sup> Prefab je v Unity označení pro vzorový objekt, který lze při běhu aplikace instancovat.

<sup>12</sup> Mnou přepisované skripty z XR Interaction Toolkit označuji tím, že na začátku jména skriptu namísto XR vloží PVR (Planetarium VR). Tedy například *XRRayInteractor* změním na *PVRRayInteractor*.

## Úchop dvěma rukama

Do aplikace jsem chtěl vložit gesto pro otevírání jednotlivých vrstev planet. Toto gesto má jako výchozí bod to, že uživatel drží planetu oběma rukama. Musel jsem tedy vymyslet způsob, jak naimplementovat tuto funkcionalitu, protože ji XR Interaction Toolkit neposkytuje. Problém je v tom, že každý objekt s komponentou *Interactable* může mít přiřazenou pouze jednu komponentu typu *Interactor*. Trik spočívá v tom, že na objekt přidáme celkem tři komponenty typu *Interactable*. Jednu do kořenu hierarchie a zbylé dvě po jedné do dvou potomků v hierarchii. *Interactable* v kořeni hierarchie jsem rozšířil o dvě proměnné typu *Interactor*, a to *primaryHand* a *secondaryHand*. Kořenové komponentě typu *Interactable* nastavíme interakční vrstvu na prázdnou, aby s ní nešlo interagovat. Interagovat tak lze pouze se zbylými komponentami typu *Interactable*. Ve chvíli, kdy uchopíme první ze dvou zbylých komponent typu *Interactable*, nastavíme interagující komponentu typu *Interactor* jako *Interactor* kořenové komponenty *Interactable*, a také jako *primaryHand*. Tím je možné manipulovat s celým objektem. Ve chvíli, když druhá ruka uchopí poslední *Interactable*, nastavíme ji do proměnné *secondaryHand*. Nyní, když má objekt reference na obě ruce, je možné gesto identifikovat na základě jejich pozic.

Jelikož se však úchopové oblasti pro úchop první a druhou rukou překrývají, bylo dále nutné separovat jejich interakční vrstvy. Kdybych tak neučinil, ruce by si navzájem planetu přebíraly. Vytvořil jsem tedy dvě nové interakční vrstvy *PrimaryInactive* a *SecondaryInactive*. Primární úchop začíná v interakční vrstvě společně se komponentou *Interactor* rukou uživatele. Lze s ním tak tedy interagovat. Sekundární úchop začíná ve vrstvě *SecondaryInactive*, ve které žádný *Interactor* není a nelze s ním tak interagovat. Ve chvíli, kdy je primární úchop uchopen, přiřadím jemu i *Interactoru*, který úchop uchopil interakční vrstvu *PrimaryInactive* a sekundární úchop přidám do aktivní vrstvy, kde s ním mohou všechny komponenty *Interactor* interagovat, tedy až na *Interactor*, který právě drží primární úchop. Ve chvíli, kdy druhá ruka uchopí sekundární úchop, přiřadím jemu a komponentě typu *Interactor*, který úchop uchopil, interakční vrstvu *SecondaryInactive*.

## Více komponent typu Interactor

Po přidání více komponent *Interactor* do scény jsou implicitně všechny aktivované. Pokud tedy máme *Interactor*, který zprostředkovává výběr pomocí paprsku a druhý, který zprostředkovává teleportaci pomocí druhého paprsku, oba paprsky jsou viditelné najednou. Navíc, pokud například držíte objekt pomocí paprsku a chcete ho oddalovat či přibližovat, pak je možné, že se nechtěně teleportujete. Udělal jsem si tedy jednoduchý skript *InteractorsManager*, který řeší správnou aktivaci různých komponent *Interactor*. Rád bych ještě poznamenal, že *InteractionManager* hlásí chybu, pokud deaktivujeme herní objekt s komponentou *Interactor*. Deaktivaci tedy provádím vypnutím vizuálního indikátoru a změnou Interakční vrstvy dané komponenty *Interactor* na prázdnou.

## Uživatelské menu

V celé aplikaci jsem se snažil zachovat podobný způsob interakce. S prvky uživatelského rozhraní se tedy interaguje stejným způsobem. Vybrat, či s tisknout prvek uživatelského rozhraní se provede taktéž stisknutím tlačítka aktivace. Věci, které lze přesouvat se také přesouvají stisknutím a podržením tlačítka pro úchop.

Kontrolní panel obsahuje více různých kontrolních prvků. Obsahuje klasická tlačítka, prepínací tlačítka, exkluzivní tlačítka a posuvníky. Obyčejná tlačítka po zmáčknutí provedou přiřazenou akci. Takové tlačítko je použito například pro zničení vybraného tělesa. Prepínací tlačítka mají přiřazené dvě akce prováděné při zapnutí a vypnutí tlačítka. Takové tlačítko je použito například pro zapnutí/vypnutí oběžných drah. Exkluzivní tlačítka mají připojenou jednu akci, kterou nelze opakovat, dokud nestiskneme jiné tlačítko z dané skupiny exkluzivních tlačítek. Tato akce je většinou spjatá se změnou stavu, a tak opakované stisknutí stejného tlačítka nemá smysl. Tato tlačítka jsou použita například pro změnu měřítek těles.



Kontrolní panel dále obsahuje posuvníky. Ty jsou tvořeny úchytem, který má svůj pohyb povolený pouze v jedné ose, což je příklad využití omezení viz kapitola Analýza interakčních technik. Na každé straně je zarážka, která zabraňuje posuvníku se pohybovat mimo definovaný rozsah. Na základě pozice úchytu mezi zarážkami je vypočítávána hodnota, která je následně posílána ke zpracování.

## 4.4 Implementace planetária

Poslední část této kapitoly je věnovaná implementaci vybraných prvků pro prezentaci o sluneční soustavě. Tato část není specifická pro VR ani pro síťování.

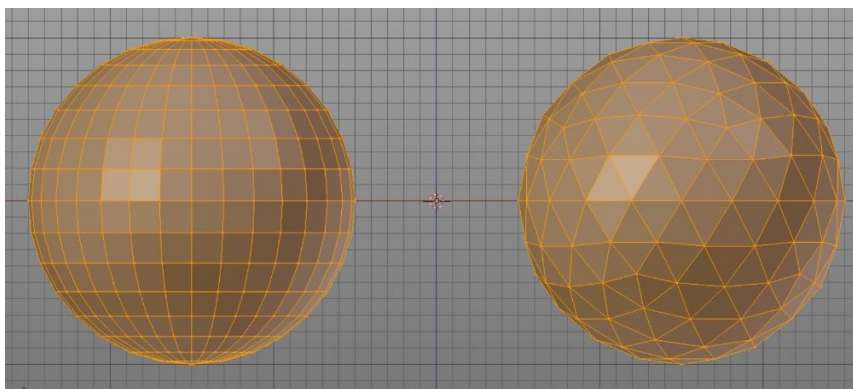
### Procedurální generace planety

Z důvodu potřeby nějakým způsobem rozevřít planetu a ukázat její jádro bylo nutné modifikovat geometrii planet. Naskytovalo se mi zde více možností, jak jádro planety zobrazit. Já jsem vzal slovo rozevřít doslova a pokusil jsem se rozevření planety procedurálně animovat. Nejprve tedy bylo zapotřebí geometrii planety procedurálně vygenerovat. Informace ohledně práce s geometrií v Unity jsem čerpal z [13]. Při implementaci jsem pak vycházel z [12].

Pokud chceme v Unity zobrazit nějaký 3D model, pak k tomu potřebujeme dvě komponenty, a to *MeshFilter* a *MeshRenderer*. *MeshFilter* je komponenta, která obsahuje referenci na mesh, kterou chceme zobrazit. Udává tak tedy, jaký tvar modelu. *MeshRenderer* určuje, jak bude vykreslovaná mesh vypadat. Jaké materiály budou použity, či například zda má mesh vrhat nebo přijímat stíny.

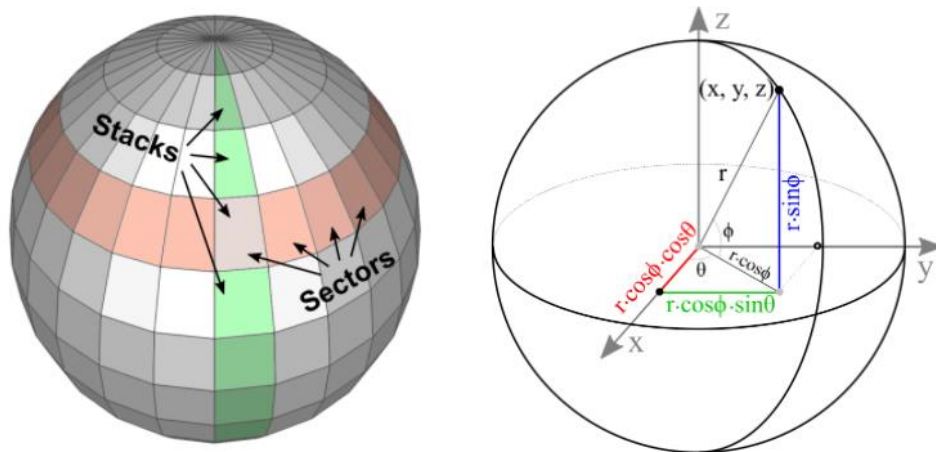
Koule je množina bodů, které mají od středu koule stejnou vzdálenost. Této vzdálenosti říkáme poloměr koule. Matematicky lze kouli umístěnou v počátku zapsat jako  $x^2 + y^2 + z^2 = r^2$ , kde  $r$  je poloměr koule. Každý bod na povrchu koule lze popsat pomocí dvou úhlů  $\phi$  a  $\theta$ . Úhel  $\phi$  udává, jak vysoko se na kouli nacházíme, úhel  $\theta$  pak kde se podél obvodu koule nacházíme, viz obrázek 15. Takto také popisujeme místa na naší planetě pomocí souřadnic. V tomto vztahu by  $\phi$  byla zeměpisná šířka a  $\theta$  zeměpisná délka. Úhel  $\theta$  leží v rozsahu 0 až 360 stupňů a úhel  $\phi$  leží v rozsahu 90 až -90 stupňů.

