



České
vysoké
učení technické
v Praze

F3

Fakulta elektrotechnická
Katedra počítačů

Virtuální zážitek „Tvorba Langweilova modelu Prahy“

Lukáš Pospíšil

Vedoucí práce: Ing. David Sedláček, Ph.D.
Leden 2021

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Pospíšil** Jméno: **Lukáš** Osobní číslo: **478076**
Fakulta/ústav: **Fakulta elektrotechnická**
Zadávající katedra/ústav: **Katedra počítačů**
Studijní program: **Softwarové inženýrství a technologie**

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

Virtuální zážitek „Tvorba Langweilova modelu Prahy“

Název bakalářské práce anglicky:

VR experience: „Langweil Model of Prague Creation“

Pokyny pro vypracování:

- 1) Popište vhodné postupy tvorby fotorealistických modelů pro využití ve virtuální realitě (VR) a popište limity kladené na modely dané fyzickým zařízením.
- 2) Navrhněte a vytvořte modely pro virtuální zážitek lokalizovaný okolo stolu na půdě (v podkroví) Klementina z doby okolo roku 1830 (život A. Langweila). Dále z dostupných modelů předmětu TDM vyberte vhodné pro doplnění do scény a upravte je dle požadavků definovaných v bodě 1).
- 3) Navrhněte a implementujte VR interakční techniky připomínající práci A. Langweila při vytváření papírového modelu. Tyto techniky konzultujte s vedoucím práce a vybraným odborníkem z Muzea hlavního města Prahy. Techniky otestujte s vhodnou skupinou uživatelů.
- 4) Změřte závislost snímkové frekvence na počtu modelů, nastavení osvětlení a dalších parametrů ovlivňujících kvalitu obrazu. Navrhněte limity pro dosažení 90FPS na vybraném VR zařízení (zařízení konzultujte s 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
- [3] Joseph J. LaViola, Jr. et al. 3D User Interfaces: Theory and Practice, second edition. 2017. Addison Wesley Longman Publishing Co., Inc., Redwood City, CA, USA.
- [4] Maya - <http://autodesk.com/Maya2015GettingStarted>

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

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

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

Datum zadání bakalářské práce: **07.09.2020**

Termín odevzdání bakalářské práce: **05.01.2021**

Platnost zadání bakalářské práce: **19.02.2022**

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

podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

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

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Datum převzetí zadání

Podpis studenta

Poděkování

Rád bych poděkoval vedoucímu své práce Ing. Davidovi Sedláčkovi za vedení, odbornou konzultaci, pomoci při tvorbě této práce a příležitosti účasti na Langweilově projektu. Dále bych rád poděkoval přátelům, kteří mi pomohli a účastnili se uživatelském testování. Zároveň chci také poděkovat své rodině a přátelům za jejich podporu v průběhu celého studia.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předloženou práci vypracoval samostatně, a že jsem uvedl veškerou použitou literaturu a zdroje, a to v souladu s Metodickým pokynem č. 1/2009 o dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací.

Ve Zlatých Horách, 24. prosince 2020

Abstrakt

Tato bakalářská práce se zabývá tvorbou virtuálního zážitku, ve kterém si uživatel bude moci vyzkoušet, jak Antonín Langweil tvořil svůj papírový model Prahy. Seznamuje čtenáře s pojmem virtuální realita a popisuje tvorbu virtuálního zážitku, tedy prvotní analýzu, návrh řešení, implementaci zážitku a jeho testování.

Výstupem práce je virtuální zážitek, odehrávající se na půdě Klementina z doby okolo roku 1830. Tento zážitek je zkompletován do scény v herním enginu Unity 3D. Scéna je složená z vytvořených "fotorealistických" 3D modelů, které byly vymodelovány a otexturovány podle požadavků pro aplikaci ve virtuální realitě. Některé modely také byly vybrány ze semestrálních prací studentů předmětu 3D modelování (B6B39TDM) a následně upraveny pro potřebu aplikace. Uživatel si pomocí zážitku bude moci přiblížit tehdejší Langweilovu techniku tvorby domů pro jeho model Prahy.

Klíčová slova: Virtuální realita, 3D modelování, texturování, virtuální zážitek, Unity 3D, Maya, Substance painter

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

Abstract

This bachelor's thesis deals with the creation of a virtual experience in which the user will be able to try out how Antonín Langweil creates his paper model of Prague. It introduces the reader to the concept of virtual reality and describes the creation of a virtual experience. The text describes the initial analysis, solution design, implementation of the experience and its testing.

The output of the work is a virtual experience, taking place on the grounds of Klementinum from 1830. This experience is assembled into a scene in the Unity 3D game engine. The scene is composed of created "photorealistic" 3D models, which were modelled and textured according to the requirements for the application in virtual reality. Some models were selected from the semester works of students of the subject 3D modelling (B6B39TDM) and subsequently modified for the needs of the application. With the help of the created experience, the user will be able to get acquainted with the then Langweil technique of creating houses for his model of Prague.

Keywords: Virtual reality, 3D modeling, texturing, virtual experience, Unity 3D, Maya, Substance painter

Title translation: VR experience: „Langweil Model of Prague Creation“

Obsah

| | | |
|-----------------------------------------------------------------------|-----------|--|
| 1 Úvod | 1 | |
| 2 Virtuální realita | 3 | |
| 2.1 Virtuální realita v současnosti . . . | 3 | |
| 2.2 Zdraví a bezpečnost ve VR | 4 | |
| 3 Analýza virtuálního zážitku | 5 | |
| 3.1 Požadavky virtuálního zážitku . . . | 5 | |
| 3.1.1 Funkční požadavky | 5 | |
| 3.1.2 Nefunkční požadavky | 7 | |
| 3.2 Use case | 7 | |
| 3.3 Latence a rychlosti snímků pro VR aplikaci | 8 | |
| 4 Návrh řešení | 9 | |
| 4.1 3D Modelování | 10 | |
| 4.1.1 Hraniční reprezentace | 10 | |
| 4.1.2 Vhodné modely pro virtuální realitu | 11 | |
| 4.1.3 Nástroje pro tvorbu 3D modelů | 11 | |
| 4.2 UV mapování | 13 | |
| 4.3 Texturování | 14 | |
| 4.3.1 Physically-Based Rendering . | 14 | |
| 4.3.2 Typy map | 15 | |
| 4.3.3 Programy pro tvorbu textur . | 19 | |
| 4.4 Sestavení scény | 20 | |
| 4.4.1 Herní enginy | 20 | |
| 4.5 WBS diagram | 21 | |
| 5 Implementace | 23 | |
| 5.1 Tvorba 3D modelů | 23 | |
| 5.1.1 UV mapování | 24 | |
| 5.1.2 Úprava modelů z předmětu 3D modelování | 25 | |
| 5.2 Tvorba textur | 26 | |
| 5.2.1 Tvorba detailů na textuře . . . | 28 | |
| 5.3 Sestavení scény | 29 | |
| 5.3.1 Osvětlení scény | 30 | |
| 5.4 Interakční techniky | 30 | |
| 5.4.1 Malování a mazání malby . . . | 30 | |
| 5.4.2 Řezání papíru | 32 | |
| 5.4.3 Přilepení uřezané části a její odebrání | 35 | |
| 6 Testování | 37 | |
| 6.1 Výkonnostní testování | 37 | |
| 6.1.1 Celková plynulost finální scény | 37 | |
| 6.1.2 Plynulost zážitku před zapečení světél | 38 | |
| 6.1.3 Plynulost při tvorbě Sprite rendererů u malování | 38 | |
| 6.1.4 Plynulost zážitku s neoptimalizovanými modely | 38 | |
| 6.2 Uživatelské testování | 39 | |
| 6.2.1 Testovací scénář | 39 | |
| 6.2.2 Otázky kladené na konci testování | 39 | |
| 6.2.3 Shrnutí 1. testované osoby . . | 40 | |
| 6.2.4 Shrnutí 2. testované osoby . . | 40 | |
| 6.2.5 Shrnutí 3. testované osoby . . | 41 | |
| 6.2.6 Shrnutí uživatelského testování | 42 | |
| 7 Závěr | 43 | |
| 7.1 Shrnutí | 43 | |
| 7.2 Budoucí rozvoj | 44 | |
| 7.3 Přínos práce | 44 | |
| Literatura | 47 | |
| A Obsah příloženého CD | 51 | |
| B Uživatelský Manuál | 53 | |
| B.1 Spuštění finální buildnuté verze a uživatelské ovládání | 53 | |
| B.1.1 Spuštění | 53 | |
| B.1.2 Ovládání | 53 | |
| B.2 Spuštění projektu v herním enginu Unity 3D | 54 | |
| C Odkazy | 55 | |
| C.1 Gitlab repozitář projektu | 55 | |
| C.2 Materiály stáhnuté z share.substance3d | 55 | |
| C.3 Video s malováním | 55 | |

