



VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA  
A JAZYKOVÁ ŠKOLA S PRÁVEM STÁTNÍ JAZYKOVÉ ZKOUŠKY

KUTNÁ HORA, MASARYKOVA 197

# MATURITNÍ PRÁCE

**ROK 2023**

**JAKUB LAJSEK**



VYŠŠÍ ODBORNÁ ŠKOLA, STŘEDNÍ PRŮMYSLOVÁ ŠKOLA  
A JAZYKOVÁ ŠKOLA S PRÁVEM STÁTNÍ JAZYKOVÉ ZKOUŠKY

## ZADÁNÍ MATURITNÍ PRÁCE S OBHAJOBOU PŘED ZKUŠEBNÍ KOMISÍ

studijní obor: (26-41-M/01) ELEKTROTECHNIKA

Student: **Jakub Lajsek**

Třída: **E4P**

Školní rok: **2022 / 2023**

Téma: **23034 Portály ve VR**

Konkrétní úkoly řešené v maturitní práci:

- problematika pohybu ve virtuálním světě a eliminování pocitu tzv. "motion sickness" pomocí pohybu skrz virtuální portály
- testovací aplikace programovány ve vývojovém prostředí Unity pomocí jazyka C#
- vytvoření ukázkových programů konkrétního využití

Zadání schváleno dne: 30. 9. 2022

**Termín dokončení práce a předání výstupů vedoucímu práce: 31. 3. 2023**

Vedoucí práce:

\_\_\_\_\_  
*Josef Nuhlíček*

Ředitel školy:

\_\_\_\_\_  
*Ing. Josef Tremel*

# PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svou maturitní práci vypracoval/a samostatně a použil/a jsem pouze prameny a literaturu uvedené v seznamu bibliografických záznamů.

Prohlašuji, že tištěná a elektronická verze maturitní práce jsou shodné.

Nemám závažný důvod proti zpřístupňování této práce v souladu se zákonem č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších předpisů.

Současně souhlasím se zpracováním uvedených osobních údajů dle nařízení GDPR (nařízení Evropského parlamentu a Rady EU č. 2016/679 ze dne 27. dubna 2016 o ochraně fyzických osob v souvislosti se zpracováním osobních údajů a o volném pohybu těchto údajů) po celou dobu archivace mé maturitní práce. Po převedení dokumentu do archivu školy mohu kdykoliv využít právo písemnou formou svůj souhlas se zpracováním osobních dat odvolat.

V Kutné Hoře dne 16. května 2023

.....  
(vlastnoruční podpis)

## PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych rád poděkoval mému vedoucímu práce Josefovi Nuhlíčkovi za jeho cenné rady a podporu při psaní mé maturitní práce na obecné téma virtuální realita. Jeho odborné znalosti a zkušenosti mi pomohly pochopit a prozkoumat toto téma do detailu. Byl pro mě nejen skvělým učitelem, ale také inspirací a motivací. Děkuji mu za jeho trpělivost, vstřícnost a ochotu pomoci mi kdykoli jsem potřeboval. Bez něj by moje práce nikdy nebyla možná.

## **ABSTRAKT**

Tato maturitní práce se věnuje problematice pohybu ve virtuálním světě a eliminování pocitu tzv. pohybové nevolnosti pomocí inovativního způsobu pohybu skrz virtuální portály. Testovací aplikace jsou stavěny ve vývojovém prostředí Unity primárně v jazyce C#. Krom VR se v práci zaměřím i na XR. Součástí práce budou také jednotlivé příklady využití ve formě jednoduchých miniher či aplikací.

## **ABSTRACT**

This graduation thesis deals with the issue of movement in virtual world and eliminating the feeling of so called motion sickness using an innovative way of moving through virtual portals. Test applications are built and developed using the Unity environment primarily in C#. In addition to VR, the thesis will also focus on XR. The thesis will also include individual use cases in the form of simple mini-games or applications.

## **KLÍČOVÁ SLOVA**

Virtuální Realita, Portály, Unity, Programování, OpenXR, C#, XR Interaction Toolkit

## **KEYWORDS**

Virtual Reality, Portals, Unity, Programming, OpenXR, C#, XR Interaction Toolkit

# OBSAH

Úvod .....	7
1    Virtuální realita.....	8
1.1  Současné způsoby pohybu ve VR .....	8
2    Portál.....	10
2.1  Portál v herním vývoji.....	10
2.2  Vytvoření efektu portálu .....	11
2.3  Možnosti pro zobrazení portálu .....	12
2.4  Rekurzivní portály.....	14
3    OpenXR vs OVR .....	16
4    Praktická část práce .....	17
4.1  Demoprojekt – Vizualizace relativního pozicování .....	17
4.2  Projekt 1 – Portály.....	18
4.3  Projekt 2 – VR portály .....	19
4.4  Projekt 3 – VR portálová okna.....	21
4.5  Projekt 4 – XR Portály .....	22
Závěr.....	23
Seznam použité literatury .....	24
Přílohy .....	25

# ÚVOD

V této maturitní práci se zabývám tématem virtuální reality a jejími možnostmi využití v různých oblastech. Cílem práce je vytvořit testovací aplikace pro virtuální a rozšířenou realitu v prostředí Unity a otestovat její funkčnost a uživatelskou přívětivost. Práce má také za úkol zhodnotit výhody a nevýhody virtuální reality a jejího vývoje. V začátku práce představím základní pojmy a principy virtuální reality, historii jejího vzniku a vývoje, současné trendy a současné způsoby pohybu. V dalších kapitolách se zaměřím na portál a jeho funkce v herním světě, návrh a implementaci mých testovacích aplikací, metodiku testování a vyhodnocení výsledků. V závěru práce shrnu hlavní zjištění a doporučení pro další výzkum.

# 1 VIRTUÁLNÍ REALITA

Virtuální realita je technologie, která uživateli umožní unikátní zážitek. Jako uživatel se totiž ocitáte v nekonečném světě nových možností, ve kterém můžete interagovat s ostatními uživateli virtuální reality. Virtuální realita využívá speciální brýle, helmy nebo chytré telefony, které generují realistické vjemy z různých prostředí. Ty mohou být buď simulací skutečného světa (např. při výcviku boje, pilotování, lékařství), nebo fiktivním světem počítačových her.

Virtuální realita má dlouhou historii a její počátky sahají do 50. let 20. století, kdy Morton Heilig vytvořil prototyp *Sensorama*, který stimuloval všechny smysly diváka podle hrané scény. První přístroj vytvářející virtuální realitu bylo zobrazovací zařízení nositelné na hlavě, které sestavil Ivan Sutherland spolu se svým žákem Bobem Sproullem v roce 1968. V druhé polovině 80. let 20. století zpopularizoval pojem „Virtuální realita“ Jaron Lanier, jeden z průkopníků této oblasti.

Virtuální realita se stále vyvíjí a nabízí stále lepší grafiku, zvuk a ovládání. Mezi nejznámější zařízení pro virtuální realitu patří PlayStation VR2 pro herní konzoli PlayStation 5, Meta Quest 2 pro samostatné fungování bez počítače, nebo Valve Index pro počítače s vysokým výkonem. Virtuální realita je nejen zábava, ale také nástroj pro vzdělávání, trénink nebo terapii.

## 1.1 Současné způsoby pohybu ve VR

Pohyb ve VR je jednou z nejdůležitějších složek této zkušenosti, protože ovlivňuje jak pocit přítomnosti, tak možnost prozkoumávat a manipulovat s virtuálním světem. Existuje několik způsobů, jak umožnit pohyb ve VR, které se liší podle úrovně realismu, komfortu a hardwarových požadavků.