V počítačové grafice se modely běžně reprezentují pomocí trojúhelníkových sítí. Kouli tak nelze reprezentovat přesně. Musím tedy vybrat vhodnou aproximaci. Existují dva základní způsoby, jak aproximovat kouli pomocí trojúhelníků. Těmito aproximacemi je UV koule a ico-koule, viz obrázek 14. Pro moji potřebu otevírání planety bude vhodnější využít aproximaci UV koule.



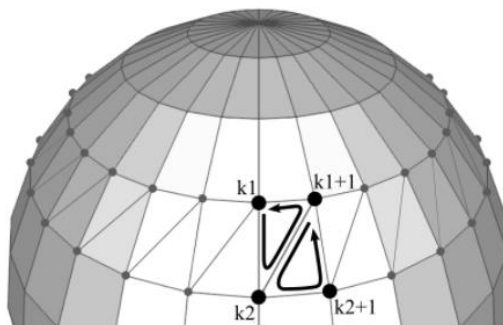
Obr. 14 UV koule (vlevo) a ico-koule (vpravo). Obrázek získán ze zdroje [20].

Při generaci UV koule budu postupovat tak, že nejprve vygeneruji všechny vrcholy 3D sítě a následně specifikuji její topologii. Povrch koule si rozdělím do menších oblastí, viz obrázek 15. Podélným oblastem budu říkat sektory a svislým štosy. Podle požadovaného rozlišení si zvolím počet sektorů a štosů. Na základě těchto počtů určím velikost kroku v každé ose. Pomocí vnořeného for cyklu pak vygeneruji jednotlivé vrcholy.



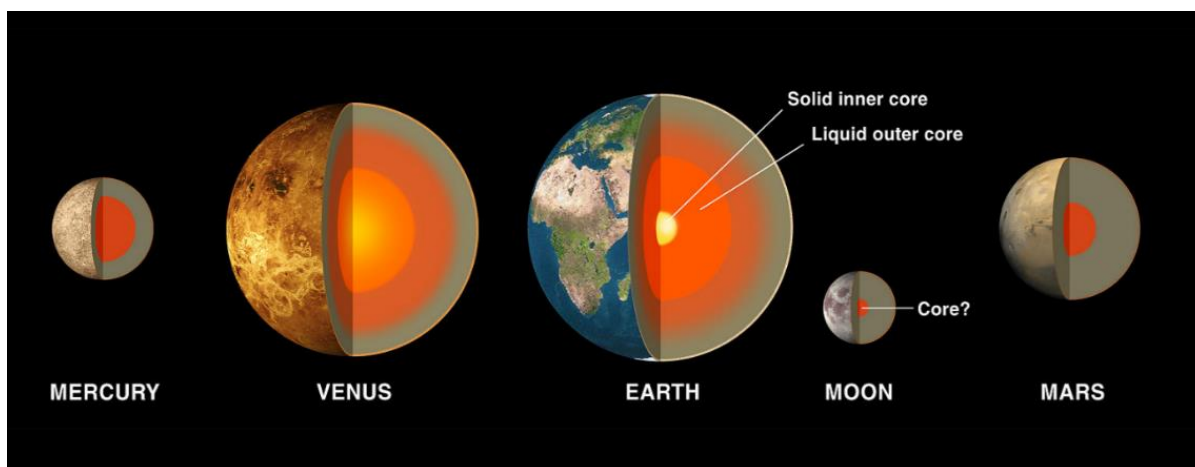
Obr. 15 UV koule rozdělená na sektory (vlevo). Bod na povrchu koule lze popsat dvěma úhly (vpravo). Obrázek získán ze zdroje [12].

Vzniklé vrcholy je nyní nutné spojit do trojúhelníků. Každá oblast až na ty u pólů se skládá ze dvou trojúhelníků. V každém sektoru tak budu indexovat dva trojúhelníky, viz obrázek 16.



Obr. 16 Triangulace UV koule. Obrázek získán ze zdroje [12].

Pro animaci otevírání, pak generuji koule opakovaně za sebou. Vždy však snížím maximální obvodový úhel teta, do kterého se mesh generuje. Snižováním tohoto úhlu dojde k tomu, že koule vypadá, jako by se otevírala. Zvyšováním tohoto úhlu pak kouli naopak zavírám. Doplnil jsem ještě půlkruhová víka, aby koule nevypadala dutá. Celá planeta se pak vždy skládá z několika takovýchto koulí, kdy každá reprezentuje jednu vrstvu, podobně jako to můžeme vidět na obrázku 17.



Obr. 17 Planetární vrstvy. Obrázek získán ze zdroje [21].

## Oběžné soustavy

Jednou z nejdůležitějších součástí aplikace jsou oběžné soustavy. Ústředním skriptem implementace oběžných soustav je *OrbitSystem*. V podstatě se jedná o skript udržující si odkazy na oběžná tělesa, kterým neustále posílá aktuální čas a udává informace ohledně měřítka času, prostoru a velikosti těles. Oběžné těleso musí mít komponentu *Orbiter*, což je skript, který na základě informací od skriptu *OrbitSystem* a parametrů své orbity vypočítává svou polohu.

Speciální variantou oběžného systému je *Ring*, což je skript zodpovědný za vizualizaci prstence. Tento skript dědí od skriptu *OrbitSystem*. Čím se liší, je způsob instancování oběžných těles. Zatímco *OrbitSystem* instancuje každé oběžné těleso právě jednou a ponechá mu jeho předem definovanou oběžnou dráhu i časy otočení a oběhu, *Ring* instancuje daný počet objektů vybraných náhodně ze seznamu poskytnutých prefab. Každému tělesu zvolí náhodný poloměr oběžné dráhy z daného rozsahu a rychlost oběhu upraví na základě vzdálenosti od středu oběžného systému, jelikož tělesa obíhající blíže ke středu obíhají rychleji.

## Měřítka velikosti

Velmi důležitou součástí aplikace je vizuální porovnání vesmírných těles vůči sobě. Aplikace nabízí dva módy porovnávání. Základním módem je uniformní velikost všech těles. To znamená, že všechna tělesa jsou stejně velká. V tomto módu lze lépe popisovat i velmi malá tělesa. Druhým módem je relativní velikost těles. V tomto módu jsou tělesa vůči sobě relativně správně velká. Tato měřítka u jednotlivých těles zajišťuje skript *SpawnHandler*, který si po instancování těles drží na tělesa reference.

Veškerá změna velikosti tělesa se provádí přes skripty *BodyController* a *Body*. Skript *Body* si uchovává reálnou velikost daného tělesa v metrech *\_size* a odkaz na objekt reprezentující těleso (obsahující mesh tělesa). *BodyController* si uchovává aktuální měřítka *\_bodyScale* a maximální měřítka tělesa *\_bodyMaxScale*. Hodnota *\_bodyMaxScale* udává měřítka tělesa, když *\_bodyScale* je rovno 1. Výsledná velikost tělesa se pak vypočítá jako  $\_bodyScale * \_bodyMaxScale * \_size$ . Tento přístup zjednodušuje výpočet velikostí těles. Pokud chci, aby byla tělesa vůči sobě relativně správně velká, nastavím jim *\_bodyMaxScale* na stejnou hodnotu. Pokud chci, aby tělesa byla stejně velká, nastavím jim  $\_bodyMaxScale = 1 / \_size$ . Hodnota *\_bodyScale* je pak svázaná s posuvníkem na ovládacím pultu.

## 5 Testování

Abych ověřil kvality implementované aplikace, rozhodl jsem se ji podrobit testování. Při testování jsem se zaměřil na jednotlivé aspekty. Testoval jsem aplikaci po prezentační stránce ze strany prezentátora, abych ověřil, zda implementované interakční techniky jsou vhodně navržené a implementované. Dále jsem aplikaci testoval ze strany posluchačů, abych zjistil, jak aplikace působí na diváka. Tato testování jsem prováděl s participanty, jelikož jsem potřeboval jejich názor. Rozhodl jsem se provést i testování zvoleného způsobu lokalizace posluchačů z kapitoly Návrh víceuživatelského systému. Toto testování je popsáno v závěru této kapitoly.