Obrázky

| | |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1 Rozdělaný Langweilův model domů. Zdroj: autor | 6 |
| 3.2 Use case návštěvníka Muzea hlavního města Prahy | 7 |
| 4.1 Ukázka rozdílu fotorealistického modelu oproti normálnímu modelu. V levé části se nachází "fotorealistický" model palety barev pro virtuální zážitek. Vpravo se nachází nedokončený model palety. Zdroj: autor | 9 |
| 4.2 Ukázka základního UV mapování krychle. Zdroj: autor | 13 |
| 4.3 Ukázka použití albedo mapy v herním enginu Unreal Engine 4. Zdroj: autor | 15 |
| 4.4 Ukázka použití specular mapy v herním enginu Unreal Engine 4. Zdroj: autor | 15 |
| 4.5 Ukázka použití roughness mapy v herním enginu Unreal Engine 4. Zdroj: autor | 16 |
| 4.6 Ukázka použití metalness mapy v herním enginu Unreal Engine 4. Zdroj: autor | 17 |
| 4.7 Ukázka použití normal mapy v herním enginu Unreal Engine 4. Zdroj: autor | 18 |
| 4.8 Ukázka použití opacity mapy v herním enginu Unreal Engine 4. Zdroj: autor | 18 |
| 4.9 WBS diagram popisující aktivitu projektu | 21 |
| 5.1 Ukázka postupu modelování pracovního stolu z jednoduchého kvádrů. Zdroj: autor | 24 |
| 5.2 Ukázka rozdílu polygonové sítě (levá lampa - upravený model, pravá lampa - původní model z předmětu TDM). Zdroj: autor | 25 |
| 5.3 Zjednodušení dalekohledu z TDM - původní model (levá část), upravený model s odstraněnými polygony a hrany (pravá část). Zdroj: autor . . | 26 |
| 5.4 Ukázka UV mapování pracovního stolu - hnědé dřevo (červené ohraničení), bílé dřevo (žluté ohraničení), kov (modré ohraničení). - Zdroj: autor | 27 |
| 5.5 Ukázka základního vzhladu pracovního stolu. Zdroj: autor | 27 |
| 5.6 Ukázka jak můžeme změnit geometrii modelu pomocí normálové mapy. Zdroj: autor | 28 |
| 5.7 Rozložení půdy - police s knihy (K), ostatní pracovní stoly (S), stůl hráče (červený obdélník). Zdroj: autor . . | 29 |
| 5.8 Znázornění celého konceptu kamery s targetTexturou, kontejnerů pro brusle a plátna pro pozadí. Zdroj: autor | 31 |
| 5.9 Znázornění procesu malování a následného mazání. | 32 |
| 5.10 Ukázka variant papíru po řezání. Zdroj: autor | 33 |
| 5.11 Znázornění procesu řezání papíru. | 34 |
| 5.12 Znázornění procesu přilepení papíru k modelu domů. | 35 |
| 5.13 Znázornění procesu odebrání papíru od modelu domů. | 35 |
| 7.1 Ukázka hráčova tutoriálu, popisující jak by měl postupovat. Zdroj: autor | 44 |

Kapitola 1

Úvod

Virtuální realita (VR) se v poslední době stává úspěšným a důležitým trendem v oblasti informačních technologií, jelikož umožňuje vidět a prožít zážitky, situace námi nepředstavitelné nebo nedosažitelné. Pomocí VR se můžeme například vydat na poznávací cestu do historie či budoucnosti, nebo se můžeme připravit na situace, které nás mohou potkat ve skutečném světě. Role VR ještě není v současnosti tak velká, avšak s každým rokem a každou inovací v technologických oblastech spojených s VR se role zvětšuje. Velký potenciál můžeme již dnes vidět v zábavním průmyslu, jako jsou videohry nebo filmy.

„Virtuální realita však nalézá využití i v dalších průmyslových odvětvích už mnoho let. Úspěšné využití můžeme nalézt ve vědeckých výzkumech, architektuře, lékařství, výcviku nových pilotů, armádě a spoustě dalších. Používání VR v takových odvětvích odhaluje nákladné konstrukční chyby před výrobou, zkracuje čas uvedení na trh, zrychluje iterační procesy, nebo poskytuje bezpečné výukové prostředí, které by jinak bylo nebezpečné.“[1]

Očekává se, že využití VR technologií se bude jenom zvětšovat a dalším důležitým odvětvím, ve kterém VR může velice pomoci, bude školství, vzdělávání a příprava zaměstnanců v průmyslovém odvětví. Je totiž známo, že aktivní využívání lidských smyslových schopností a motoriky zvyšuje porozumění a učení. Je to částečně kvůli zvýšené smyslové šířce pásma mezi člověkem a informacemi [2]. Aktivní účast ve virtuálních zážitcích, které ukazují například historické události, tak mohou přispívat k větší motivaci vnímání a porozumění předávaných informací. Proto cílem této práce je vytvořit virtuální zážitek historické události.

Konkrétně se jedná o zážitek v prostředí dílny Antonína Langweila, ve kterém vytvořil jeho slavný papírový model Prahy. Tento virtuální zážitek by poté měl umožnit návštěvníkům Muzea hlavního města Prahy přiblížit, jak asi A. Langweil ve své dílně model Prahy tehdy tvořil a tím tak zábavně a netradičně rozšířit povědomí o jeho práci a významu tohoto modelu Prahy z 19. století.

V prvotní části práce se více seznámíme s virtuální realitou a analyzujeme si, jak by měl virtuální zážitek Langweilovy pracovny vypadat. Dále se podíváme na návrh řešení, který popíše, jak by zážitek měl vzniknout a na co si dát při tvorbě pozor. Následující kapitola poté pojednává o implementaci

virtuálního zážitku, tato kapitola by následně měla pomoci dalším studentům a zaměstnancům školy dokončit virtuální zážitek pro muzeum. Předposlední kapitola se věnuje testování zážitku a v závěru práce se podíváme na dosažené výsledky a možnosti, jak bude celý tento zážitek dokončen.

Kapitola 2

Virtuální realita

„Technologie virtuální reality se rychle vyvíjí, takže je nežádoucí ji definovat z hlediska konkrétních zařízení, která mohou za rok nebo dva upadnout v nemilost.“[3]

Virtuální realitou však nazýváme systém, který má za cíl poskytnout uživateli iluzi, že se nachází v jiném "virtuálním" prostředí. Toto trojrozměrné prostředí pak nazýváme virtuální svět nebo prostředí, které je uměle generované a uživatel ho může prozkoumávat či s ním interagovat. K tomu, aby uživatel docílil k pocitu, že se nachází ve virtuálním prostředí, je potřeba ovlivnit jeho lidské smysly, nejčastěji zrak a sluch, občas také vůni nebo hmat. I když se virtuální realita technologicky posouvá kupředu, stále není dokonalá, a tak je také důležitým faktorem představitivost a ochota uživatele mysli přijmout virtuální svět a přidat mu tak realnost.

„S pojmem virtuální realita poprvé přichází německý filozof Immanuel Kant, ačkoli jeho použití nezahrnovalo technologii. Kant představil tento termín k označení "reality", která existuje v něčí mysli, na rozdíl od vnějšího skutečného fyzického světa, který je také realitou. Moderní využití termínu VR popularizoval až Jaron Lanier v 80. letech minulého století. Nejdůležitější myšlenkou VR však je, že vnímání reality uživatelem bylo změněno pomocí technologií, spíše než to, zda prostředí, ve kterém se nachází vypadá více "skutečně" nebo "virtuálně“.[4]

Pojem virtuální realita je občas zaměňován s pojmem rozšířená realita (AR). Rozšířená realita na rozdíl od VR pouze rozšiřuje reálný svět kolem nás. Příklad AR můžeme nalézt u promítání informací na čelní sklo automobilu nebo u používání například speciálních brýlí Microsoft HoloLens.

2.1 Virtuální realita v současnosti

V současnosti můžeme říci, že posledních 10 let bylo ve znamení velkého a rychlého rozvoje VR technologií, jako například technologie displejů, snímání, výpočetní techniky pc hardwaru, ale také chytrých mobilních telefonů. S příchodem poměrně "jednoduchého" řešení VR krytů/pouzder pro mobilní telefony, které umožňují virtuální zážitek skoro na každém smartphonu, tak přichází až miliony potenciálních uživatelů této technologie. Tento trend je

poté velice podobný příchodu domácího počítače nebo webového prohlížeče, ve kterém čím dál větší množství uživatelů přináší a rozšiřuje možnosti dané technologie. Za zvětšující se dostupnost VR technologií může však i snižující se cena VR headsetů/brýlí, které v současnosti tvoří jádro VR technologií a příchod nebo vývoj nového hardwaru a softwaru přizpůsobený nebo přímo vyvíjený pro použití VR.

2.2 Zdraví a bezpečnost ve VR

Vzhled, funkčnost a reálnost virtuálního zážitku se odvíjí od jeho zaměření a požadavků. Všechny tyto zážitky však bude provázet jeden konkrétní požadavek, a to požadavek pro bezpečný a příjemný zážitek, který nebude ohrožovat zdraví uživatele. Na rozdíl od jiných médií, jako je televize, pc nebo mobil, má VR sílu přemoci mozek, což může vést k celkové únavě, bolesti hlavy nebo nevolnosti. Tento nežádoucí jev nazýváme VR sickness, tedy VR nemoc [5]. Tato nemoc je podobná nemoci z pohybu, liší se však tím, že může být způsobena vizuálně vyvolaným vlastním pohybem, tedy pokud ve skutečném světě stojíte na místě a zároveň se začnete pohybovat ve virtuálním světě, narušíte tak rovnováhu mozku a můžete začít pociťovat nevolnost. Dalším zdravotním problémem pak může být svalová únava, nejčastěji rukou, která je důsledkem velkého množství svalové námahy, například při častém a dlouhém provozování gest a interakcí za pomoci ovladačů v rukách. Tomuto jevu říkáme gorilí paže [5]. Proto je potřeba, aby každý vývojář pracující na VR, pochopil a znal faktory ovlivňující zdraví uživatele.

Kapitola 3

Analýza virtuálního zážitku

Pro nejlepší možný výsledek vývoje softwarových aplikací je nutné nejdříve provést analýzu pro stanovení požadavků a upřesnění funkcionality pro uživatele. Proto následující kapitola ukáže, jaké požadavky byly pro tuto práci stanoveny.