### 1.1.1 Pohyb pomocí ovladače

Jedním z nejjednodušších a nejběžnějších způsobů pohybu ve VR je použití ovladačů, nebo klávesnice a myši k navigaci v prostoru. Tento způsob se nazývá teleportace nebo point-and-click pohyb a spočívá v tom, že uživatel vybere místo v prostředí, kam se chce přesunout, a potvrdí svou volbu. Tento způsob má tu výhodu, že je snadno použitelný a minimalizuje riziko nevolnosti způsobené rozdílem mezi vizuálním a vestibulárním vnímáním pohybu. Na druhou stranu tento způsob snižuje pocit realismu a může narušovat kontinuitu prožívání.

### 1.1.2 Pohyb joystickem

Pohyb joystickem je jedním z nejčastějších a nejjednodušších způsobů pohybu ve virtuální realitě (VR). Umožňuje uživateli ovládat směr a rychlost své postavy pomocí analogové páčky na ovladači. Tento způsob pohybu má několik výhod: je snadno pochopitelný, intuitivní a



kompatibilní s většinou VR her a aplikací. Nicméně, pohyb joystickem má také některé nevýhody: může způsobovat nevolnost u některých uživatelů, kteří cítí rozpor mezi tím, co vidí a co cítí ve skutečnosti může snižovat imerzi a přirozenost zážitku ve VR a může být omezený vzhledem k prostorovým možnostem VR scény. Proto se v současné době vyvíjejí další alternativní způsoby pohybu ve VR, které by mohly nabídnout lepší řešení pro různé typy uživatelů a obsahu.

### **1.1.3 Point-and-click**

Point and click je metoda pohybu ve VR, která spočívá v tom, že uživatel ukazuje na místo, kam chce jít pomocí ovladače nebo pohledu a poté stiskne tlačítko pro potvrzení. Tím se uživatel okamžitě teleportuje na vybrané místo bez nutnosti chodit fyzicky.

### **1.1.4 Pomocí rukou (chytání se virtuálních objektů)**

Tento způsob spočívá v tom, že uživatel může chytit libovolný objekt ve virtuálním prostředí a poté se k němu přitáhnout nebo se od něj odstrčit pomocí ovladačů. Tímto způsobem může uživatel prozkoumávat různé scény a překonávat překážky bez nutnosti používat teleportaci nebo joystick. Nevýhodou tedy je jen implementace, kdy se způsob hodí převážně v horolezeckých hrách a nelze jej moc dobře implementovat pro všechny typy akce. Tento způsob pohybu je intuitivní a interaktivní. Na druhou stranu vyžaduje dostatek objektů k uchopení, může být fyzicky náročný a má pořád relativně vysoké riziko nevolnosti pro nezkušené uživatele.

### **1.1.5 Bez nutnosti pohybu**

Někteří vývojáři vyvíjí hry speciálně tak, aby se uživatel zkrátka nemusel hýbat z místa. Objekty jsou navrženy tak, že například létají na uživatele a uživatel se jim v tomto případě vyhýbá. I přes to, že se tento způsob může na první pohled zdát omezující, tak na stranu druhou díky tomu hráč zažívá minimální, či nulový pocit nevolnosti. Je to možná i hlavní důvod, proč se tak oblíbenou stala hra *Beat Saber* od společnosti *Beat Games*. Pro svou pohybovou nenáročnost se tak stala bránou do světa VR pro nové i stávající hráče po celém světě.

### **1.1.6 Pohyb pomocí těla**

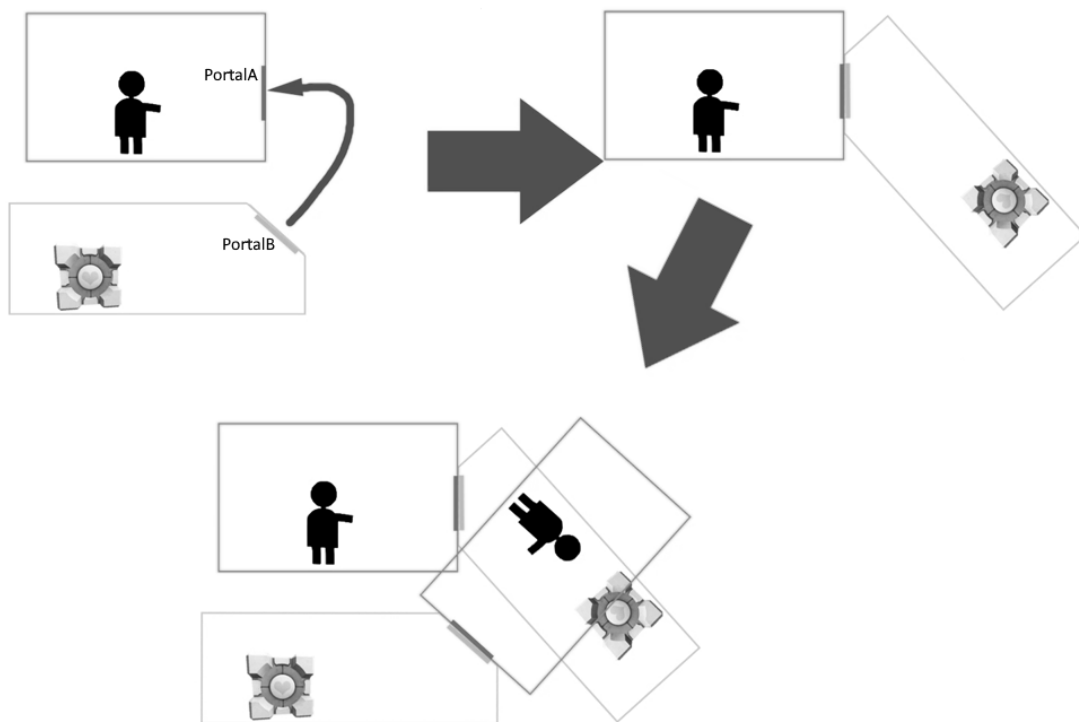
Posledním způsobem pohybu ve VR je použití gestikulace těla nebo hlavy k řízení směru a rychlosti pohybu. Tento způsob se nazývá leaning-in-place nebo gaze-directed pohyb a spočívá v tom, že uživatel naklání své tělo nebo hlavu do strany, kam se chce přesunout. Tento způsob má tu výhodu, že je intuitivní a nenarušuje imerzi ovladači či klávesnicemi. Na druhou stranu tento způsob může být nepřesný a nepřírozený pro dlouhodobé používání.

## 2 PORTÁL

Portál je dvoudimenzionální teoretický objekt, vytvářející bránu mezi dvěma prostory. V herním vývoji zde zmiňovaný portál dokáže být vytvořen zjednodušeně na jakémkoliv povrchu a také na kterémkoliv místě. V reálném světě se svou funkcionalitou portály přibližují k *červím dírám* s tím rozdílem, že ty jsou dosud nestabilní, neprozkoumané a člověkem nevytvořitelné.

### 2.1 Portál v herním vývoji

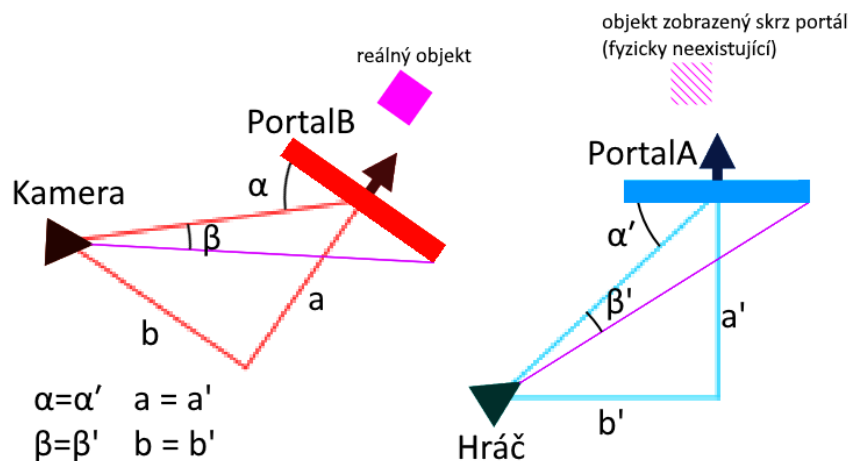
Z perspektivy hráče je zadní strana, tedy strana označená jakožto *PortalA*, přední stranou klonu tohoto portálu (označované jako *PortalB*). V herním vývoji je tohoto docíleno pomocí již zmíněného klonování objektů a dalších herních triků, zejména také z hlediska optimalizace výpočtového výkonu pro vytvoření efektu, které zkrátka pro hráče docílí dokonalého pocitu propojení těchto dvou prostorů.