### 5.1 Testování s prezentátorem

První testování jsem provedl s potencionálním prezentátorem (dále subjekt). Aplikaci jsem testoval po uživatelské stránce. Zaměřil jsem se na implementované interakční techniky. Zajímalo mě zejména, zda jsou implementované techniky jednoduché na pochopení, jak jsou efektivní po osvojení a zda napomáhají prezentátorovi při prezentaci v předávání informací posluchačům. Toto testování jsem provedl pouze jednou, a to formou otevřeného rozhovoru v průběhu pobytu v aplikaci a krátce po něm.

Nejprve jsem subjekt potřeboval naučit aplikaci ovládat. Vyměnili jsme si tedy role a já se stal prezentátorem a on posluchačem. Postupně jsem mu vysvětloval, co v aplikaci dělám, a on mě pozoroval. Po této úvodní seznamovací prezentaci jsme si role opět vyměnili a subjekt si postupně všechny techniky vyzkoušel sám. Pokud bylo třeba, tak jsem mu napověděl.

Uživatel již s VR měl zkušenosti a na ovladače pro virtuální realitu je zvyklý. Popisoval, že se „Orientuje v tom, co ovládá palec, co ovládá ukazováček a že je tam nějaký joystick“. Ačkoliv mnoho učitelů nemá s VR žádné zkušenosti, s ovladači se lze seznámit během krátké chvíle, jelikož jsou poměrně jednoduché a intuitivní. Toto seznámení by je posunulo do zhruba stejného startovního bodu jako byl subjekt na začátku testování. Co se týče samotného mapování, tak subjektu přišlo naprosto srozumitelné.

Ve chvíli, kdy subjekt uviděl nabídku, pochopil, že si může jednotlivá tělesa přivolat. Nechápal však, co jsou zač přivolávací místa. Tato místa jsou zatím znázorněna pouze válcem, a tak je těžké určit, co jsou zač. Po vysvětlení, oč se jedná, subjekt ihned pochopil.

**Translace a rotace těles** nedělala subjektu žádné problémy. Po přivolání těles z nabídky uživatel byl hned schopný tělesa přesouvat, rotovat a skládat vedle sebe. Větší tělesa skládal vedle sebe většinou pomocí paprsků. Při ukazování detailů na tělesech si je většinou přivolał do ruky. V jedné ruce těleso držel a druhou ukazoval. Velmi se mu také líbilo, že může každou rukou držet jiné těleso. Popisoval „To je supr, že můžu držet tělesa dvě“.

**Kontrolní panel** subjektu přišel intuitivní, a řekl bych, že i poměrně efektivní. Subjekt popisoval „Po tom, co jsem se dozvěděl, jak se co dělá, tak jsem během řekněme 15ti minut neměl problém cokoli ukázat“ a „Pokud to fungovalo, tak jak se očekávalo, pak jsem přesně věděl, co od toho čekat“ a „Co se týče ovládání, tak to, co to zatím obsahuje mi přijde naprosto intuitivní“. To značí, že ovládání bylo jednoduché na pochopení a že si ho subjekt během chvíle osvojil.

Subjekt vyjádřil, že by zvažoval přidání nějakého vysvětlujícího textu k menu. Tedy, co jaké tlačítko dělá. Nakonec však řekl, že by to možná bylo zbytečné. „Jen si to člověk potřebuje sám proklikat, než se s tím opravdu sžije“. Čímž také uvedl, že není problém se s ovládáním sžít.

Subjekt také rychle pochopil, jak funguje přemístování kontrolního panelu. Popisoval „Tak já si ten pultík vezmu, a vezmu si ho sem“, což znamená, že s danou technikou neměl žádný problém. Dokázal jednoduše vykonat, o co se snažil. Všiml jsem si, že subjekt lehce zmátlo, že když nemá vybrané žádné těleso, pak je kontrolní panel skrytý. Říkal, že ho nemůže najít. Myslím si, že by byl dobrý nápad místo toho ukázat uživateli nějaký prázdný kontrolní panel.

O tom, jaké různé ovládací prvky uživatelské rozhraní obsahuje, jsem subjektu neříkal. Tedy nevysvětloval jsem mu, že kontrolní panel obsahuje různé druhy tlačítek, nebo jak fungují posuvníky. Subjekt okamžitě začal kontrolní prvky používat, aniž by ho funkcionality nějak zaskočila.

**Gesto** pro otevření jádra planety dokázal subjekt použít ihned poté, co jsem mu ho slovy popsal. Gesto se subjektu líbilo, až na to, že se planeta otevírá vždy stejně. Popisoval „Tu logiku jsem chápal hned, akorát se to furt otevírá stejně“. Procedurální animace planety je bohužel poměrně implementačně náročná, viz kapitola Procedurální generace planet. Zjišťoval jsem dále, zda by subjekt uvítal více přímé interakce například pomocí podobných gest. Subjekt byl pro. Dále popisoval „Gesta jsou dobrá při tom povídání“. Vykládal, jak přednáší, a pak si otevře planetu pomocí gesta. Tedy nemusí zastavovat výklad a otevírat pultík. Nakonec řekl „Já bych asi dal přednost těm gestům“.

Dále jsem zkoumal, jestli subjektu implementované interakční techniky napomáhají k předání informací posluchačům. Subjekt popisoval „K předání těch základních informací je to supr. Ve finále je to opravdu VR planetárium, které není jen nějaká blbost v prostoru, ale je to interaktivní. Prostě vezmu si těleso, rozbalím ho, ukážu ho, porovnáám ho s ostatními a nechám obíhat někde. Za mě supr.“ Dále sdělil, že se tím řeší přesně ty věci, které si představoval. To znamená, že si uživatel dokáže představit věst výklad za pomoci navržené aplikace.

Uživateli se velmi líbilo, jak názorně lze věci ve VR vidět. Popisoval „Jsou na to nějaká aplikace, ale tohle je 3D. Tady to člověk vidí názorně“. Z toho plyne, že navržená aplikace dobře využila možnosti poskytované virtuální realitou.

Aplikace v aktuální podobě nemá přesně vychytaná nějaká vesmírná fakta, což aplikaci zatím brzdí od možnosti ji pro výklad využít. Subjekt toto popisoval „Až se doladí tyto nepřesnosti, pak to může být opravdu skvělý nástroj“. V tuto chvíli komentoval „Chce to dořešit exaktnost“.

Líbila se mu možnost, že může tělesa vybírat z nabídky, což popisoval „Principiálně si myslím, že je to supr. Už jenom to, že jámám tu paletu toho, co si mohu vybírat“. Výběr těles z nabídky také umožňuje vybrat jedno těleso vícekrát. Tato skutečnost se subjektu také velmi líbila. Sdělil „Supr, že já si mohu těch zemí vzít několik a takhle si je na sebe naskládat“ Dále se subjekt zamýšlel nad tím, kam by se aplikace dala posunout dále. „Je tam potenciál přidat spoustu dalších prvků“. K nabídce pak dodal „Tady může být dvakrát více těles jednoho dne“. Tyto komentáře značí o tom, že základ a princip aplikace je dobře navržený.

Co by subjekt dále v aplikaci velmi uvítal je možnost fyzikální simulace těles na základě fyzikálních sil. Chtěl by mít možnost vzít tělesa do ruky, hodit je a pozorovat, co se s tělesy děje.

Co se týče vizualizace posluchačů pomocí avatarů, tak by si je představoval více reálné. S tím určitě souhlasím. Neměl s nimi však problém. Viděl, že avataři mají brýle a kam koukají. Líbilo se mu, že může jednotlivá tělesa posluchačům umisťovat přímo před obličej. Tento efekt se subjektu velmi líbil, zejména s prstencem Saturnu či obíhajícími planety kolem Slunce.

Co subjekt lehce zmátlo byl koncept velkého vesmíru, který jsem subjektu podrobně nevysvětlil. Ptal se mě, jak může vypnout prsteneц u velkého Saturnu. Po vysvětlení pochopil a koncept velkého a malého vesmíru se mu líbil. Chtělo by také více signifikovat, s čím lze interagovat a s čím ne.

### 5.1.1 Zhodnocení

Z tohoto testování vyplývá, že implementované techniky byly zejména intuitivní a jednoduché na pochopení a osvojení. Během několik minut byl uživatel schopný ukázat vše, co mu aplikace umožňovala. Zamýšlené techniky využíval tak, jak bylo navrženo. Pro porovnávání více těles vedle sebe, zejména velmi rozdílně velkých, používal subjekt interakční parsek. Pro bližší výklad o jednotlivých planetách využíval subjekt manipulaci pomocí rukou. Subjektu se líbila možnost vybírání těles z nabídky. Využíval i možnost opakovaného výběru stejného tělesa, aby ukázal kolikrát je jiné těleso větší.