3.1 Požadavky virtuálního zážitku

Hlavní požadavky byly stanoveny Muzeem hlavního města Prahy, které by si přálo "fotorealistický" virtuální zážitek pro své návštěvníky. Dále byly požadavky pro lepší výsledek práce upraveny vedoucím práce. Vývoj projektu tedy vychází především z těchto požadavků.

3.1.1 Funkční požadavky

- **FSP01 Virtuální zážitek se bude odehrávat v dílně A. Langweila**
Uživatel by se měl v zážitku přenést na půdu nebo podkroví Klementina okolo roku 1830.
- **FSP02 Dílna by měla vypadat realisticky a věrohodně pro danou dobu**
Prostředí dílny by mělo být vytvořeno fotorealistickými 3D modely, které budou reprezentovat možné objekty a nástroje z roku 1830, které se mohly v dílně vyskytovat.
- **FSP03 Virtuální pracovní stůl, na kterém leží nástroje pro tvorbu modelu Prahy**
Uživatel sedí v dílně u pracovního stolu, na kterém leží tehdejší nástroje, se kterými A. Langweil tvořil model Prahy.
- **FSP04 Manipulace s nástroji a tvorba domů pro Langweilův model Prahy**
Uživatel bude moci interagovat s nástroji ležící na pracovním stole, s těmito nástroji poté bude moci tvořit model Prahy. Tvorba modelu

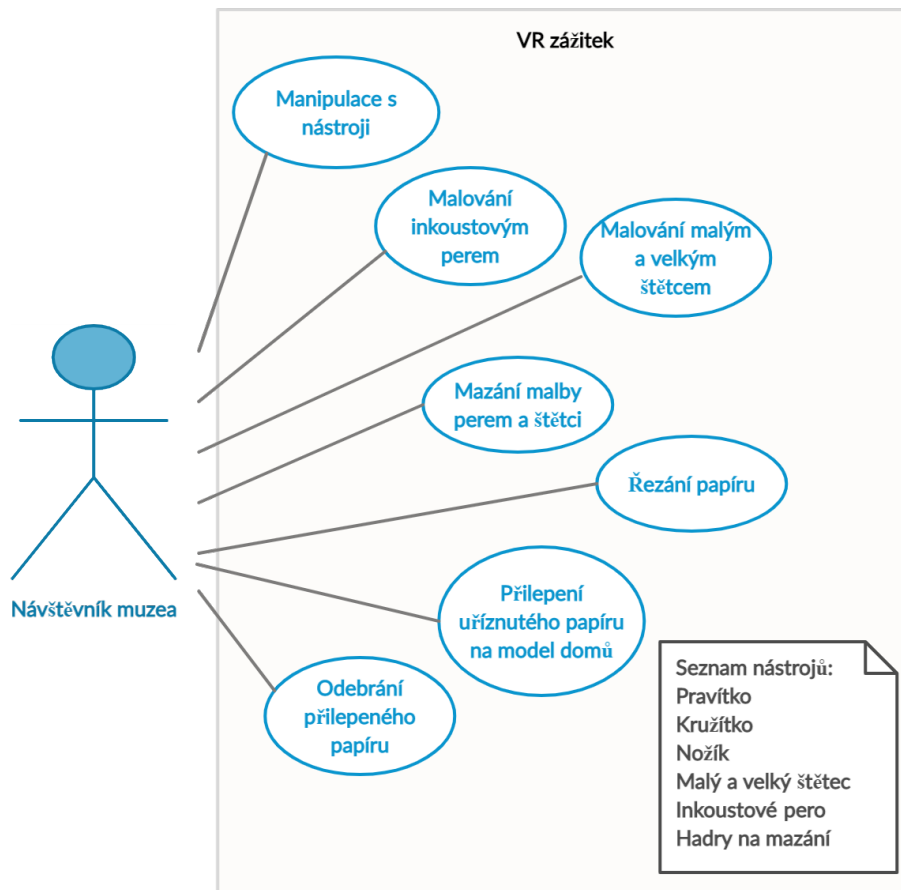
3.1.2 Nefunkční požadavky

■ FHP01 Plynulost a příjemnost virtuálního zážitku

Zážitek by uživateli neměl působit nevolnost a špatný pocit. Aplikace by měla dosáhnout limitu 90FPS na vybraném VR zařízení. Jelikož se jedná o důležitý požadavek, který bude určovat úspěšnost virtuálního zážitku. V podkapitole 3.3 si přiblížíme, co latence a rychlost snímků znamenají.

3.2 Use case

Tato podkapitola pomocí Use case diagramu (diagram případů užití) zobrazuje funkcionalitu zážitku tak, jak to vidí samotný uživatel. Diagram vypovídá o tom, co má zážitek umět, ale neříká, jak to bude dělat [6]. Popisuje tedy možné činnosti, které bude moci uživatel virtuálního zážitku dělat. Zároveň můžeme vidět seznam nástrojů, se kterými by měl uživatel interagovat.



Obrázek 3.2: Use case návštěvníka Muzea hlavního města Prahy

3.3 Latence a rychlosti snímků pro VR aplikaci

Pojem latence označuje zpoždění mezi požadavkem na provedení nějaké akce a chvílí, kdy je tento požadavek zpracován. V grafickém uživatelském rozhraní se může jednat například o kliknutí na tlačítko (akce) a zavřením dialogového okna (zpracování) [2]. Tento parametr se většinou počítá v milisekundách. Ve VR se poté jedná o dobu, která je zapotřebí k aktualizaci obrazu v reakci na změnu orientace a polohy hlavy [7]. Pokud se obraz pohybuje pomaleji, než je mozek při pohybu zvyklý, uživateli může velmi rychle nastat nevolnost. Zvyšování latence může způsobovat špatně optimalizovaný nebo náročný virtuální svět, proto je potřeba při tvorbě virtuálního prostředí na toto myslet.

Snímková frekvence je poté frekvence, kterou dokáže zobrazovací zařízení zobrazit jednotlivé snímky za sebou. Snímková frekvence se udává v jednotkách FPS (frames per second - počet snímků za vteřinu) nebo v hertzích Hz [8].

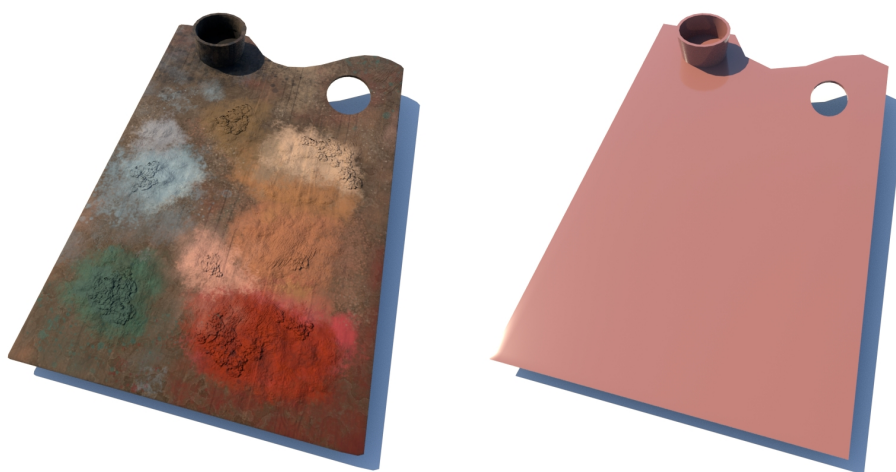
I když Vám při hraní v 30FPS nebo 60 a více FPS na běžném monitoru přijde plynulé a nezpůsobuje Vám to nevolnost, u virtuálního zážitku to však platit nemusí. U VR aplikací by počet snímků neměl klesnout pod 60FPS, samotní výrobci headsetů poté uvádí, že je ideální dosahovat 90 a více snímků za vteřinu. Při tvorbě VR aplikace je tedy důležité myslet, pro jaké účely je aplikace vytvářena a od toho ovlivňovat kvalitu 3D modelů a složitost vykreslování celé scény.

Kapitola 4

Návrh řešení

Po ujasnění požadavků je zřejmé, že je potřeba vytvořit realistické prostředí dílny A. Langweila, která se bude nacházet na půdě nebo podkroví Klementina, kde se budou nacházet nástroje pro tvorbu modelu Prahy a kulisy pro navození lepší atmosféry. Proto je potřeba vytvořit "fotorealistic" 3D modely, které tento požadavek splní.

Fotorealistic 3D modely můžeme chápat jako vytvořené 3D modely, které mají realistický vzhled a tvar, jako například na obrázku 4.1, na kterém můžeme v levé části vidět realistický vzhled modelu palety barev, který na první pohled vypadá jako skutečná paleta. Vedle ní pak model palety, který je na první pohled rozpoznatelný, že je uměle vytvořen.



Obrázek 4.1: Ukázka rozdílu fotorealistického modelu oproti normálnímu modelu. V levé části se nachází "fotorealistic" model palety barev pro virtuální zážitek. Vpravo se nachází nedokončený model palety. Zdroj: autor

Tvorba fotorealistic 3D modelů není v poslední době až tak těžká, jak by se zdálo. Pokud je potřeba detailní fotorealistic 3D model něčeho, co existuje, může se využít například 3D sken, hloubková kamera nebo foto rekonstrukce. Dnešní skenery dokáží vytvořit poměrně vysoce kvalitní modely, na které dokonce zachytí i texturu (co je to textura, viz podkapitola 4.3). Zvládnou tedy během chvíle to, na čem by grafik strávil hodiny. Tyto modely

však nejsou bezchybné a vhodné pro herní účely, jelikož jsou až příliš podrobné, a tak i vysoce náročné pro výpočet, tudíž stejně je potřeba grafika pro jejich vhodnou úpravu.