Obr. 1 Propojení portálových prostorů z perspektivy uživatele. Obrázek převzat a upraven pro vlastní potřeby z: YouTube – Portal Problems – Lecture 11 - CS50's Introduction to Game Development 2018 [online]. Kopie obrazovky pořízena v čase 3:18 poté upravena v programu paint.net. Dostupné z: <https://youtu.be/ivyseNMVt-4?t=198>

## 2.2 Vytvoření efektu portálu

Jak již bylo řečeno, chceme pouze vytvořit dokonalou iluzi těchto portálů. Takzvaná „non-euclidean“ (neboli neeukleidovská) geometrie v Unity bez cílených triků v kódu není možná k přímé implementaci. Princip efektu je založen na přesném pozicování kamery na místo, kam právě hráč přes portál hledí. Pro snadnější představu lze scénu zjednodušit do 2D pohledu shora. Relativní pozice a rotace kamery vzhledem k vycházejícímu portálu (PortalB) odpovídá relativní pozici a rotaci hráče od portálu vcházejícího (PortalA).



Obr. 2 Vizualizace vztahů relativních pozic mezi objekty. Obrázek z autorova vlastního veřejného zdroje: Scratch: Portal Test 2D – JakubLajsek [online]. Kopie obrazovky upravena v programu paint.net. Dostupné z: <https://scratch.mit.edu/projects/736425828>

Jelikož Unity ukládá data o pozici, rotaci a velikosti všech objektů (třída Transform) ve scéně v lokálních hodnotách (relativních k rodičovskému objektu) zapsaných do 4x4 matice, lze poté tuto formu bez převodu na jednotlivé hodnoty použít pro snadnější výpočet finální pozice kamery. Za zmínku také stojí použití metod *Transform.localToWorldMatrix* a *Transform.worldToLocalMatrix*, které jak již název může napovědět matici dokáží vzhledem ke světu (scéně) převést na relativní, či absolutní hodnoty.

```
Matrix4x4 m =  
  
    portalB.localToWorldMatrix *  
  
    portalA.worldToLocalMatrix *  
  
    player.localToWorldMatrix;
```

Tímto jednoduchým kódem tedy získáme pozici a rotaci kamery. Pozice je uložena ve čtvrtém sloupci (z výsledné matice získatelná pomocí *m.GetColumn(3)*) a rotace poté uložena v *m.rotation*.

## 2.3 Možnosti pro zobrazení portálu

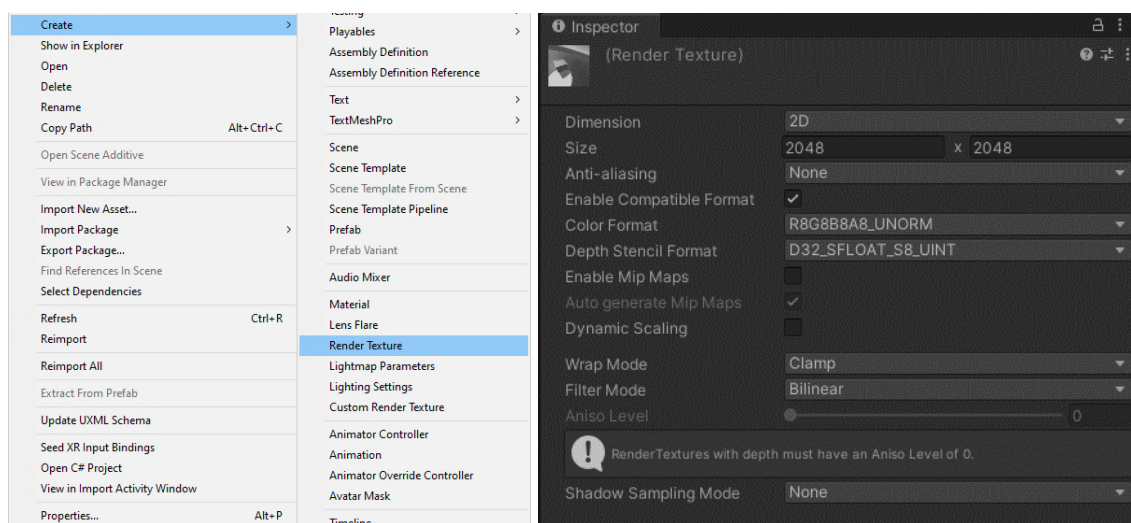
Pomocí vývojového prostředí Unity jsou 2 možnosti, jak portál správně zobrazit. Těmi jsou Render Texture (Zobrazovací textura), anebo Stencil Buffer (Vyrovnávací vzorníková paměť). Obě 2 možnosti mají svoje velké výhody a nevýhody, a tak je nutné rozhodnout se, jaký typ „zobrazovače“ chce vývojář pro svoje potřeby použít.

### 2.3.1 Render Texture

Render Texture je typ textury, kterou Unity vytváří a aktualizuje za běhu. Render Texture může být použita k implementaci efektů založených na obraze, dynamických stínů, projektorů, odrazů nebo kamer. Jedním z typických použití Render Texture je aplikování jej pro jednu z vlastností kamery *target texture* (Camera.targetTexture), což způsobí, že objekt kamera (Camera) bude ukládat a zobrazovat do této textury to, co je vidět z ní.

Velkou výhodou této metody je její relativně lehká práce s ní. Obecnou nevýhodou však je nastavení rozměrů této textury. Textury mají totiž pevný rozměr, který by měl být pro uživatele k nerozpoznání s konkurenčním Stencil Bufferem. Zároveň hlavně s dalšími efekty či funkcemi, jakožto například portálová rekurze je velmi výkonově náročný. Za velkou a bohužel přehlíženou nevýhodu lze ještě zmínit nemožnost plného použití Render Texture pro *Render Pipeline* typu URP.

Je také důležité si uvědomit, že „zobrazovač“ není místo fyzické, tedy kde je samotný objekt zobrazen, nýbrž místo, kde je objekt pouze uložen, obecně nazývané místo v paměti. V tomto případě se poté tato textura pomocí třídy Material dokáže zobrazit na jakékoliv běžné třídě typu například 3D, či 2D objekt.