Co se týče navrženého kontrolního panelu, tak ten subjektu přišel naprosto intuitivní. Zprvu sice navrhoval, že by mohlo být dobrý nápad jednotlivá tlačítka slovně popsat. Po chvílce však řekl, že by to asi bylo zbytečné, protože se s tím člověk po chvílce sžije.

Přemísťování panelu subjekt využíval bez problému, jak bylo zamýšleno. Pouze ve chvíli, kdy neměl zvolený žádný objekt, nebyl panel vidět, což subjekt zmátlo.

Implementované gesto subjekt velmi rychle pochopil a líbila se mu jeho efektivnost. Nakonec prohlásil, že by uvítal více takových gest před kontrolním panelem.

Co se týče aspektu předávání informací, tak z tohoto pohledu dopadlo testování velmi dobře. Subjekt sdělil, že aplikace mu umožňuje přesně to, co by si představoval. Výhody VR se pro účely této aplikace podařilo uplatnit. Subjektu chyběla exaktnost aplikace, aby mohl více podrobně o vesmíru vykládat. Uvedl však, že až se toto doladí, bude to skvělý nástroj.

## 5.2 Testování s posluchači

Následující testování jsem prováděl ze strany posluchačů. Šlo mi zejména o to, jaký měli ze zážitku pocit. Zda jim přišlo, že jim virtuální realita pomohla danou látku více pochopit a představit. Toto testování jsem provedl celkem s 13 participanty. Po prezentaci každý participant vyplnil dotazník, na základě kterého můžu aplikaci ohodnotit ze strany posluchačů.

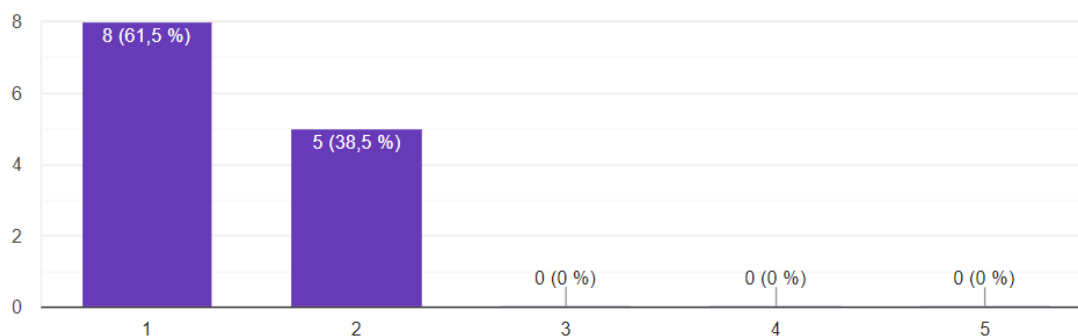
Dotazník nejprve obsahuje pár demografických otázek pro zařazení participanta. Participanty dělím podle věku, zkušeností s VR, zkušeností s planetáriem, zkušeností s 3D kinem. Následuje několik otázek ohledně právě proběhnuté prezentace ve VR. Vždy se jedná o výrok, který má participant zařadit na Likertovu škálu<sup>13</sup> v rozpětí 1 až 5, podle toho, na kolik s ním souhlasí. Jednička znázorňovala, že participant s výrokem naprosto nesouhlasí a pětka znázorňovala, že participant s výrokem naprosto souhlasí. Dále se participantů ptám na to, zda jim chyběla možnost volného pohybu v aplikaci a zda jim chyběla možnost podílet se na ovládní aplikace. Závěrem dotazníku jsou dvě volitelné otázky ohledně toho, co se participantovi líbilo a nelíbilo. Celý dotazník je dostupný v příloze A.

### 5.2.1 Analýza výsledků

Výsledky ankety ukazují, že aplikace nezpůsobovala participantům nevolnost, respektive maximálně pouze lehkou. 38 % participantů označilo míru nevolnosti číslem 2, zbytek číslem 1. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 18.

Ze zážitku se mi dělalo špatně

13 odpovědí



Obr. 18 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně nevolnosti.

U druhého výroku většina participantů označila číslo 5, tedy že jim přišlo dění kolem nich naprosto srozumitelné. Druhá nejčastější odpověď byla 4. Jeden participant označil číslo 2 a jeden participant číslo 1. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 19. Participant, který označil číslo 1 byl také jediný, kdo u otázky, zda bylo ukazované objekty dobře vidět, označil číslo 1. Je dost pravděpodobné, že mu dění kolem něj nepřišlo srozumitelné, pokud objekty dobře neviděl. Tento participant navíc uvedl, že před tímto zážitkem VR ještě nikdy nezkoušel. Je možné, že si participant mohl špatně nasadit brýle a viděl tak hůře než ostatní. U otázky, zda bylo ukazované objekty dobře vidět, označilo 77 % participantů číslo 5, dva označili číslo 4 a jeden výše zmíněný označil číslo 1. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 20.

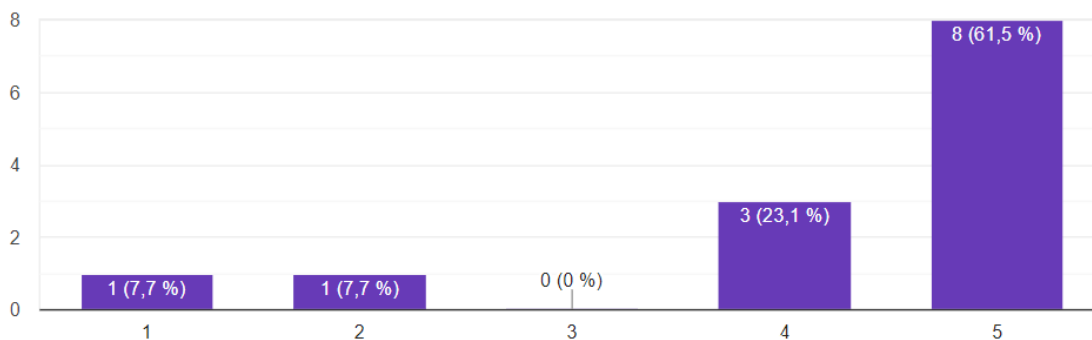
<sup>13</sup> Likertova škála je škála, na které respondent vyznačuje míru souhlasu s určitým výrokem.



To, co se kolem mne dělo, bylo srozumitelné (přehledné)



13 odpovědí

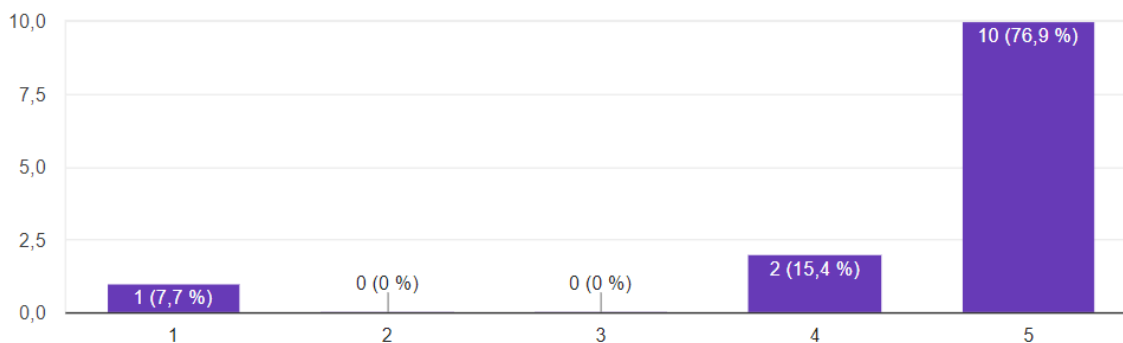


Obr. 19 Rozdělení odpovědí na otázku srozumitelnosti.

Ukazované objekty bylo dobře vidět



13 odpovědí



Obr. 20 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně viditelnosti.

Většina participantů uvedla, že se cítili jako ve vesmíru. Jeden participant se jako ve vesmíru vůbec necítil. Byl to také participant, který se stýká s VR týdně. Více než on se s VR stýkal pouze jeden participant, který u této otázky označil číslo 2. Je možné, že tím, že se tyto participant s VR stýkají velmi často, nenechají se virtuální realitou tak zmást. Číslo 2 označili dále ještě dva participant. Jeden z těchto dvou byl ten, který označil, že objekty bylo velmi špatně vidět. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 21.