V případě této práce však techniku modelování v předešlém odstavci v některých situacích použít nelze nebo v dalších situacích není příliš vhodná, poněvadž se jedná o historické objekty, které již nemohou být naskenovány. Hlavním důvodem je však to, že modely budou tvořeny pro virtuální realitu. U takových modelů je potřeba, aby byly dobře optimalizované a nebyly výpočetně náročné. Proto se pro potřebu této práce bude nejvíce hodit metoda ručního 3D modelování, která je v následné části textu popsána. Jelikož po ručním modelování většinou vznikne pouze 3D model se základním vzhledem, bude potřeba také vytvořit vzhled, který modelu dodá jeho reálnost. Tento proces se nazývá texturování, kterému se věnuje podkapitola 4.3. Před tím však podkapitola 4.2 bude muset přiblížit proces nazývaný se UV mapování, který spojuje 3D modelování a texturování.

4.1 3D Modelování

3D tvorba se stala nedílnou součástí herního průmyslu, avšak 3D modely se používají v nejrůznějších odvětvích, jako například filmový a televizní průmysl nebo architektura. 3D modelování je technika pro tvorbu 3D digitální reprezentace objektu. Tento objekt v trojrozměrném prostoru má následně charakter tělesa, které má představovat skutečný hmotný předmět. Na těleso poté můžeme nahlížet jako na množinu bodů v trojrozměrném prostoru [9]. Tělesa mají různou reprezentaci modelů, jako je například Konstruktivní geometrie těles, nebo Voxelová reprezentace. Nejrozšířenějším a nejobvyklejším způsobem reprezentace 3D modelu je Hraniční reprezentace (Boundary representation).

4.1.1 Hraniční reprezentace

Při hraniční reprezentaci objektu je těleso popsáno jako mnohostěn určený svými hranicemi. K popisu hranice tělesa používáme základní prostorové prvky, jako jsou body (vrcholy), úsečky (hrany) a části rovinných ploch (stěny) [9]. Jednotlivé vrcholy (vertices) spojovány hranami (edges) následně tvoří stěny (faces nebo polygons). Tyto stěny dále tvoří polygonální síť, ve které je základní jednotkou trojúhelník, ten však často bývá nahrazován za čtyřúhelník. Samotná trojúhelníková síť totiž není vhodná při tvorbě modelu, neboť oproti čtyřúhelníkové síti se s ní hůře pracuje. Hraniční reprezentace je dnes považována za standard, který je jak softwarově, tak hardwarově nejvíce podporován. Proto také byla tato reprezentace v práci použita.

■ 4.1.2 Vhodné modely pro virtuální realitu

Virtuální prostředí v této práci se bude tedy skládat z ručně vymodelovaných 3D modelů, které se budou skládat z polygonální sítě. Řetěz transformací a proces rasterizace ve virtuálním prostředí, však musí být použit pro každý polygon, což má za následek výpočetní náklady, které jsou přímo úměrné počtu polygonů modelu. U modelu, který obsahuje desítky milionů polygonů, bude vykreslení trvat řádově delší dobu než u modelu, který obsahuje několik tisíc polygonů [10]. Vysoký počet polygonů v síti může vést k detailnějšímu a reálnějšímu modelu než u modelu s nízkým počtem, proto je potřeba nalézt optimální počet polygonů, tak aby model vypadal detailně, ale zároveň nebyl polygonálně náročný. Optimální model také kromě zkrácení doby vykreslování, snižuje výpočetní nároky na generátor virtuálního světa (VWG - Virtual World Generator) [10].

Další technikou pro optimalizaci světa pak může být Occlusion culling nebo systém Level of Detail (LOD), ve které existuje několik variant daného 3D modelu, které se dynamicky přepínají v závislosti na vzdálenosti kamery nebo hráče od daného modelu. Čím je vzdálenost větší, tím je daný model jednodušší a méně detailnější. Occlusion culling je poté technika, při které se nevykreslují modely, které jsou zcela zakryté jinými modely v záběru kamery.

Při tvorbě modelů je důležité tedy myslet na jejich polygonální složitost a jejich využití ve světě. Díky tomu se může naplnit jedna z metod pro snížení latence, a to zjednodušení virtuálního světa. Při klasickém modelování využívá grafik nástroje (software) přímo k tomu určený, který mu umožňuje mít naprostou kontrolu nad vzhledem modelu a také nad jeho složitostí, proto si pár takových základních nástrojů přiblížíme.

■ 4.1.3 Nástroje pro tvorbu 3D modelů

■ Blender

Blender je sada 3D počítačového grafického softwaru vyvinutá organizací Blender Foundation. Tato sada je velmi oblíbená nejen u profesionálních grafiků, ale také u lidí, kteří s 3D modelováním začínají nebo ho mají jako svého koníčka. Hlavním důvodem je, že se jedná o program s otevřeným zdrojovým kódem, tedy o Open Source s licencí GPL (GNU General Public License). Uživatelé tedy mohou tuto sadu využívat zcela zdarma, a to i pro komerční účely. Díky tomu se kolem Blenderu vyskytuje obrovská komunita, která tvoří plno naučných návodů, jak docílit těch nejlepších výsledků, nebo vám dokáže poradit s problémem, se kterým si nevíte rady. Software podporuje i skriptování v jazyce Python, čímž se řadí k profesionálním nástrojům pro tvorbu 3D obsahu. Nevýhodou programu však je jeho ovládání, které nemusí být zrovna přívětivé pro některé uživatele, zejména pro ty, kteří se modelování naučili v 3D Studiu Max nebo v Cinemě 4D.

■ 3D Studio Max

3D Studio Max je software vlastněný společností AUTODESK, který nabízí bohatou a flexibilní sadu nástrojů pro vytváření kvalitních 3D modelů a animací. Program také disponuje přívětivým uživatelským rozhraním, které je vhodné pro uživatele, kteří se chtějí naučit modelování, ale také díky velké škále nástrojů je silným profesionálním softwarem, využívající se od filmového až po herního průmyslu, nebo také ve vizualizaci architektury. To je ale znát na ceně tohoto programu, kde cena za roční licenci dosahuje 54 182 Kč [11].

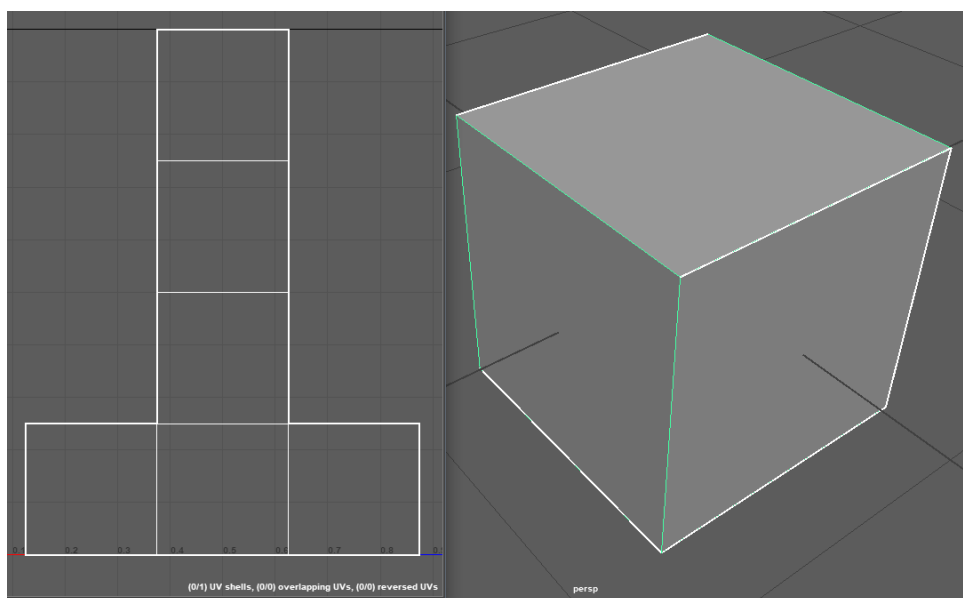
■ Maya

Maya se v posledních letech stává standardem pro tvorbu 3D obsahu, jak pro filmový, tak pro herní průmysl. Stává se tak silným konkurentem pro 3D Studio Max. Zajímavostí však je, že Maya je vlastněna stejnou společností jako Max, tedy společností AUTODESK. Největší silou tohoto softwaru je tvorba animací, díky kterému se stává důležitým programem právě ve filmovém a televizním průmyslu. Uživatel může v programu programovat nebo skriptovat pomocí vestavěných jazyků MEL (Maya Embedded Language) nebo Python. Spolu s velice rozsáhle komplexní sadou 3D nástrojů se Maya stává opravdu silným programem. Na rozdíl od předešlých dvou programů, je Maya o něco složitější na pochopení a ovládání, proto je vhodnější pro zkušenější uživatele. Cena roční licence tohoto produktu činí 54 182 Kč [12], tedy stejně jako v případě předešlého softwaru. Existuje odlehčená verze Maya LT, u které licence na rok stojí 8 442 Kč [13]. Tato verze však nedisponuje všemi potřebnými nástroji pro profesionální tvorbu.

Pro potřebu tvorby fotorealistických 3D modelů můžeme využít všechny 3 výše uvedené softwary. Všechny tyto programy jsem v průběhu středoškolského a vysokoškolského studia vyzkoušel, všechny mají své klady i zápory. Jelikož poslední dva roky pracuji v programu Maya, disponuji studentskou licencí a vidím v ní velký potenciál do budoucna, tak rozhodnutí bylo snadné a pro tvorbu modelů jsem vybral právě tento program.