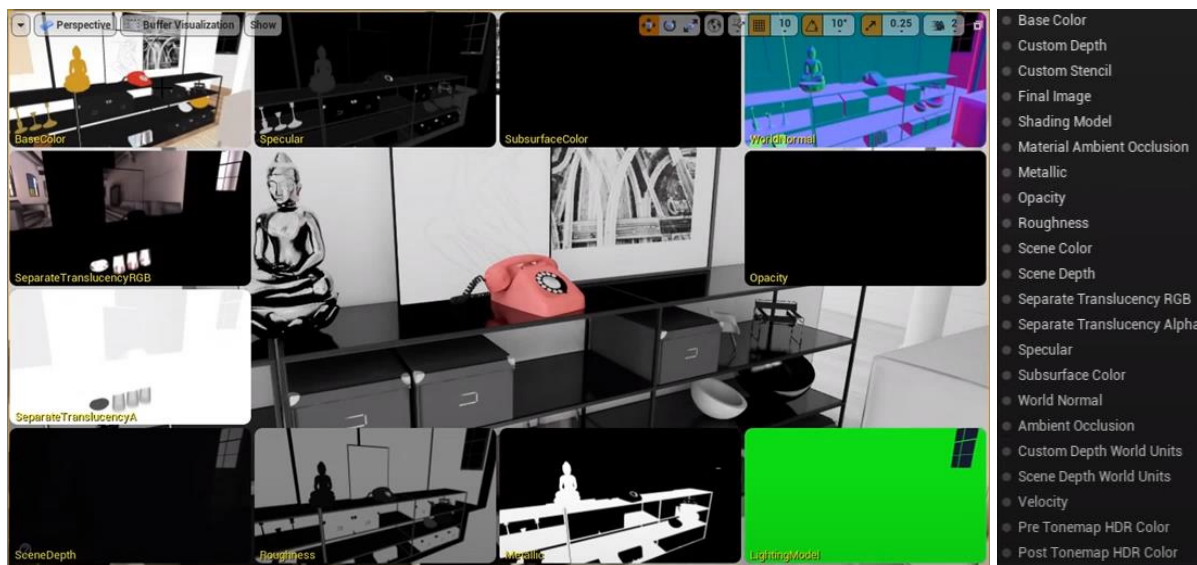


Obr. 3 Vytvoření nové Render Textury v programu Unity a následné zobrazení všech vlastností. Obrázek z vlastního zdroje – kopie obrazovky programu Unity ze soukromého projektu

### 2.3.2 Stencil Buffer

Stencil Buffer je speciální druh jednobytového kanálu (tedy nabývající hodnot 0-255) zaznamenaného o každém pixelu, právě zobrazovaném na obrazovce, a je jen jeden z mála bufferů, které si grafická karta ukládá a pracuje s nimi. V jednotlivých bufferech jsou uloženy například informace o drsnosti textury (Roughness), blyštivosti textury (Metallic), či pouze barvě čisté scény (BaseColor), anebo průhlednosti (Opacity).

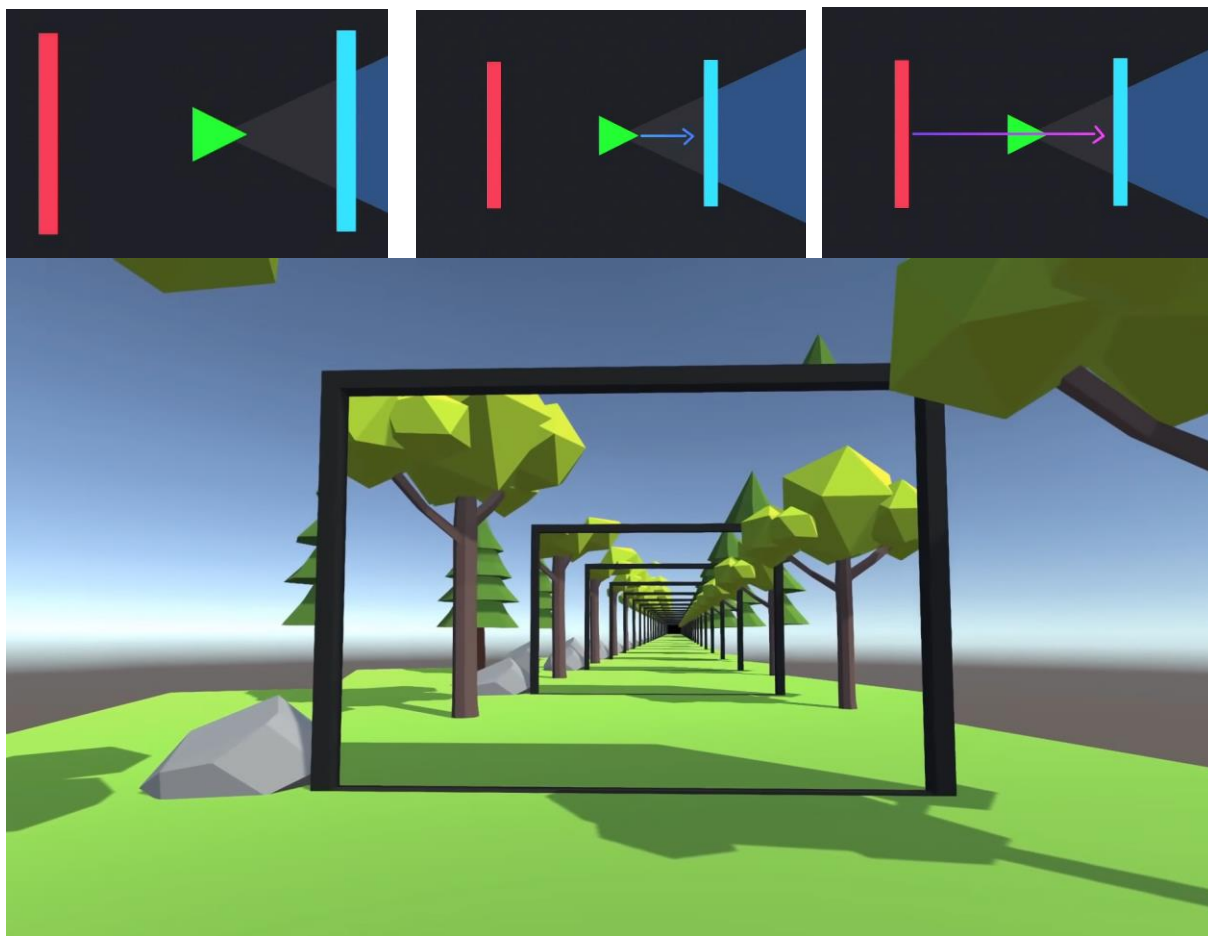
Tento speciální druh se tedy používá jako doplňující a je vizuálně nepodstatný. Oproti Render Texture je mnohem složitější na implementaci, jelikož se v tomto případě nedá obejít bez shaderů (stínovačů), tedy bez vizuálních kódovatelných prvků. Na stranu druhou se používá pro vytvoření mnoha herních triků či efektů, je upřednostňovaný pro úspěšné tituly jako je herní série Portal, či Antichamber, jelikož je výkonnostně nenáročný a lze použít pro všechny zobrazovací způsoby (Render Pipelines), tedy včetně URP (Universal Render Pipeline). Nejběžněji se používá pro 2 účely. Těmi jsou používání jej jako maska (pro zobrazení jen určité části textury), anebo pro vytvoření efektu 2D obrysu pro 3D objekty.



Obr. 4 Vizualizace jednotlivých bufferů + Seznam všech bufferů, které se ukládají do paměti grafické karty. Obrázek převzat a upraven pro vlastní potřeby z: How to Create Masks With the Custom Stencil Buffer | Tips & Tricks | Unreal Engine [online]. Kopie obrazovky pořízena v čase 1:26 poté upravena v programu paint.net. Dostupné z: [https://youtu.be/PiQ\\_JLJKi0M?t=86](https://youtu.be/PiQ_JLJKi0M?t=86)

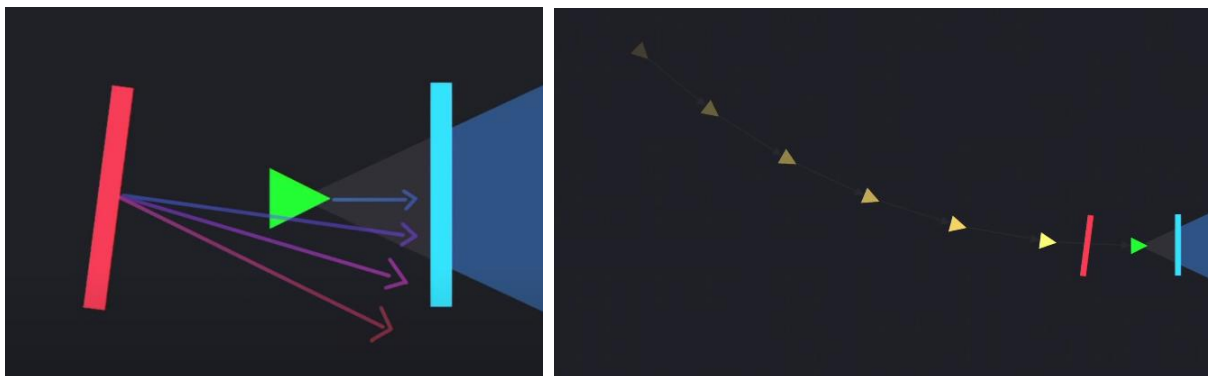
## 2.4 Rekurzivní portály

Efekt rekurzivních portálů je princip zobrazení portálu, přes který se uživatel dívá skrz portál druhý na tentýž portál, ve výsledku vytvářející efekt nekonečného tunelu. Toto se na první pohled nemusí jevit jako něco složitého na implementaci, bereme-li v potaz že portály jsou natočené stejným směrem. V tu chvíli stačí jen zmenšovat již zobrazený portál v závislosti na vzdálenosti mezi nimi.