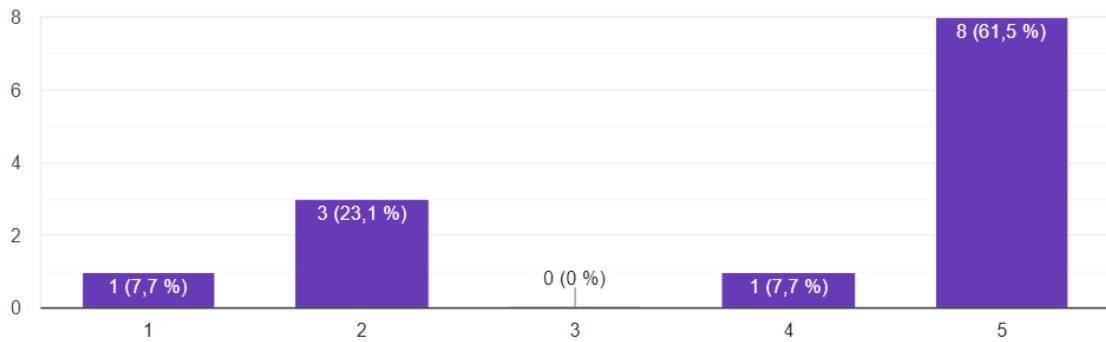
Odpovědi na otázku, zda participant měli pocit, že jsou ve virtuálním světě spolu s ostatními se více lišily. Nejvíce participantů (54 %) označilo číslo 5. Zbytek odpovědí měl zhruba rovnoměrné rozdělení. Řekl bych, že tento aspekt aplikace dopadl hůře, neboť vzhled avatarů je velmi minimalistický. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 22.

Dva nejdůležitější aspekty testování byly, zda jim přišlo, že jim VR pomohla látku lépe pochopit či představit. Skutečnost, že jim VR pomohlo látku pochopit, označilo 62 % student číslem 5 a zbytek číslem 4. U otázky, zda mají pocit, že jim VR pomohla si látku lépe představit, označili všichni participanti číslo 5. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 23 a 24.

Měl(a) jsem pocit, že jsem ve vesmíru



13 odpovědí

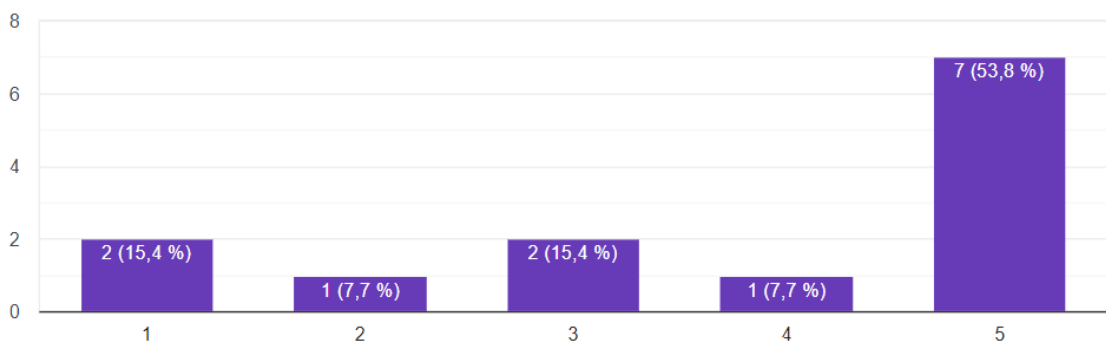


Obr. 21 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně pocitu být ve vesmíru.

Měl(a) jsem pocit, že jsem ve virtuálním světě spolu s ostatními (ostatními posluchači, prezentátorem)



13 odpovědí

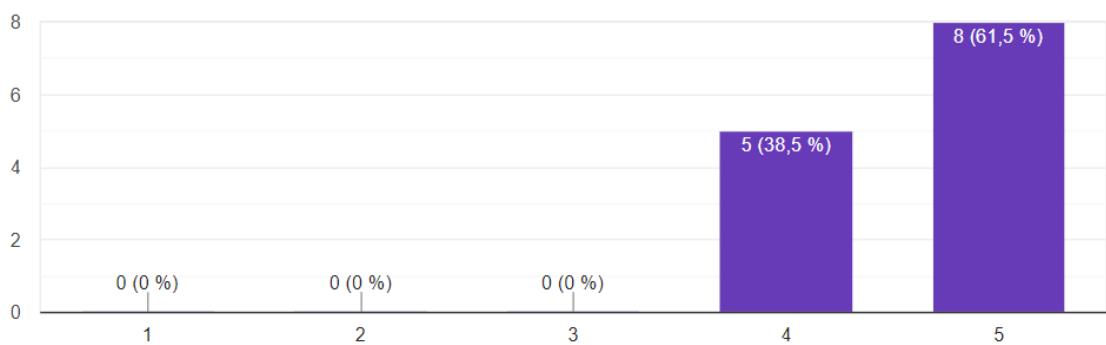


Obr. 22 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně pocitu přítomnosti ostatních.

Mám pocit, že mi VR pomohla danou látku lépe pochopit



13 odpovědí

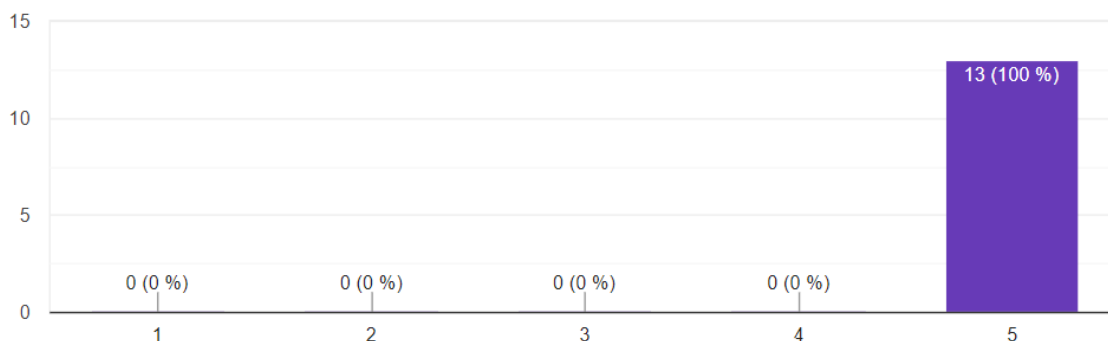


Obr. 23 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně přínosu VR k lepšímu pochopení.

## VR mi pomohla si danou látku lépe představit



13 odpovědí



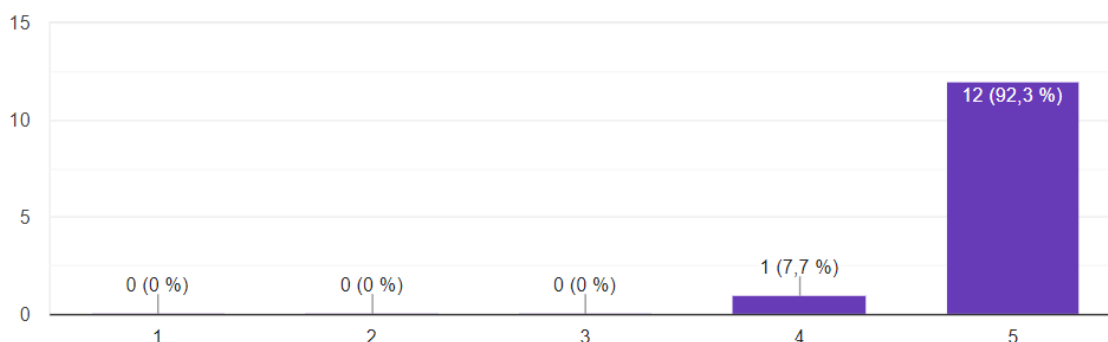
Obr. 24 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně přínosu VR k lepšímu představení.

U posledního výroku, zda by uvítali využití podobných aplikací ve škole, označili všichni účastníci až na jednoho číslo 5. Jeden účastník označil číslo 4. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 25.

## Uvítal(a) bych využití podobných aplikací jako zpestření školní výuky



13 odpovědí

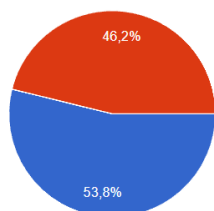


Obr. 25 Rozdělení odpovědí na otázku ohledně zpestření výuky virtuální realitou.

46 % účastníků chyběla možnost volného pohybu v aplikaci. Stejně tomu bylo i s možností podílet se na ovládání aplikace. Rozdělení účastníků u těchto otázek však nebyl stejný. Rozdělení odpovědí lze vidět na obrázku 26.

Chyběla mi možnost volného pohybu v aplikaci?

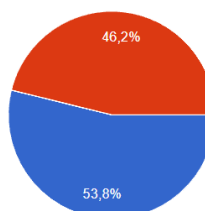
13 odpovědí



Chyběla mi možnost podílet se na ovládání aplikace?

13 odpovědí

● Ano  
● Ne



● Ano  
● Ne

Obr. 26 Rozdělení odpovědí na otázky ohledně možnosti volného pohybu a podílení se na ovládání aplikace.

### 5.2.2 Co se líbilo a co se nelíbilo

Nejčastější odpovědí, na otázku, co je participantům líbilo, byly reálné poměry velikostí a vizualizace reálných vzdáleností. Participantů psali, že jim tato zkušenost pomohla si tyto skutečnosti lépe představit, což vyplynulo i z analýzy výše.

Dále posluchače velmi zaujala vizualizace prstence Saturnu. V aplikaci je možné vidět zmenšený Saturn se svým prstencem vizualizovaným pomocí mnoha malých asteroidů. Saturn je dále možné navštívit a ocitnout se na oběžné dráze těchto asteroidů. To, že kameny létaly kolem posluchačů se jim velmi líbilo.