4.2 UV mapování

UV mapování je proces, který spojuje 3D model s texturami, jelikož je potřeba definovat mapování 3D modelu do 2D roviny textury. Způsob tohoto mapování se označuje jako UV mapování, kde U je označení pro vodorovnou osu a V pro svislou osu v 2D prostoru, jelikož X, Y, Z je již použito v 3D prostoru. Každý bod 3D modelu tudíž obsahuje 3 souřadnice X, Y, Z pro určení pozice v 3D prostoru a 2 souřadnice U a V pro určení pozice v 2D prostoru. Při UV mapování vzniká proces, kdy je polygonální síť modelu rozřezána na díly, které jsou následně umístěny do roviny (viz. obrázek 4.2). Tím vznikají tzv. švy, jsou to právě části sítě, které byly rozřezány. Tyto švy je nutné často ošetřit správným sestavením UV mapování, tak aby při promítnutí textury nebyl šev viditelný [14]. UV mapování také umožňuje snadnější a přesnější tvorbu textury.



Obrázek 4.2: Ukázka základního UV mapování krychle. Zdroj: autor

4.3 Texturování

Texturování je proces, při kterém vzniká textura, která dodává vlastnosti povrchu trojrozměrného modelu, jako je barva, nebo speciální vizuální efekty. Textura může popisovat vlastnosti povrchu, jako například průhlednost, odrazivost nebo může docílit dojmu změny geometrie modelu, třeba hrbolatiosti. Tyto různé typy textur poté pomáhají lépe definovat vlastnosti povrchu materiálu, který bude určovat finální vzhled pro daný model. Díky použití textur může být vytvořen materiál, který navodí iluzi reálné hmoty nebo materiálu. Také umožňují docílit detailnějšího vzhledu i u méně polygonálně složitých modelů.

Jsou dva základní způsoby, jak pro modely textury získat. Prvním z nich je možnost koupě nějakého balíčku komerčních textur nebo nalezení volně dostupných, které by mohly být v práci případně použity. To však není moc efektivní, jelikož pro tvorbu "fotorealistických" modelů se textury, které by se přesně hodily pro projekt, jen těžko hledaly. Proto využijeme druhý způsob, a to tvorbu vlastních textur. Pro správné vytvoření materiálu si dále popíšeme pár typů textur (map). Nejdříve si však popíšeme, co znamená PBR (Physically-Based Rendering), jelikož všechny textury budou tvořeny pro PBR materiály.

4.3.1 Physically-Based Rendering

PBR neboli fyzicky založené vykreslování je metoda stínování a vykreslování, která poskytuje přesnější znázornění interakce světla s povrchy. Označuje se jako fyzicky založené vykreslování (PBR) nebo fyzicky založené stínování (PBS). Oba pojmy však popisují proces reprezentace aktiv z fyzicky přesného hlediska [15].

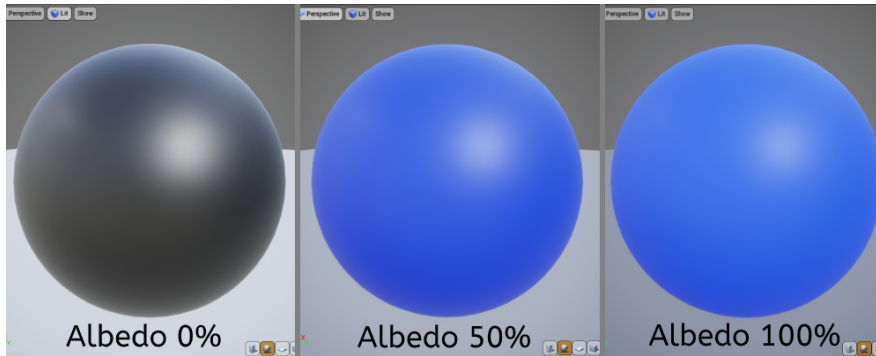
Existují dva standardizované pracovní postupy (workflows), kterými se tvoří textury pro PBR materiály. Jedná se o Metallic Roughness (kovová drsnost) a Specular Glossiness (zrcadlový lesk). Oba postupy mají při implementaci klady a zápory, jeden však není lepší než druhý. Oba postupy dosahují stejného nebo velice podobného výsledku, ale implementují se různými způsoby. Textury specifické pro Specular Glossiness workflow jsou albedo, specular a glossiness mapa. U Metallic Roughness workflow jsou pak specifickými textury základní barva (base color), metalness a roughness mapa. Tyto různé typy map a dvě další jsou dále popsány. Existují však ještě další mapy, které již zmiňovat nebudeme.

4.3.2 Typy map

■ PBR Specular Glossiness workflow

■ Albedo mapa

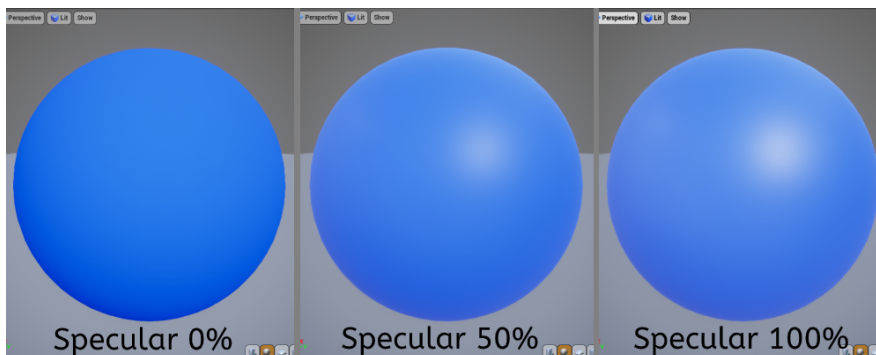
Základ materiálu tvoří právě Albedo mapa, která definuje barvu/obraz materiálu bez stínů a odrazu světla.



Obrázek 4.3: Ukázka použití albedo mapy v herním engine Unreal Engine 4.
Zdroj: autor

■ Specular mapa

Specular mapa má schopnost nejen diktovat metalickou hodnotu modelu, ale také barvu odrazivosti.



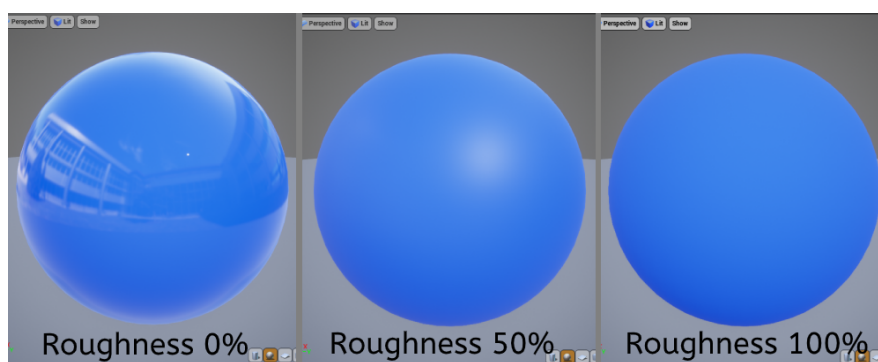
Obrázek 4.4: Ukázka použití specular mapy v herním engine Unreal Engine 4.
Zdroj: autor

■ PBR Metallic Roughness workflow

■ Roughness mapa

Tato mapa určuje, jak drsný nebo hladký povrch bude. Hrubý materiál odrazuje světlo více směry než materiál hladký. Mapa je definována šedou stupnicí, hladkost se rovná černá, kde materiál vůbec nerozptyluje světlo, takže odrazy jsou na materiálu ostřejší a jasnější, což vede k zrcadlovému efektu. Hrubý materiál je pak bílá, kde se odraz světla šíří více kolem sebe a tím vzniká matný efekt.

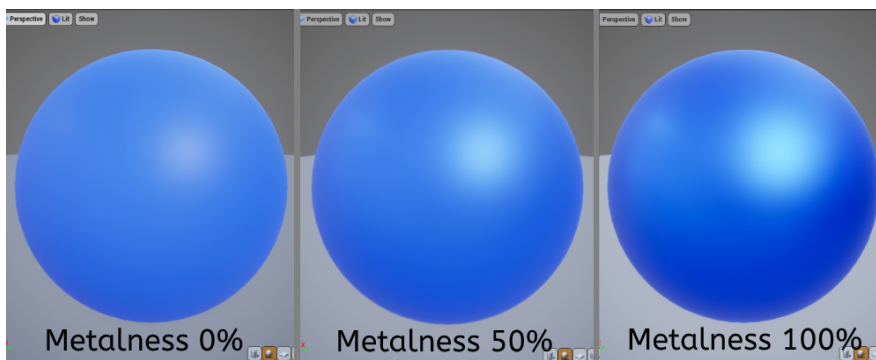
Vezmeme-li si **Glossiness mapu** z Specular Glossiness workflow, jedná se v podstatě o obrácenou Roughness mapu, u které tedy bílá znamená hladkost a černá pak hrubost.



Obrázek 4.5: Ukázka použití roughness mapy v herním engine Unreal Engine 4.
Zdroj: autor

■ Metalness mapa

Tento typ mapy má simulovat chování kovu. Jako mapa ve stupních šedi funguje jako maska k rozlišení kovových a dielektrických (elektricky nevodivých) částí základní barevné mapy [15]. Černá barva v masce představuje dielektrikum, tedy nekov a používá hodnotu odrazivosti 4%, jelikož tato hodnota pokrývá nejběžnější dielektrické materiály. Oproti tomu bílá barva představuje surový kov, který má hodnotu odrazivosti v rozsahu 70-100% [15]. Metalness mapa může představovat i smíšený stav mezi kovem a nekovem, který je na masce prezentován stupnicí šedi. Díky této vlastnosti je možné vytvářet například nečistoty nebo korozi kovu.