Obr. 5 Portálová rekurze Obrázek převzat a upraven pro vlastní potřeby z: YouTube – Coding Adventure: Portals – kap. Recursive Portals [online]. Kopie obrazovky pořízena v čase 14:35 poté upravena v programu paint.net. Dostupné z: <https://youtu.be/cWpFZbjtSQg?t=811>

Problém nastává v případě, kdy portály nejsou pod totožným úhlem, což je bohužel obecně běžné. Vzdálenost mezi portály se při každém portálovém průběhem totiž mění, a proto by jednoduchý efekt zmenšování nefungoval. V tu chvíli se musí namapovat, kde přesně se pomyslné rekurzivní portály a pohledy z nich nachází a postupně se musí pro každý jeden průběh uložit pohled do paměti. Právě tato část je výkonnostně i časově náročná. Ještě více, pokud se při ukládání a promítání těchto pohledů používá právě Render Texture, a proto se většinou tento efekt omezuje na konstantní hodnotu maximálních průběhů.



Obr. 6 Příklad portálové rekurze pod úhlem a vizualizace pozice rekurzivních kamer. Obrázek převzat a upraven pro vlastní potřeby z: YouTube – Coding Adventure: Portals – kap. Recursive Portals [online]. Kopie obrazovky pořízena v čase 14:35 poté upravena v programu paint.net. Dostupné z: <https://youtu.be/cWpFZbjtSQg?t=871>

### 3 OPENXR VS OVR

V Unity se při výběru integrace virtuální reality do projektu musí zvážit, pokud budeme pro svoje účely používat XR Interaction Toolkit, zahrnutý v balíčku pro OpenXR, či Oculus Integration SDK (v rámci OculusVR), který je poskytovaný společností Meta. Oba balíčky mají ovšem svoje velké výhody a nevýhody. Například balíček integrace Oculus je velmi rozsáhlý, plný příkladových scén a funkcí, jako je integrace *Hand-trackingu*, *LipSyncu*, *Passthrough* (podpora AR/XR), či podpora virtuální klávesnice.

Toto jsou funkce, které jsou optimalizovány a přizpůsobeny obzvlášť pro aktuálně zveřejněné headsety společnosti Meta (tj. Oculus Rift S, Meta Quest, Meta Quest 2 a Meta Quest Pro). Tento balíček je na druhou stranu opravdu rozsáhlý a vývojář musí zvážit, zda tyto funkce plně ve svém projektu využije. Svou rozsáhlostí a obecnou nepřehledností se tento balíček nedoporučuje a používá se v krajních případech právě a jen pro své unikátní funkce, obzvlášť Passthrough API.

Open XR na stranu druhou je balíček čistě základní a v aktuální verzi (oproti OVR) funkce *Passthrough* a další již zmiňované neobsahuje. Výhodou balíčku je tedy jeho opravdu menší velikost, možnost jej použít pro jakýkoli typ headsetu (multi-platformní přístup). Jeho rozsáhlá podpora dovoluje vyvíjet aplikace jak pro PCVR (SteamVR), tak nativní software pro ostatní headsety (např. ByteDance Pico 4, Valve Index, Pimax 8k, HTC Vive, HP Reverb, MS Hololens a jiné).

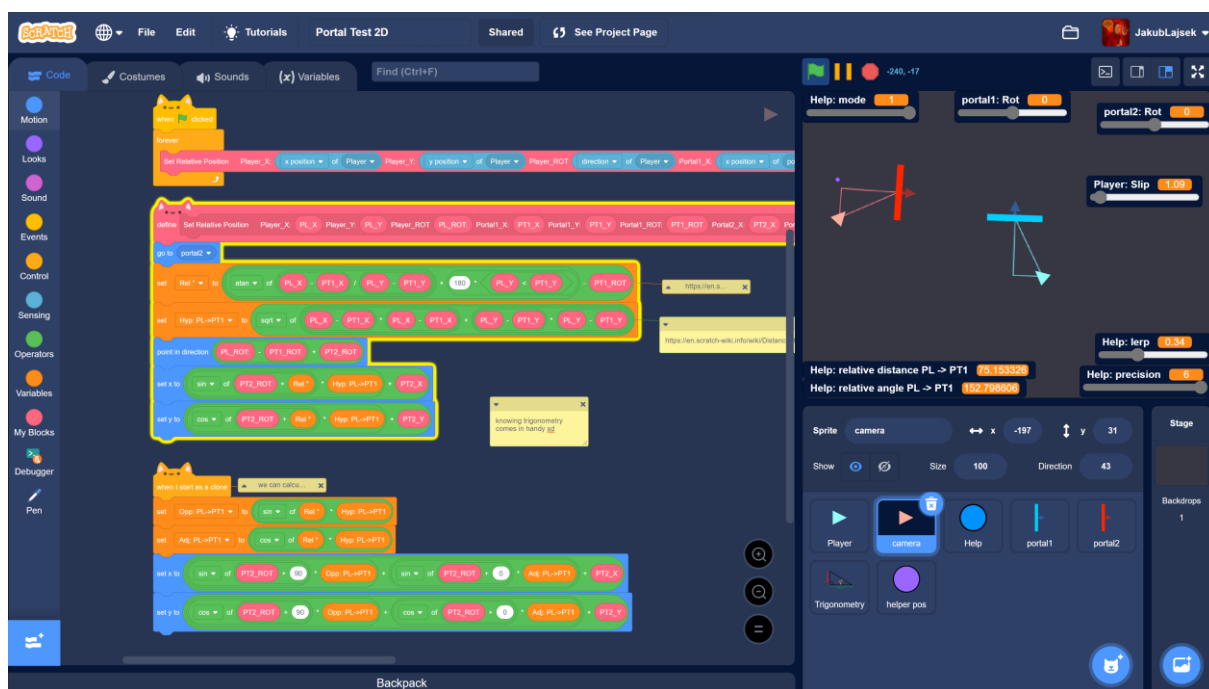


## 4 PRAKTICKÁ ČÁST PRÁCE

V praktické části práce se zaměřím na jednotlivé projekty a demoprojekty, popíšu určité problémy, na které jsem během programování narazil a obecně se podělím s mými zkušenosti při práci na již zmíněných projektech.