Několik participantů také zmínilo, že se jim líbily planety s texturami.

Někteří participantů uvedli, že jim chyběly ve virtuálním světě ruce, což se jim nelíbilo. Jeden participant uvedl, že se mu nelíbilo, že ztrácí pojem o tom, kde se ve fyzickém prostoru nachází. Jeden participant uvedl, že se bál, že tam byla tma.

Dva participantů uvedli, že by uvítali reálnější povrchy planet. Jeden z nich uvedl dále, že by uvítal text s dodatečnými informacemi ohledně planet.

### 5.2.3 Zhodnocení

Testování z hlediska posluchačů dopadlo poměrně dobře. Aplikace podle mého splňuje, co má. Největším přínosem VR bylo podle posluchačů to, že si mohou přednášenou látku více představit. To je i podle mého největší přínos VR ve vztahu k učení, a tak je dobře, že se podařilo v aplikaci tuhle kvalitu zachytit.

Z testování dále vyplynulo, že některým participantům scházela možnost volného pohybu. Řekl bych, že i ve škole mnoha žákům schází možnost pohybu. Kdyby však byla možnost pohybu povolena, myslím si, že by se vyučování mohlo strhnout v chaos. Ještě chaotičtější by to podle mého bylo, kdyby se studentům umožnilo ovládnutí aplikace. Hýbat s virtuálními objekty by mohlo být až velmi nutkavé. Zajímavé by podle mého však mohlo být, umožnit lektorovi nějakému studentovi dočasně umožnit pohyb a kontrolu aplikace. Například ve chvíli, kdy by dítě bylo vyvoláno, by se teleportovalo před třídu a dočasně by se mu umožnilo s objekty interagovat. Tento princip by podle mého i mohl zvýšit aktivitu dětí ve třídě, neboť by se chtěli na ovládnutí aplikace také podílet.

Testování ukázalo, že některým posluchačům vadilo to, že nevidí své ruce a tělo. Ruce jsem posluchačům neposkytl, neboť nevlastní ovladače, kterými by tyto ruce ovládali. Rozhodl jsem se, že uživatelé neuvidí svá vlastní těla, protože překážela ve výhledu směrem pod sebe. Myslím, že by stálo za to otestovat přidání nehybných rukou, zda by tento nedostatek nevyřešili. Headsety série Oculus Quest také disponují možností rozpoznávání rukou. Další možností, jak tento problém vyřešit, by tedy mohlo být využít této možnosti v aplikaci, s tím, že by jim bylo znemožněno aplikaci ovládat. Já bych navrhoval, aby děti viděli pouze svoje ruce jako dynamické. Ruce ostatních dětí bych vykresloval jako statické, neboť by to mohlo snadno odvádět pozornost.

### 5.3 Testování víceuživatelské lokalizace

Rozhodl jsem se provést i jednoduché testování systému víceuživatelské lokalizace, který jsem navrhnul v kapitole Návrh víceuživatelského systému. Cílem tohoto testování bylo zjistit, s jakou přesností odpovídá rozmístění avatarů ve virtuálním světě jejich rozmístění ve fyzickém světě.

Testování bylo velmi jednoduché. Využil jsem tři headsetů série Oculus Quest. Jeden headset hrál roli headsetu prezentátora a zbylé dva roli headsetu posluchačů. Nejprve jsem si na headsetu prezentátora vytvořil ochranný prostor pro volný pohyb. Následně jsem spustil aplikaci a založil server. Dále jsem vypnul Guardian, specifikoval pozorovací místa pro posluchače a vrátil se zpět na místo prezentátora. Headset jsem položil na zem a nechal běžet.

Dalším krokem bylo nastavení headsetů posluchačů do stacionárního režimu, zapnutí aplikace a připojení se na založený server. Ve chvíli připojení jako první posluchač jsem viděl avatara prezentujícího zhruba několik metrů přede mnou. Když jsem se připojil jako druhý posluchač, viděl jsem taktéž prezentátorova avatara několik metrů před sebou a dalšího avatara několik metrů vedle mě. Oba headsety jsem položil na zem a nechal běžet.

Vrátil jsem se k headsetu prezentátora a nasadil si jej na hlavu. Nyní test spočíval v tom, že pokud rozmístění avatarů ve virtuálním světě bude odpovídat rozmístění headsetů ve fyzickém světě, pak ve chvíli, kdy dojdu na místo avatara ve virtuálním světě, se zároveň ocitnu na místě headsetu ve fyzickém světě. Došel jsem nejprve k prvnímu posluchači číslo jedna a na zemi nahmatal headset. Následně jsem došel k druhému posluchači a opět nahmatal headset. Tento jednoduchý test otestoval navržený způsob vzájemné lokalizace uživatelů ve sdíleném prostoru.

## 6 Shrnutí

V úvodu práce jsem vysvětlil, proč je důležité se zabývat tvorbou výukové aplikace ve virtuální realitě. Přesvědčil jsem se, že virtuální realita je vhodným prostředím pro výuku. Na základě úvahy, jakým způsobem virtuální realitu ve výuce využít, jsem se rozhodl pro vývoj víceuživatelského virtuálně realitního systému.

Při analýze interakčních technik jsem nabyl znalosti o principech návrhu interakčních technik. Zjistil jsem zejména, jak navrhovat techniky intuitivní, které využívají již vytvořeného mentálního modelu uživatele.

Část této práce jsem věnoval i studii uživatelských rozhraní, jež mi pomohla určit, jaká rozhraní bude v demonstrační aplikaci vhodná využít. Na základě rozdělení prvků uživatelského rozhraní, které jsem v této práci použil, jsem se rozhodl využít zejména dietetických a geometrických prvků uživatelského rozhraní. Takové prvky uživatelského rozhraní jsou nejvíce imersivní, a proto bylo podle mého nevhodnější využít právě je.

V rámci rešerše podobných virtuálně realitních aplikací jsem analyzoval několik vybraných aplikací. Jedinou víceuživatelskou aplikací, kterou by se dalo potenciálně využít pro řešení víceuživatelské stránky vyvíjené aplikace, byl Altspace VR. Tato aplikace totiž umožňuje tvorbu virtuálních světů v Unity. V rámci této rešerše jsem analyzoval i výukové virtuálně realitní aplikace o vesmíru. Tyto aplikace posloužili zejména jako zdroj inspirace pro návrh interakčních technik a výukového obsahu.

Na základě analýzy problému jsem se pustil do návrhu řešení. Jelikož však při návrhu aplikace je již nutné brát v potaz jisté technologické limity, vybral jsem nejprve vhodnou technologii, jež mi pomůže k dosažení stanoveného cíle. Aplikaci jsem logicky rozdělil do dvou stěžejních částí. První částí byl návrh víceuživatelského systému, pro třídu studentů. Druhou stěžejní částí byl návrh vhodných interakčních technik pro vyučujícího. Při návrhu víceuživatelského systému jsem zvažoval různé postupy jeho realizace a vybral ten nevhodnější vzhledem k povaze školní výuky. Při návrhu interakčních technik pro prezentátora jsem vycházel z analýzy interakčních technik a snažil se tyto techniky udělat intuitivní a vhodné pro použití při výkladu. V rámci návrhu interakčních technik jsem se věnoval i návrhu výukového obsahu aplikace, jelikož tyto aspekty spolu souvisí.

Navrženou aplikaci jsem se dále pokusil implementovat. Implementaci by se opět dalo logicky rozdělit na implementaci víceuživatelské aplikace, interakčních technik a výukového obsahu o vesmíru. Podrobnosti o implementaci jsem popsal v kapitole Implementace.

Abych ověřil jednotlivé aspekty implementované aplikace, rozhodl jsem se aplikaci otestovat. Provedl jsem testování s potenciálním prezentátorem. Co se týče využití aplikace při výkladu dopadlo testování aplikace velmi dobře. Testovaný subjekt sdělil, že koncept aplikace je dobře navržený a že aplikace splňuje přesně to, co by od takové aplikace očekával.

V rámci testování s posluchači se ukázalo, že aplikace splňuje, co má. Toto testování také poukázalo na několik skutečností ohledně jejich zážitku. Ukázalo se, že téměř polovině posluchačů schází možnost pohybu nebo podílení se na ovládání aplikace. Taktéž testování poukázalo na fakt, že někteří posluchači ve virtuálním světě postrádali ruce.

Provedl jsem také testování pro ověření toho, zda navržený víceuživatelský systém dodržuje správné rozmístění avatarů ve virtuálním světě vzhledem k rozmístění příslušných zařízení ve fyzickém světě. Toto testování ověřilo, že tento systém funguje.

## 7 Závěr

Virtuální realita je vhodným prostředím pro výuku. Její kvality jako je imerze, interakce a více-smyslová odezva napomáhají uživatelům s tvorbou mentálního modelu, což zefektivňuje proces učení. V rámci integrace virtuální reality do školní výuky se jako nejlepší varianta jeví vytvoření víceuživatelského virtuálně realitního systému. V tomto systému třída žáků společně s učitelem sdílí stejný fyzický prostor a stejným způsobem prostor virtuální. Tímto způsobem se koncept výuky nemění a učitel tak má kontrolu nad děním ve třídě.