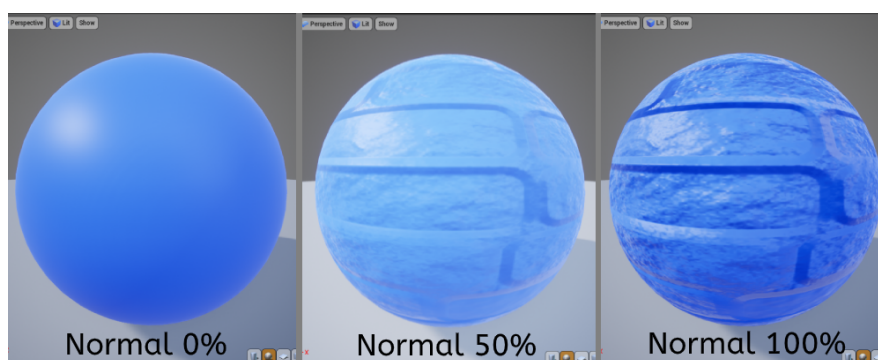


Obrázek 4.6: Ukázka použití metalness mapy v herním engineu Unreal Engine 4.

Zdroj: autor

■ Normálová mapa

Normálová mapa určuje hloubku textury. To vytváří vizuální efekt nerovnosti povrchu, který má ve skutečnosti mnohem jednodušší geometrii. Jedná se o RGB mapu, kde každá složka odpovídá souřadnicím X, Y, Z normálového vektoru u každého pixelu plochy tak, aby změnil odraz světla způsobem, kterým odpovídá nerovnosti povrchu tělesa. Nejčastěji se používá Tangent Space normal map (normálová mapa tečného prostoru), která je modro fialová [16]. Starší alternativou normálové mapy je Bump mapa, která na rozdíl od normálové mapy využívá hodnoty ve stupnici šedi. Normálovou mapu lze také využít k uložení detailů polygonálně složitého modelu pro model jednodušší.



Obrázek 4.7: Ukázka použití normal mapy v herním engineu Unreal Engine 4.
Zdroj: autor

■ Opacity mapa

Opacity mapa je důležitým typem mapy, která určuje průhlednost částí materiálu. Tato mapa se hodí pro tvorbu skleněných materiálů nebo třeba při simulaci větví nebo listů stromů.



Obrázek 4.8: Ukázka použití opacity mapy v herním engineu Unreal Engine 4.
Zdroj: autor

■ 4.3.3 Programy pro tvorbu textur

Pro tvorbu textur existuje spousta nástrojů a nejspíše spoustu z Vás první napadne Photoshop (Adobe Photoshop) pro 2D malování, který již umožňuje kreslení přímo na 3D model v reálném čase. Existují však lepší programy, které jsou přímo určené ke kreslení a tvorbu textur pro 3D modely v reálném čase. Tyto programy se dají označit jako 3D software pro tvorbu textur.

3D programy pro tvorbu textur umožňují snadnější přidávání detailů do menší oblasti textur. Při práci na textuře v 2D programu, musí uživatel několikrát danou texturu uložit a následně nahrát na model v softwaru pro modelování, aby si mohl prohlédnout, jak vypadá na daném modelu, což v případě 3D programu pro tvorbu textur vidí uživatel okamžitě. Navíc se v těchto programech dá velice lehce vypracovat a vygenerovat například normálová nebo spekulární mapa. Kvůli tomu se 3D malování stává standardem pro tvorbu textur pro 3D modely. Mezi takové programy patří například ZBrush, Substance Designer, Substance Painter, kterým se věnuje následující část podkapitoly.

■ ZBrush

ZBrush je profesionální grafický editor pro 3D modelování a texturování od společnosti Pixologic. Jedná se o nejpokročilejší 3D sochařský program (sculpting program), což je také jeho primární úlohou, ale díky možnosti tvorby textur se tento software stal standardem jak v herním, tak filmové průmyslu. Cena licence na půl roku pak stojí 4 461 Kč [17].

■ Substance Designer

Substance Designer je software pro vytváření materiálů pro 3D modely, které obsahuje integrované skriptovací rozhraní v jazyce Python. To umožňuje tvorbu materiálu, který bude například generovat různě vypadající cihlovou zeď. Program je od společnosti Adobe a cena je závislá na licenci, měsíční profesionální licence stojí 2 487 Kč [18].

■ Substance Painter

Substance Painter, stejně jako předešlý program, je od společnosti Adobe a tento program obsahuje všechny důležité nástroje pro tvorbu textur pro 3D modely. Jeho uživatelské rozhraní je velice podobné programu Adobe Photoshop. Důležité však je, že do tohoto rozhraní bylo přidáno okno, ve kterém vidíte 3D model v reálném čase, na který můžete i přímo kreslit. Mezi klíčové vlastnosti patří možnost malování pomocí inteligentních štětců, dokonce i částic a pomocí toho vytvářet chytré materiály, které budou například opotřebené nebo poškrábané. Cena tohoto softwaru je stejná jako u předešlého, tedy 2 487 Kč za měsíční licenci [18].

S 3D programy pro tvorbu textur jsem neměl zatím zkušenosti, a tak jsem dal na radu vedoucího práce, který mi poradil Substance Painter. Tento program se hodí pro tvorbu textur pro mé 3D modely. Navíc jsem také mohl využít studentskou licenci pro tento program který Adobe studentům nabízí.

4.4 Sestavení scény

Pro ujasnění, jak budou vytvořeny modely a části dílny je potřeba ještě říci, jak bude celá dílna zkompletována a vytvořen virtuální zážitek. Dílna může být postavena přímo v programu Maya, ale nic víc než k vyrenderování snímků by to nebylo. Proto bude použit herní engine, ve kterém se scéna dílny sestaví a vytvoří virtuální zážitek.

Herní engine je software, který uživateli poskytuje potřebnou sadu funkcí a nástrojů, pro vytváření celých her nebo třeba jenom jednotlivých scén, do kterých uživatel může přidat osvětlení, zvuk, fyziku a logiku hry [19].

4.4.1 Herní enginey

■ Unity 3D

Unity 3D je považován za velice silný a populární herní engine, který využívají jak malé, tak i velké společnosti, převážně pro tvorbu herních titulů. Díky široké škále nástrojů, funkcí a své dostatečné flexibilitě může uživatel v tomto enginu vytvořit cokoli, co je v jeho silách. Pomáhá tomu i fakt, že Unity 3D je velice rozšířený po celém světě, což přináší velkou komunitu, která vytváří naučné obsahy, nebo pomáhá s problémy. Engine také umožňuje skriptování v jazyce C Sharp nebo JavaScript. Herní engine je od společnosti Unity a je zcela zdarma. Uživatel tedy může uvolnit svůj výtvar bez placení jakýkoliv poplatků, pokud jeho produkt nepřekročí hranici výdělku 100 000 USD (2 502 150 Kč) [20].

■ Unreal Engine 4

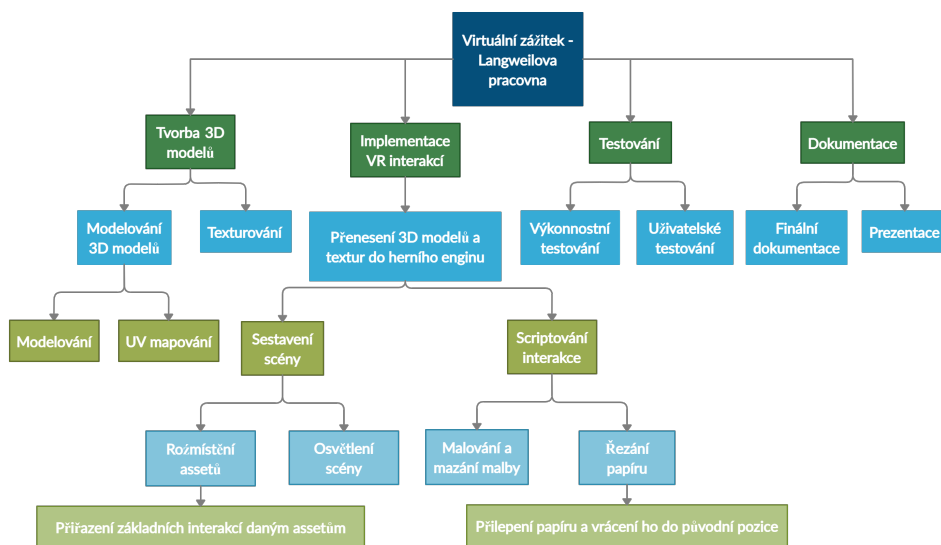
Unreal Engine 4 (UE4) je v dnešní době rychle rostoucím a široce používaným herním engine vyvinutý společností Epic Games. Jeho kompletní sada vývojových nástrojů, které slouží k profesionální tvorbě od vizualizační designu, k filmovému a televiznímu průmyslu až po herní průmysl. Unreal Engine je však složitější než předešlý engine, což však s rostoucí komunitou postupně přestává být problémem. Tento herní engine je také zcela zdarma, pokud však uživatelův výtvar přesáhne příjem 3 000 USD (74 979 Kč) za čtvrtletí, musí uživatel uhradit 5% z příjmů za licenční poplatky [21].