### 4.1 Demoprojekt – Vizualizace relativního pozicování

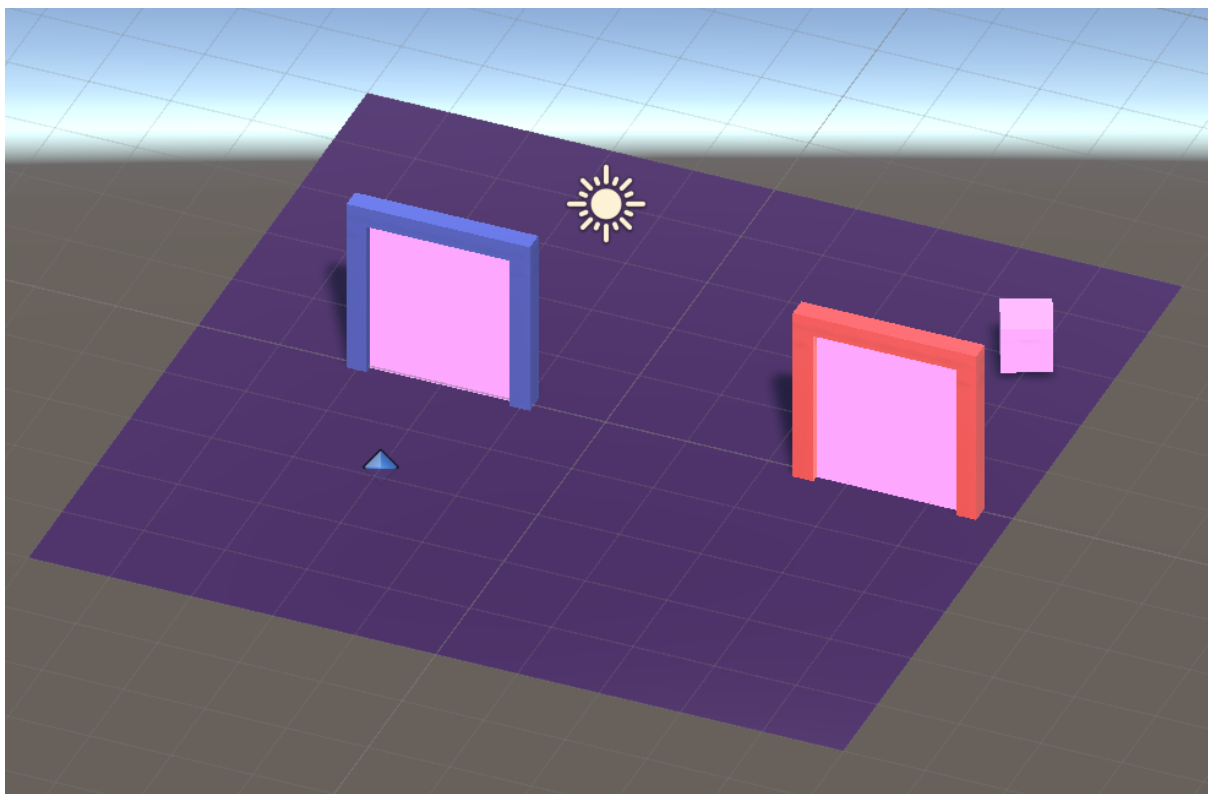
Na tomto projektu jsem začal pracovat již začátkem května 2022, jelikož jsem byl nově nastudovaným principem, jak tyto portály fungují, fascinován. Projekt jsem vypracoval ve volném čase ještě před samotným uvážením, že právě toto se stane částí mé maturitní práce. Tento demoprojekt napsaný během necelých tří hodin jsem psal pro sebe, kdy mi měl pomoci lépe si celou problematiku pozicování kamer ve scéně zjednodušeně představit. Jelikož jsem chtěl, aby byl program funkčně přístupný z jakéhokoli místa a zároveň vytvořen co nejrychleji, rozhodl jsem k napsání kódu ve webovém grafickém prostředí MIT Scratch (primárně určeného pro děti). Pro tento účel byla práce v této aplikaci více než ideální.



Obr. 7 Ukázka kódu vizualizujícího portály ve vývojovém prostředí MIT Scratch 3. Obrázek z autora vlastního veřejného zdroje: Scratch: Editor – Portal Test 2D – JakubLajsek [online]. Dostupné z: <https://scratch.mit.edu/projects/736425828/editor>

## 4.2 Projekt 1 – Portály

Svémi nabytými vědomostmi jsem tedy začal během října vytvářet svůj první základní projekt v prostředí Unity, jehož cílem bylo celý princip portálové logiky naprogramovat tak, aby fungoval jen na PC (zobrazení), tedy bez integrace VR. Projekt se zároveň má stát pomyslnou šablonou (template), kterou poté použiji v následujících rozšiřujících projektech. V tomto projektu mi zároveň nezáleželo na výkonnostním zatížení počítače, tedy projekt je čistě funkční a neoptimalizovaný. Proto se zde používá jakožto „zobrazovač“ Render Texture. Funkční je i portálová rekurze, která je v tomto ohledu nastavena na 10 průběhů.

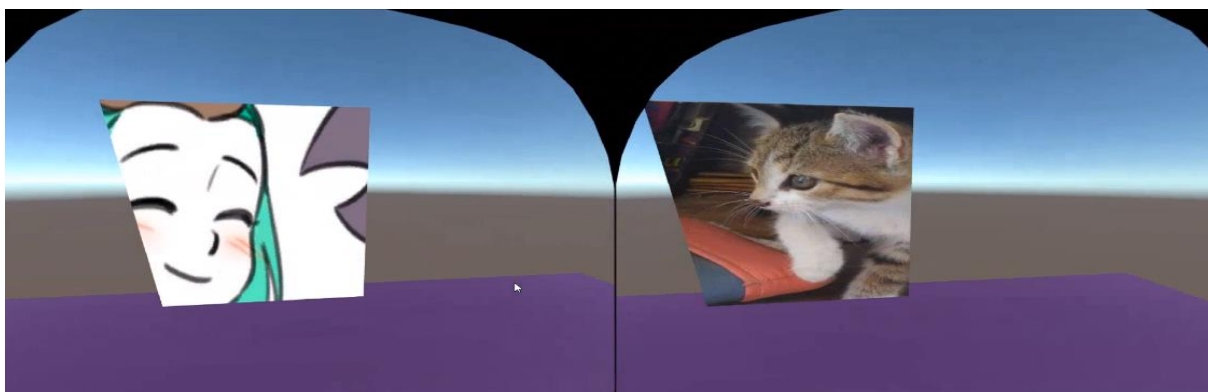


Obr. 8 Ukázka scény s dvěma (vypnutými) portály ve vývojovém prostředí Unity. Obrázek z vlastního zdroje – Kopie obrazovky poté upravena pomocí programu paint.net [online].

### 4.3 Projekt 2 – VR portály

Pro integraci do VR jsem nejdříve svůj první projekt duplikoval a nastavil tak, aby fungoval pro OpenXR, tedy nainstaloval jsem balíček XR Interaction Toolkit. Pro samotnou volbu OpenXR jsem se rozhodl z již zmiňovaného důvodu nevyužití funkcí balíčku OVR. Pro samotnou analýzu jsem integraci OVR vyzkoušel na odděleném projektu a zjistil jsem, že díky tomuto kroku jsem v mém případě ušetřil 549MB místa v editoru a výsledných 183MB v sestaveném projektu.

Pro fungování projektu ve VR jsem mimo jiné musel upravit kód pro projekci Render Texture. Důvod této změny závisí na důležité vlastnosti zobrazení jiného obrazu pro každé oko neboli stereofonní zobrazení. Bez tohoto by obraz ztratil hloubkový efekt a portál by byl plochý. Třída Material v objektu obrazovky portálu byla nahrazena shaderem, který lze pro mé potřeby ovládat a měnit kódem jiných objektů. V samotném výsledku jsem tak docílil správného stereoskopického efektu.