Zprvu se zdálo, že aby rozmístění avatarů ve virtuálním světě odpovídalo rozmístění uživatelů ve fyzickém světě, musí být souřadné systémy jejich náhlavních zařízení navzájem registrované. Vhodným využitím povahy školního vyučování a stanovením patřičných omezení jsem však dospěl k návrhu víceuživatelského systému bez nutnosti vzájemné registrace zařízení. Systém spočívá v tom, že prezentátor specifikuje pozorovací místa pro žáky před tím, než se žáci připojí. Tento způsob se jeví jako velmi rychlý, zejména při opakované výuce ve stejné třídě. Při opakované výuce ve stejné třídě se dále tento přístup jeví jako nejvíce spolehlivý, jelikož je tento systém závislý pouze na správnosti registrace souřadného systému prezentátorova zařízení se souřadným systémem fyzického světa. Na základě testování se tento systém ukázal být vhodným pro využití ve školní výuce.

V rámci práce jsem na základě analýzy navrhl vhodné interakční techniky pro vyučujícího. Testování ukázalo, že tyto techniky jsou velmi intuitivní a jednoduché na provedení. Dalo by se techniky označit také za efektivní, neboť subjekt byl schopen ukázat vše, co mu aplikace nabízela v poměrně krátkém čase. V budoucím vývoji této aplikace by však bylo vhodné zvážit implementaci více přímých interakčních technik, neboť můžou být více časově efektivní. Testování také potvrdilo, že aplikace je vhodná pro výklad, jak z pohledu vyučujícího, tak z pohledu studentů. Posluchači uvedli, že největším přínosem virtuální reality pro ně bylo to, že si přednášenou látku dokázali lépe představit.

V rámci této práce jsem vytvořil aplikaci, jež je možné využít v běžné školní výuce, a ověřil její základní stavební kameny. Na základě této práce je zřejmé, jakým směrem se s vývojem aplikace dále ubírat.

## 8 Do budoucna

Tato práce ověřila základní stavební kameny něčeho většího, co jsem nedokázal dotáhnout do finální podoby v rámci vytyčeného časového intervalu. V této kapitole bych se tak chtěl věnovat tomu, jakým způsobem by se ve vývoji aplikace dalo pokračovat dále. Chtěl bych zde nastínit nějaké výchozí návrhy. V této kapitole také reaguji na některé skutečnosti, jež vyplynuly z testování. Kapitulu jsem rozdělil do podkapitol podle jednotlivých aspektů této aplikace.

### 8.1 Víceuživatelský systém

Testování ukázalo, že navržený víceuživatelský systém je vhodný pro vzájemnou lokalizaci zařízení ve sdíleném prostoru v kontextu výuky ve škole. Z tohoto důvodu bych tento systém ponechal a dále rozšiřoval. V tuto chvíli chybí akorát naimplementovat uložení pozic pozorovacích míst do souboru a pevné číselné označení headsetu, jak jsem popisoval v kapitole Návrh víceuživatelského systému.

Někteří participantů uvedli, že jim ve virtuálním světě scházely ruce. Uživatelé v tuto chvíli nemají virtuální ruce, neboť je aplikace navržena tak, aby posluchači nemuseli mít ovladače. Oculus Quest však podporuje tracking rukou, a tak by tato možnost mohla být implementována i v aplikaci. Myslím si, že by bylo vhodné prozkoumat efekt, který by přítomnost rukou na posluchače měl. Podle mého by mohlo být rušivé, aby na sebe posluchači mohli navzájem mávat. Navrhoval bych vykreslovat pohyblivé ruce jen lokálnímu posluchači, ostatním posluchačům bych vykresloval téměř statické ruce.

Navržený systém předpokládá studenty sedící na svých místech, kteří se nemohou podílet na ovládání aplikace. Testování však ukázalo, že tato omezení mohou posluchačům vadit. Jelikož studentské headsety jsou nastaveny do stacionárního režimu, není možné, aby se mohli volně pohybovat. Za normálních okolností se při vyučování studenti po třídě také nepohybují. Mohou však být například vyvoláni k tabuli, což by mohlo být vhodné do aplikace nějakým způsobem naimplementovat. Posluchač se sice nemůže volně pohybovat reálnou chůzí, však bylo by možné ho například skrze vyučujícího teleportovat před třídu. Využití trackingu rukou by umožnilo studentům provádět nějaké operace například ve chvíli, kdy jsou vyvoláni před třídou. Tento způsob by podle mého mohl zvýšit aktivitu ve třídě, neboť téměř polovina participantů uvedla, že jim scházela možnost podílet se na ovládání aplikace.

V aktuálním stavu aplikace je poslední zábranou k tomu, aby posluchači nemuseli mít ovladače, připojování na server. Je totiž nutné obsloužit velmi jednoduché grafické rozhraní, aby se připojili na server. Pomocí komponenty *NetworkDiscovery* by se mohl vyhledat server automaticky a na první nalezený server by se automaticky připojilo.

Z pohledu zatížení síťové komunikace bych navrhoval jiný přístup k vizualizaci prstenců. V tuto chvíli Saturnův prstenec obsahuje zhruba 150 těles, která jsou všechna synchronizována napříč klienty. Výhoda tohoto přístupu je sice ta, že prezentátor i posluchači vidí naprosto to samé a prezentátor tak může například ukazovat na jednotlivá tělesa. Velkou nevýhodou však je, že tímto přístupem nelze synchronizovat větší počty těles, neboť je to velmi náročné pro síťovou komunikaci. Byl bych tak pro to, aby se synchronizovala pouze událost vytvoření, či zničení prstence. Tímto způsobem by se ve stejnou chvíli prstence vygenerovaly u každého klienta lokálně. Každý klient by tak viděl lehce jiný prstenec, však počet těles, ze kterých se prstenec skládá, by se dal mnohonásobně zvýšit.



## 8.2 Výuka o vesmíru

Aplikace v této chvíli poskytuje solidní základ pro výuku o vesmíru a koncept aplikace je vhodně navržen. Aktuálně však postrádá aplikace exaktnost. Je tedy potřeba doladit různé parametry a správně poskládat jednotlivé implementované funkcionality do sebe. Do aplikace by bylo vhodné přidat více těles a sestavit všechny oběžné systémy.

Ve chvíli, kdy se těleso velmi zmenšilo, ztrácelo se ve vizualizaci oběžné elipsy. Bylo by vhodné tloušťku křivky lépe přizpůsobit velikosti tělesa. V případě úplného zmenšení, kdy těleso prakticky není vidět by se hodila indikace toho, kde se na oběžné dráze těleso nachází. Šikovně toto řeší například Universe Sandbox 2 VR.

Prezentátor, se kterým jsem aplikaci testoval, by velmi uvítal, kdyby aplikace umožňovala provádět fyzikální simulace na základě fyzikálních sil mezi tělesy. Souhlasím s tím, že by tato možnost mohla ve VR velmi vyniknout. Universe Sandbox 2 VR ostatně takovouto možnost poskytuje a je provedena velmi dobře. Byl bych tak jistě pro přidání fyzikálního módu do budoucna. Obecně mi přijde, že pro budoucí vývoj aplikace, co se týče výuky o vesmíru, by šlo velmi čerpat právě z aplikace Universe Sandbox 2 VR.

## 8.3 Interakční techniky

Co se týče interakčních technik, tak ty se ukázaly být velmi intuitivní a jednoduché na provedení. Do budoucna by však bylo vhodné implementovat jejich více přímé obdoby, jako jsem to například provedl s otevíráním planetárních vrstev. Přímá interakce je potencionálně efektivnější a výklad by tak mohl být více plynulý. Kontrolní pult bych pravděpodobně nechal, jelikož je velmi intuitivní a uživatel tak může nejprve pochopit, jak techniky fungují, právě skrze něj.

V tuto chvíli se měřítko času, prostoru a těles mění pomocí posuvníku na kontrolním panelu. Hodnoty jsou tak omezeny krajními hodnotami. Jelikož však vesmír obsahuje obrovské vzdálenosti a velmi rozdílně velká tělesa, tak se tyto krajní hodnoty těžce nastavují. Dávalo by tedy smysl, aby se tyto hodnoty daly měnit téměř libovolně. Universe Sandbox 2 VR implementoval techniku pro změnu měřítka prostoru pomocí gesta prováděného dvěma rukama. Toto gesto je podobné gestu používanému na chytrých telefonech pro přibližování či oddalování pomocí prstů. Kromě toho, že je tato technika více přímá a potencionálně více efektivní, velkou výhodou takového způsobu změny měřítka je potenciál nekonečného přiblížení nebo oddálení. V navržené aplikaci máme těchto měřítek více a mně by přišlo vhodné toto gesto využít pro všechna měřítka.