Osobně mám zkušenosti s oběma uvedenými herními enginey. Oba enginey mají dobrou podporu pro tvorbu VR, avšak v UE4 jsem ještě neměl možnosti s VR pracovat, oproti tomu v Unity 3D ano. Proto jsem se rozhodl práci vypracovat v Unity 3D.

4.5 WBS diagram

Kapitola Návrh řešení bude ukončena WBS (Work Breakdown Structure) diagramem, což je diagram vyvinutý za účelem dosažení lepšího porozumění rozsahu práce.

„Jedná se o orientovaný hierarchický popis aktivit, které musí být provedeny k úspěšnému splnění všech požadavků a cílů práce. Každá sestupná úroveň v diagramu představuje stále podrobnější popis výstupů práce. První dvě úrovně WBS diagramu definují sadu plánovaných výsledků, které společně představují 100 procent rozsahu práce. Na každé následující úrovni podřízené uzly společně představují 100 procent rozsahu jejich nadřazeného uzlu.“[22]



Obrázek 4.9: WBS diagram popisující aktivity projektu

Kapitola 5

Implementace

„Modelování je proces vyžadující důkladné vizuální dovednosti a zvládnutí modelovacích nástrojů. Čím přesnější bude modelování podoby z hlediska velikosti, tvaru, detailu a proporcí, tím přesvědčivější bude finální scéna.“[23]

Předešlý text můžeme nalézt v úvodu manuálu Autodesku pro modelování v Maye. Tento text však elegantně vysvětluje, jak je proces modelování důležitý, a to také hlavně platí i pro tuto práci. Proto si v této kapitole popíšeme, jak probíhala tvorba modelů a jak se přistoupilo k optimalizaci vybraných modelů ze semestrálních prací studentů předmětu 3D Modelování. 3D modelování tvoří základ tohoto virtuálního zážitku, proto je potřeba, aby modely byly vytvořeny co nejlépe, díky čemuž následné kroky mohou být jednodušší. Následným krokům se věnuje zbytek kapitoly, ve které si nejdříve popíšeme, jak se pro modely vytvářely textury a hlavně si v závěru kapitoly ukážeme, jak byl celý zážitek implementován.

5.1 Tvorba 3D modelů

Při modelování se většinou postupovalo tak, že byla nejdříve prohlédnuta předloha a byl vymyšlen postup, jak bude daný model vytvářen. Pokud existují dobré podklady, například technické nákresy, tak se mohou využít jako pozadí umístěné přímo v modelovacím nástroji, což velice urychluje tvorbu. Bohužel se v práci žádný takový podklad přímo nedá použít, a tak za pomoci různých fotografií s danou tematikou a osobní představivostí byly modely tvořeny. Vždy bylo vycházeno z primitivního tělesa, jako je například krychle nebo válec. Z tohoto tělesa se poté pomocí různých modelovacích nástrojů pro změnu pozice bodů, hran, nebo velikosti či deformací polygonů postupně docílilo finálního vzhledu modelu. Obrázek 5.1 v levé části ukazuje začátek modelování pracovního stolu, tedy z jednoduchého kvádrů. V pravé části obrázku můžeme vidět postupné vytahování do tvaru stolu. Nejčastěji bylo vycházeno z krychle a v Maye byly použity tyto modelovací nástroje:

- **Změna velikosti, pozice a rotace bodů, hran a polygonů**

■ Extrude

Tato funkce umožňuje vytvářet nové polygonové komponenty z již existujících [24].

■ Insert Edge Loop

Tento nástroj je užitečný, pokud je potřeba přidat detail přes velkou plochu mnohoúhelníkové sítě, nebo když chceme vložit hrany podél definované cesty [25].

■ Target Weld

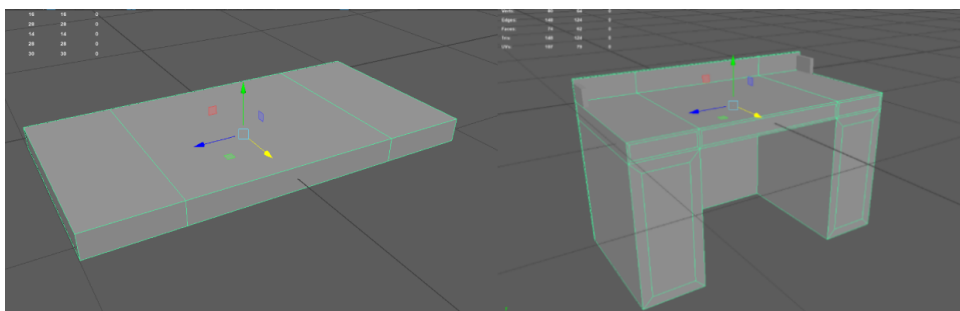
Nástroj Target weld tool umožňuje sloučit jeden vrchol nebo hranu s jiným vrcholem nebo hranou [26].

■ Multi-Cut

Pomocí nástroje Multi cut můžeme interaktivně rozdělit komponenty na polygonové síti nakreslením nových hran. To poté umožňuje velmi rychle měnit topologii sítě [27].

■ Combine

Funkce Combine může kombinovat dvě nebo více polygonových sítí do jednoho polygonového objektu [28].



Obrázek 5.1: Ukázka postupu modelování pracovního stolu z jednoduchého kvádrů. Zdroj: autor

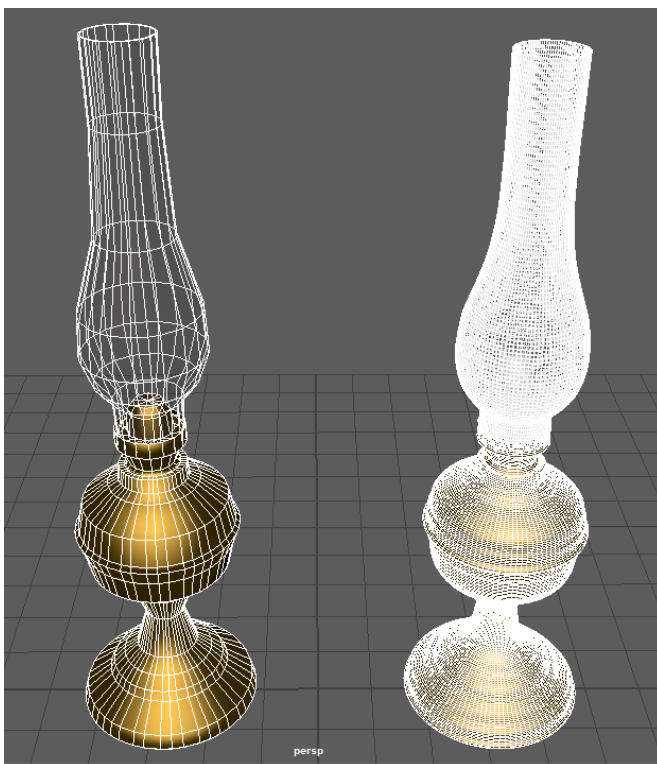
■ 5.1.1 UV mapování

Poté co byl model vymodelován, je nutné pro něj vytvořit nebo přizpůsobit jeho trojrozměrné mapování do dvourozměrného čili UV mapování (viz podkapitola 4.2). Software Maya má k tomuto účelu nástroje, tudíž ji k tomuto problému můžeme využít. Maya nabízí několik způsobů, jak mapu vytvořit. Nejjednodušším způsobem je automatická tvorba, která model sama rozřeže na části polygonů a promítne je do UV souřadnic na základě úhlů, které mezi sebou polygony svírají. Tento způsob nedává moc kontroly uživateli nad UV mapou, proto byl tento způsob využit jenom u tvarově složitých modelů. Dalšími způsoby, které byly využity, byl Cylindrical a Planar, který promítá do UV souřadnic na základě pozice polygonů vůči zvolené ose.

Když byl model vymodelován a měl správné UV mapování, byl z programu exportován do formátu FBX a následně importován do herního engine a softwaru pro tvorbu textur.

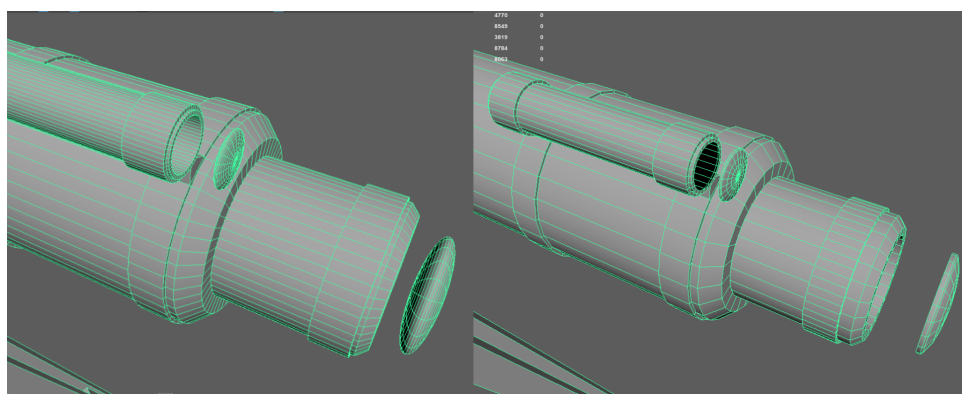
5.1.2 Úprava modelů z předmětu 3D modelování

Jedním z úkolů práce bylo vybrat a upravit vhodné 3D modely od kolegů, které vytvořili do své první semestrální úlohy v předmětu 3D Modelování (B6B39TDM). Konkrétně byly vybrány modely hvězdářského dalekohledu, petrolejové lampy a pera na inkoust. Tyto modely však nebyly zrovna vhodné pro použití do scény dílny, jelikož byly pro účely práce příliš výpočetně složité a UV mapy také nebyly vhodné pro tvorbu vlastních textur. Proto bylo nutné modely zjednodušit/optimalizovat. Například u modelu petrolejové lampy, kde původní model z předmětu TDM měl 45 284 polygonů. Po úpravách a optimalizaci byl počet polygonů snížen na 1156, rozdíl polygonální sítě můžeme porovnat na obrázku 5.2. Jelikož se lampa vyskytuje v scéně projektu cca 10x, tak pokud by lampa měla původní počet polygonů, mohla by výrazně ovlivnit náročnost výpočtu celé scény (viz kapitola Testování). Původní model však nezůstal nevyužitý, pomocí programu Substance Painter, byl původní model zapečen, a tak se částečně přenesly jeho detaily do normálové mapy, která byla následně použita na zjednodušeném modelu. Díky tomuto procesu model nepřišel o některé detaily a zároveň nebyl tak výpočetně složitý.