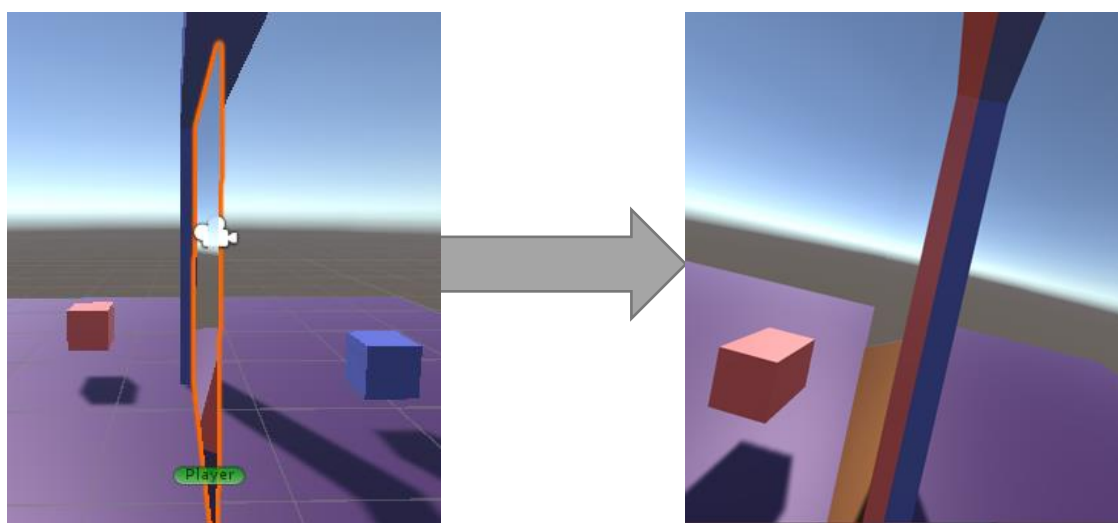


Obr. 9 Stereofonní pohled z VR zobrazující rozdílný výstup obrazu na stejném objektu pro každé oko. Kopie obrazovky pořízena ve vývojovém prostředí Unity, poté upravena pomocí programu paint.net [online].

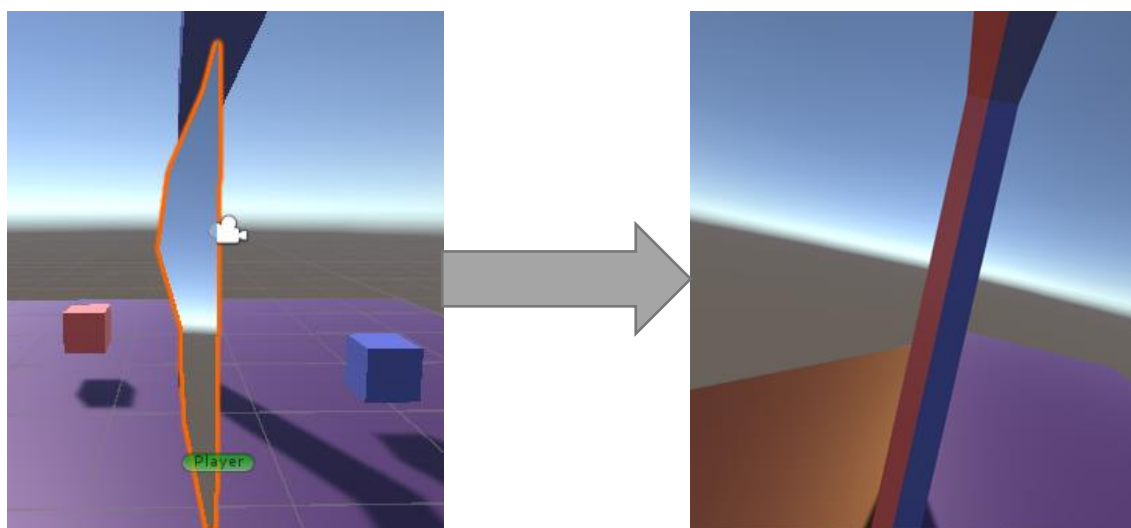
Zároveň jelikož zobrazujeme 2 pohledy místo jednoho, v mém případě pro zařízení Quest 2 zobrazuji obraz s rozlišením  $1832 \times 1920$  pixelů pro každé oko (což pokud sečtu, je skoro rozlišení 4k), musel jsem zde již počítat s optimalizací z hlediska výkonu. Nesměl jsem totiž zapomenout na to, že obraz by měl být také velmi plynulý. Snažil jsem se výkonově držet okolo 90fps (snímků za sekundu), s nejnižšími hodnotami 72. Přepnutím módu pro stereofonní vykreslování *Multipass* na mód *Singlepass Instancing* se mi povedlo zvýšit výkon o 20%. Je ale důležité zmínit, že po nastavení tohoto módu jsem také musel lehce pozměnit kód pro zobrazovací shader, jinak by nezobrazoval portál správně (zobrazoval by jen obraz z jednoho oka). Zpětně jsem se také rozhodl snížit portálovou rekurzi na pouze 3 průběhy. Tímto jsem zvýšil výkon o dalších 5%. Tyto dvě změny mi pomohly zvýšit výkon nadstandardně.

Z tehdejších průměrných 65fps nyní dosahuji hodnot 120fps s maximálními *frame drops* (padajícími snímky) na 100fps.

Posledním problémem je samotný průchod portálem. Důvodem je opět stereofonní vykreslování. Pokud je hráč uvnitř portálu, a jelikož očima vidí z dvou perspektiv, může se stát, že hráč uvidí skrz obrazovku portálu na druhou stranu, což ve výsledku vytváří nepříjemné probliknutí při samotném průchodu. Tento problém jsem vyřešil způsobem, že pokud se hráč dostatečně přiblíží k portálu, obrazovka se v tomto místě lehce zdeformuje a tím zamezí již zmíněnému proniknutí a ve výsledku zachová funkční iluzi.



Obr. 10 Portál (vlevo) a pohled z pozice hráče (vpravo) bez zapnuté deformace portálu zobrazující průnik obrazovkou. Obrázek z vlastního zdroje – Kopie obrazovky pořízena ve vývojovém prostředí Unity, poté upravena pomocí programu paint.net [online].



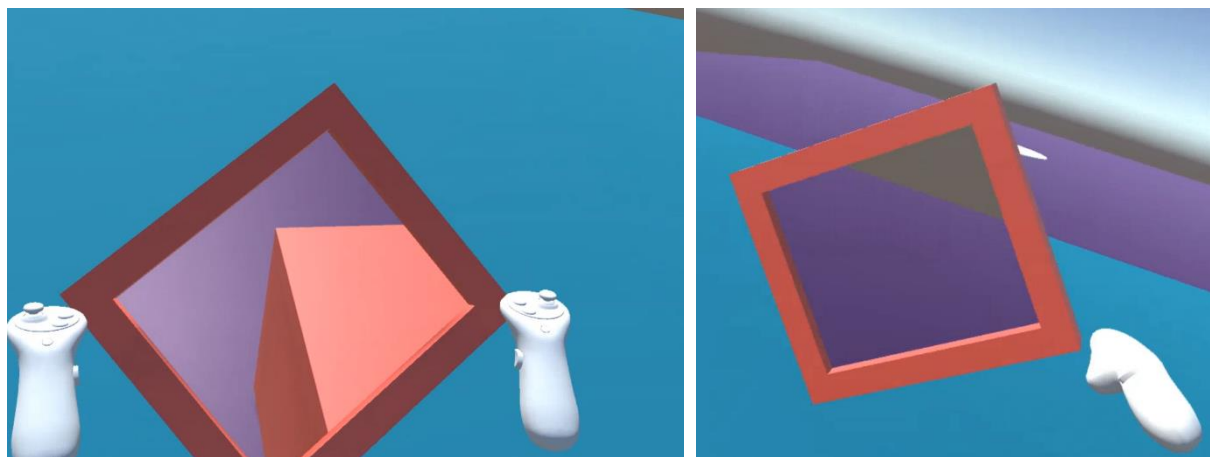
Obr. 11 Portál (vlevo) a pohled z pozice hráče (vpravo) se zapnutou deformací. Obrázek z vlastního zdroje – Kopie obrazovky pořízena ve vývojovém prostředí Unity, poté upravena pomocí programu paint.net.