Navrhoval bych, aby prezentátor mohl jednoduše přepínat mezi tím, na jaké měřítko má gesto vliv. Výběr mezi těmito módy by mohl být proveden stisknutím nějakého tlačítka a následným pohybem ruky jistým směrem. Změnou módu musí být pro uživatele zřejmá, neboť jeho změnou můžeme uživatele jednoduše zmást, pokud si neuvědomí, že se mód změnil nebo v jakém módu se nachází. Abychom zamezili zmatení uživatele, podle Jesse Shella by těchto módů mělo být co nejméně, neměly by se překrývat a měly by být co nejvíce rozeznatelné. Prezentátor by tak mohl mít možnost si vybrat ze tří módů. Mód pro změnu měřítka času, prostoru a těles. Každý mód by mohl být indikován například změnou barvy uživatelových rukou a zobrazením nějakého vhodného identifikátoru charakterizující aktuálně zvolený mód. Třeba náramek se symbolem zvoleného módu.



# Zdroje

- [1] JERALD, Jason. *The VR Book: Human Centered Design for Virtual Reality*. 1. ACM Books, 2016. ISBN 978-1-97000-113-6.
- [2] SCHMALSTIEG, Dieter a Tobias HÖLLERER. *Augmented Reality: Principles and Practice*. Addison Wesley, 2016.
- [3] SHELL, Jesse. *The Art of Game Design: A Book of Lenses*. 3rd Edition. CRC Press, 2020. ISBN 978-1-138-63205-9.
- [4] LAVALLE, Steven M. *VIRTUAL REALITY*. University of Oulu: Cambridge University Press, 2019.
- [5] FAGERHOLT, Eric a Magnus LORENTZON. *Beyond the HUD: User Interfaces for Increased Player Immersion in FPS Games*. Göteborg, Sweden, 2009. Dostupné na <https://publications.lib.chalmers.se/records/fulltext/111921.pdf>
- [6] RAFFAELE, Rennan Cavalcante. *Virtual Reality Immersive user interface for first person view games*. University of Beira Interior, 2017
- [7] Povinná školní docházka slaví 150 let. Má za sebou mnoho proměn. *Novinky.cz* [online]. Praha, 14. 5. 2019n. 1. [cit. 2021-01-15]. Dostupné z: <https://www.novinky.cz/historie/clanek/povinna-skolni-dochazka-slavi-150-let-ma-za-sebou-mnoho-promen-40283037>
- [8] CHRISTOU, Chris. *Virtual Reality in Education*. University of Nicosia. 2010.
- [9] NARRO, Gabriel. *Diegesis and designing for immerstion*. *Game Developer* [online]. 2018 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://www.gamedeveloper.com/design/diegesis-and-designing-for-immersion>
- [10] LINDBLOM, Andreas. *A Study of Networking Performance in a Multi-user VR Environment*. 2020. Luleå University of Technology.
- [11] MANLEY, Eric D., Huzaifa Al NAHAS a Jitender S. DEOGUN. *Localization and Tracking in Sensor Systems* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: <https://static.googleusercontent.com/media/research.google.com/en//pubs/archive/33304.pdf>
- [12] AHN, Song Ho. *OpenGL Sphere*. *Songho.ca* [online]. 2018 [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: [http://www.songho.ca/opengl/g1\\_sphere.html](http://www.songho.ca/opengl/g1_sphere.html)
- [13] *Catlike Coding* [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://catlikecoding.co>
- [14] *CSC5280 Project 2: Feature Detection and Matching* [online]. [cit. 2019-05-21]. Dostupné z: [http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/archive/gbq/csc5280\\_project\\_2.htm](http://mmlab.ie.cuhk.edu.hk/archive/gbq/csc5280_project_2.htm)
- [15] *Oculus* [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: [https://www.oculus.com/?locale=cs\\_CZ](https://www.oculus.com/?locale=cs_CZ)
- [16] *Unity* [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://unity.com>
- [17] *Mirror* [online]. [cit. 2022-01-02]. Dostupné z: <https://mirror-networking.gitbook.io/docs/>
- [18] HAWTHORNE, Mel. *VR Oculus Quest 2: What Is Passthrough?* *Technipages* [online]. 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://www.technipages.com/vr-oculus-quest-2-what-is-passthrough>
- [19] *Zajímavosti z GTA IV, které ohromí hráče i po letech!* *NAPOJ SA* [online]. 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://napoj.sa.sk/zajimavosti-z-gta-iv-ktere-ohromi-hrace-i-po-letech/>

- [20] TAN, Qinzi. Mesh Deformation Study with a Sphere. *Medium* [online]. 2019 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: [https://miro.medium.com/max/3000/1\\*U14Ay6x9R1z8HWgDCkRDlg.png](https://miro.medium.com/max/3000/1*U14Ay6x9R1z8HWgDCkRDlg.png)
- [21] Planetary core. *Wikipedia* [online]. 2013 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Planetary\\_core#/media/File:Terrestrial\\_Planets\\_internal\\_en.jpg](https://en.wikipedia.org/wiki/Planetary_core#/media/File:Terrestrial_Planets_internal_en.jpg)
- [22] Unity - Manual: Networking Tips for Mobile Devices. *Unity* [online]. 2021 [cit. 2022-01-03]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/MobileNetworking.html>

# Příloha A: Dotazník

1/3/22, 11:37 AM

PlanetariumVR

## PlanetariumVR

---

\*Povinné pole

1. Věk \*

---

2. Jak často se stýkáte s VR? \*

*Označte jen jednu elipsu.*

- Každý den
- Týdně
- VR jsem několikrát zkoušel(a)
- VR jsem zkusil(a) jednou
- Nikdy jsem VR nezkoušel(a)

3. Jak často chodíte do planetária? \*

*Označte jen jednu elipsu.*

- V rámci týdnů
- V rámci měsíců
- Zhruba jednou za rok
- V planetáriu jsem několikrát byl(a)
- V planetáriu jsem byl(a) jednou
- V planetáriu jsem nikdy nebyl(a)

4. Jak často chodíte do 3D kina? (například IMAX) \*

Označte jen jednu elipsu.

- V rámci týdnů  
 V rámci měsíců  
 Zhruba jednou za rok  
 V 3D kině jsem několikrát byl(a)  
 V 3D kině jsem byl(a) jednou  
 V 3D kině jsem nikdy nebyl(a)

Ohodnoťte následující výroky na základě právě proběhlé zkušenosti

5. Ze zážitku se mi dělalo špatně \*

Označte jen jednu elipsu.

	1	2	3	4	5	
Naprostou souhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprostou nesouhlasím

6. To, co se kolem mne dělo, bylo srozumitelné (přehledné) \*

Označte jen jednu elipsu.

	1	2	3	4	5	
Naprostou nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprostou souhlasím

7. Ukazované objekty bylo dobře vidět \*

Označte jen jednu elipsu.

	1	2	3	4	5	
Naprostou nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprostou souhlasím

8. Měl(a) jsem pocit, že jsem ve vesmíru \*

*Označte jen jednu elipsu.*

	1	2	3	4	5	
Naprosto nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprosto souhlasím

9. Měl(a) jsem pocit, že jsem ve virtuálním světě spolu s ostatními (ostatními posluchači, prezentátorem) \*

*Označte jen jednu elipsu.*

	1	2	3	4	5	
Naprosto nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprosto souhlasím

10. Mám pocit, že mi VR pomohla danou látku lépe pochopit \*

*Označte jen jednu elipsu.*

	1	2	3	4	5	
Naprosto nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprosto souhlasím

11. VR mi pomohla si danou látku lépe představit \*

*Označte jen jednu elipsu.*

	1	2	3	4	5	
Naprosto nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprosto souhlasím

12. Uvítal(a) bych využití podobných aplikací jako zpestření školní výuky \*

*Označte jen jednu elipsu.*

	1	2	3	4	5	
Naprostu nesouhlasím	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	Naprostu souhlasím

13. Chyběla mi možnost volného pohybu v aplikaci? \*

*Označte jen jednu elipsu.*

Ano

Ne

14. Chyběla mi možnost podílet se na ovládání aplikace? \*

*Označte jen jednu elipsu.*

Ano

Ne

15. Co se mi líbilo?

---

---

---

---

---



16. Co se mi nelíbilo?

---

---

---

---

---

---

Obsah není vytvořen ani schválen Googlem.

Google Formuláře

## Příloha B: Sestavení a spuštění aplikace

1. Otevřete projekt v Unity
2. Projekt musí obsahovat následující balíčky:
  - a. XR Interaction Toolkit (version 1.0.0-pre.8)
  - b. XR Plugin Management
  - c. Mirror

Balíčky a. a b. můžete naistalovat přes *Window/Package Manager*  
Balíček c. nainstalujte přes stránku  
<https://assetstore.unity.com/packages/tools/network/mirror-129321>
3. Projekt sestavíte přes *File/Build Settings.../Build*  
Ujistěte se, že máte zvolenou platformu Android.
4. Vytvořený .apk soubor nahrajete do zařízení Oculus Quest například pomocí PC aplikace SideQuest.
5. Na zařízení Oculus Quest najdete aplikaci v sekci *Unknown Sources*. Aplikace se jmenuje *SolarSystemVR*.