## 4.4 Projekt 3 – VR portálová okna

V mém posledním projektu pro VR jsem se zaměřil na portály přenosné. Tyto portály jsou ve velmi experimentálním stavu, jelikož v aktuální době psaní této dokumentace jsem na internetu nic podobného nenašel. Proto také pro ně nemám žádné oficiální pojmenování. Teoreticky by právě tento způsob měl svým provedením regulovat nevolnost z pohybu na úplné minimum. Toho by mělo být docíleno, jelikož hráč může interagovat nejen s pozicí sebe, ale zároveň s pozicí portálu samotného. Může tak přesně určit, kam bude hráč teleportován.

Jelikož s portály chci interagovat, tedy přemísťovat je, uchopit je a samozřejmě zachovat správný průchod, celý portálový skript jsem duplikoval a přejmenoval jej na *DynPortals* (dynamické portály). Zároveň jsem v tomto skriptu musel upravit samotné vypočítávání relativní pozice kamery, jelikož pokud s portálem hýbeme, jeho pozice se samozřejmě mění. Krom toho není vytvořen portál na druhé straně, nýbrž pouze označeno místo, na které se chce hráč dostat.

Pro samotnou interakci jsem využil rozmanitosti již zmiňovaného balíčku *XR Interaction Toolkitu* díky jemuž jsem pomocí komponenty *XR Grab Interactable* mohl uchopit portál za pomoci ovladače. Zároveň jsem krom toho přidal portálu gravitaci pomocí komponenty *Rigidbody*, a v neposlední řadě *XR Grab Transformer*, aby mohl uživatel celý portál zvětšit, či zmenšit podle svých potřeb.



Obr. 12 Interakce s portálovými okny. Obrázek z vlastního zdroje – Kopie obrazovky pořízena ve vývojovém prostředí Unity, poté upravena pomocí programu paint.net [online].

## 4.5 Projekt 4 – XR Portály

Portály v rozšířené realitě jsou poslední věc, kterou jsem v mém projektu chtěl vytvořit. Tyto portály na jedné straně zobrazují svět virtuální, a na té druhé svět skutečný, v celku vytvářející velmi zajímavý efekt. Jelikož jak již bylo zmíněno v aktuální verzi OpenXR nedokáže zobrazit pohled z fyzických kamer na mém Quest 2 headsetu (Passthrough), byl jsem nucen použít OVR. Zároveň jsem pro tento typ scény (fyzická + virtuální) chtěl využít potenciál stencil bufferu. V neposlední řadě jsem chtěl využít URP, jelikož tento projekt bude sestaven pro nativní spuštění, tedy pro Android (narozdíl od PCVR). Pro všechny tyto důvody jsem se rozhodl začít s novým prázdným projektem. Tento projekt lze nazvat jen takovým bonusovým testem, jelikož obecně jsem se ve své maturitní práci zaměřil hlavně na PCVR. Osobně mohu potvrdit, že práce s balíčkem Oculus je zbytečně komplikovaná a zdlouhavá.

Jelikož jediný headset, co jsem měl při práci na projektu k dispozici byl Oculus Quest 2, který snímá pouze černobílý obraz, výsledný efekt bohužel nebyl tak ohromující a imerzní. S příchodem headsetu Oculus Quest Pro (a budoucího Oculus Quest 3), který již barevné kamery obsahuje, by se tento efekt mohl opravdu zlepšit. V budoucnu o koupi těchto či nadcházejících headsetů budu uvažovat, jelikož se problematikou rozšířené reality (XR), a obzvláště funkcí Passthrough, chci zabývat více.



Obr. 13 Portál umístěný v monochromním (skutečném) světě, zobrazující svět virtuální. Kopie obrazovky pořízena ve vývojovém prostředí Unity, poté upravena pomocí programu paint.net.

## ZÁVĚR

V závěru práce jsem se svými projekty spokojen. I když můj poslední projekt (XR Portály) nedopadl přesně podle mých očekávání, vyzkoušel jsem si pracovat s jinými technologiemi, vycházející z mé komfortní zóny. Zároveň jsem se během studování materiálů k vytváření těchto projektů naučil Unity používat více efektivněji a rychleji. Při vytváření samotných projektů jsem poté byl mnohem více sebejistější a měl jsem zkrátka větší kontrolu nad tím, co dělám.

Vytvořené projekty z práce plánuji využít jakožto základní pilíř k mým zdánlivě šíleným dalším projektům. Například portály využít jakožto spouštěče samotných aplikací a her. Princip by spočíval v tom, že místo standardního menu tlačítek s ikonou, by hráč pouze vstoupil do portálu (uvnitř zobrazující scénu hry) a při vstoupení se hra bez další zbytečné interakce spustí. Je to jen jeden z mých již zmiňovaných lehce šílených projektů, které chci v budoucnu uskutečnit.

Problematikou virtuálních portálů se v budoucnu hodlám zabývat nadále, jelikož mi virtuální realita a věci kolem ní v současné době dávají smysl. Osobně právě v tomto oboru vidím zajímavou budoucnost a v neposlední řadě mě problematika jednoduše fascinuje a inspiruje. Doufám, že se mi podaří realizovat své nápady a přispět k rozvoji virtuální reality jako nové formy umění a zábavy.

V každém případě jsem se během psaní této dokumentace naučil psát dokumentace.



## SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] Unity - Manual: Transforms. *Unity Documentation* [online]. Unity Technologies, c2021 [cit. 2023-04-24]. Dostupné z: <https://docs.unity3d.com/Manual/class-Transform.html>
- [2] GORDAN, Victor. OpenGL Tutorial 15 - Stencil Buffer & Outlining. YouTube [online]. 2021 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://youtu.be/ngF9LWWxhd0>
- [3] LAGUE, Sebastian. Coding Adventure: Portals. YouTube [online]. 2020 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://youtu.be/cWpFZbjtSQg>
- [4] How to Create Masks With the Custom Stencil Buffer | Tips & Tricks | Unreal Engine. YouTube [online]. Unreal Engine, 2020 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: [https://youtu.be/PiQ\\_JLJKi0M](https://youtu.be/PiQ_JLJKi0M)
- [5] Portal Problems - Lecture 11 - CS50's Introduction to Game Development 2018. YouTube [online]. CS50, 2018 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://youtu.be/ivyseNMVt-4>
- [6] LAJSEK, Jakub. Portal Test 2D. Scratch [online]. c2022 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://scratch.mit.edu/projects/736425828>
- [7] HECOMI. Unity の XR 向けシングルパスステレオレンダリングについて調べてみた: I looked into Unity's single-pass stereo rendering for XR. Hecomi: tips [online]. 2018 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://tips.hecomi.com/entry/2018/11/04/232219>
- [8] TAKAHAMA, Satoshi. OculusQuestでどこでもドアを実現してみる: Try to realize a door anywhere with Oculus Quest. Qiita [online]. c2020, 19 March 2022 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: [https://qiita.com/Satoshi\\_Takahama/items/0ef1c2f54ce553223437](https://qiita.com/Satoshi_Takahama/items/0ef1c2f54ce553223437)
- [9] Euclidean geometry. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: [https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean\\_geometry](https://en.wikipedia.org/wiki/Euclidean_geometry)
- [10] LOWOOD, Henry E. Virtual reality: VR, virtual world. In: Britannica [online]. Wikimedia Foundation, 2023 [cit. 2023-04-22]. Dostupné z: <https://www.britannica.com/technology/virtual-reality>



## **PŘÍLOHY**



## KONZULTAČNÍ LIST

Student: **Jakub Lajsek**

Třída: **E4P**

Školní rok: **2022 / 2023**

Téma: **23034 Portály ve VR**

### 1. kontrola průběžného řešení maturitní práce

Datum

Obsah kontroly:

Hodnocení

### 2. kontrola průběžného řešení maturitní práce

Datum

Obsah kontroly:

Hodnocení

### 3. kontrola průběžného řešení maturitní práce

Datum

Obsah kontroly:

Hodnocení