Obrázek 5.2: Ukázka rozdílů polygonové sítě (levá lampa - upravený model, pravá lampa - původní model z předmětu TDM). Zdroj: autor

Zjednodušování modelů není těžká práce, jelikož program Maya disponuje nástrojem, který je právě k tomuto určený. Jedná se o nástroj **Reduce**, který na základě algoritmu odstraňuje přebytečné hrany a body, čímž snižuje počet polygonů na počet, který si přejeme. K prvotnímu zjednodušování modelu je to výborný nástroj, avšak postupně začne odstraňovat i hrany, které nechceme. Proto poté přichází ruční práce, u které byl model procházen a byly odstraňovány nepotřebné hrany a body, ale také polygony, které by za žádných okolností stejně nešly vidět, jako například u hvězdářského dalekohledu, kde byly odstraněny polygony ze strany čoček, které byly schovány uvnitř dalekohledu, jak můžeme vidět na Obrázku 5.3.

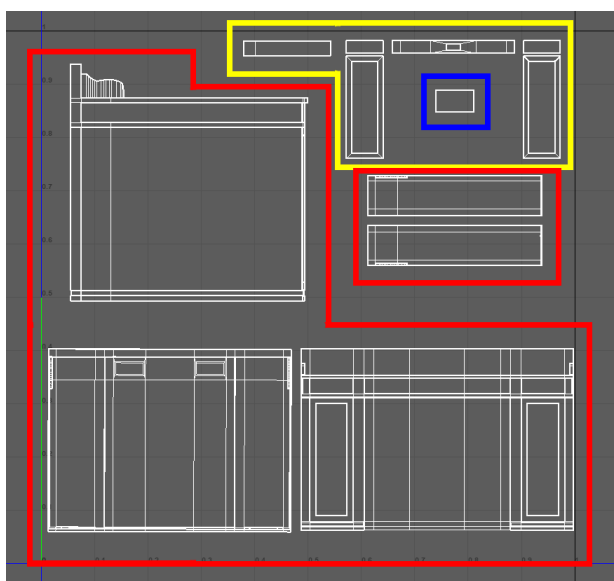


Obrázek 5.3: Zjednodušení dalekohledu z TDM - původní model (levá část), upravený model s odstraněnými polygony a hrany (pravá část). Zdroj: autor

5.2 Tvorba textur

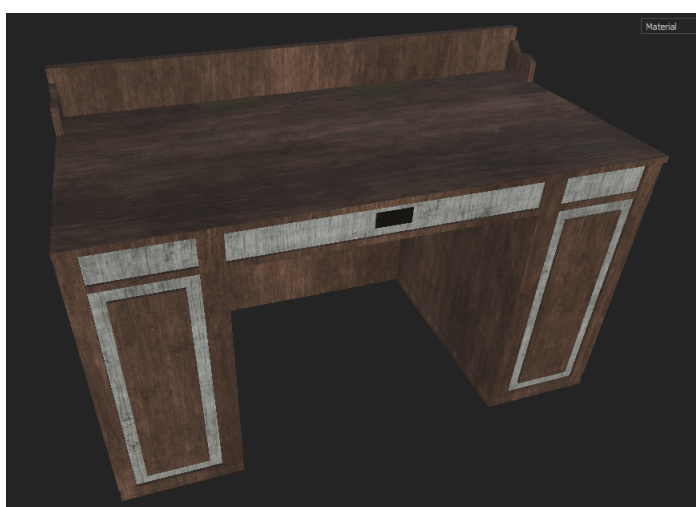
Při texturování byl většinou zvolen stejný postup, který začínal importováním 3D modelu do programu Substance Painter. Při importu dochází k prvotnímu nastavení projektu, ve kterém si uživatel zvolí, jakou šablonou chce texturu tvořit, její velikost a formát normálové mapy. Jelikož textury tvoříme pro modely, které se budou používat v herním enginu Unity 3D, je vhodné za šablonu zvolit Unity 5 (allegorithmic).

Postup u většiny modelů byl stejný, proto si ho popíšeme na příkladu tvorby textury pro pracovní stůl. Práce v Substance Painteru je velice podobná práci ve Photoshopu, tedy na principu vrstev, které jsou velmi nápomocné. Podle předlohy se pracovní stůl skládá z dvou dřevěných materiálů, tedy bílé a hnědé dřeva a jedním kovovým materiálem kolem klíčové dírky. K tomuto nám dobře poslouží UV mapování, které bylo pro toto rozdělení připraveno, jak ukazuje obrázek 5.4. Při práci byla využívána možnost schovávání vrstev do složek, ke kterým byla přidána černá maska. Pomocí této masky poté mohlo být určeno, na které části stolu budou vrstvy ve složce viditelné, nebo jaký generátor bude na masku použit.



Obrázek 5.4: Ukázka UV mapování pracovního stolu - hnědé dřevo (červené ohraničení), bílé dřevo (žluté ohraničení), kov (modré ohraničení). - Zdroj: autor

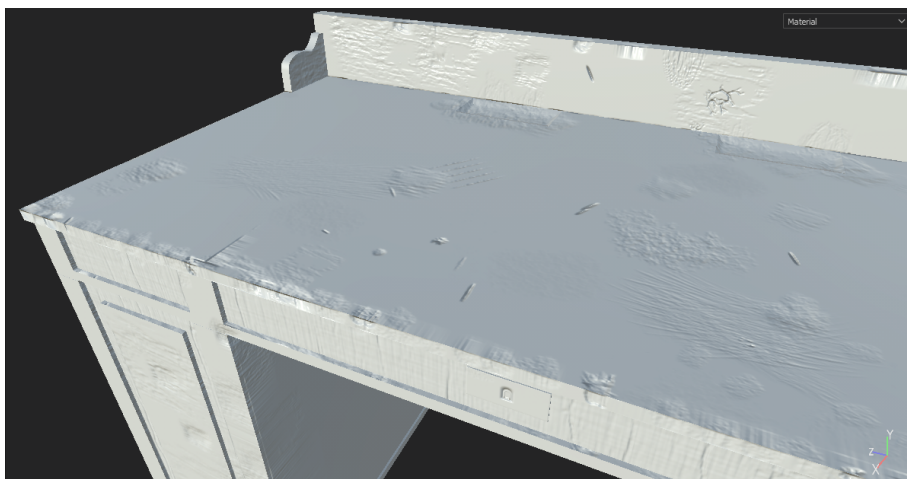
Substance painter má svojí poměrně bohatou knihovnu materiálů, ve které pouze stačí vybrat a následně daný materiál nanést na model. Jelikož hodně vytvořených modelů má dřevěné části, tak byl velmi často používán dřevěný materiál (Wood Rough) z této knihovny. Využita byla také webová stránka Substance Share (<https://share.substance3d.com>), ve které uživatelé volně sdílí své vytvořené textury, materiály, které vytvořili v Substance painteru nebo Substance designeru. Z této stránky byl stáhnutý například materiál cihlové zdi, který byl dále upraven pro použití na zeď půdy. Když se vrátíme zpátky k našemu pracovnímu stolu, u kterého je vytvořený základní vzhled (viz obrázek 5.5), je nyní potřeba vytvořit ještě detaily jako umazání, odření, špína nebo kapky barvy a inkoustu.



Obrázek 5.5: Ukázka základního vzhledu pracovního stolu. Zdroj: autor

5.2.1 Tvorba detailů na textuře

K těmto účelům byla využita možnost kreslení pomocí Brushes, ve kterém je opět poměrně velká knihovna vzorů, kde stačí pouze jeden vzor vybrat, zvolit si k němu barvu nebo materiál a začít s ním kreslit na novou vrstvu. Kreslením na normální vrstvu však vzniká jenom nátěr barvy. Pro tvorbu odření, škrábanců je potřeba využít vrstvy plné, na kterou byla aplikována černá maska, do které se následně kreslí jako v předešlém případě. Je však ještě potřeba nastavit správnou hodnotu u výšky (height) u použité vrstvy. Hodnota -1 většinou způsobuje iluzi důlku nebo rýhy, hodnota +1 poté tvoří iluzi výběžku. Tato technika tedy vytváří iluzi změny geometrie modelu (viz obrázek 5.6), což znamená, že tak vytváří vzhled normálové mapy (viz podkapitola 4.3.1). U stolu byl využit i nástroj Hard Surfaces, který také přímo pracuje s normálovou mapou. Pomocí tohoto nástroje byla vytvořena iluze klíčové dírky. V poslední řadě byl ještě většinou využit "generátor špíny", který se aplikuje na masku plné vrstvy. Tím vznikají detaily, které vytváří fotorealnost modelům.

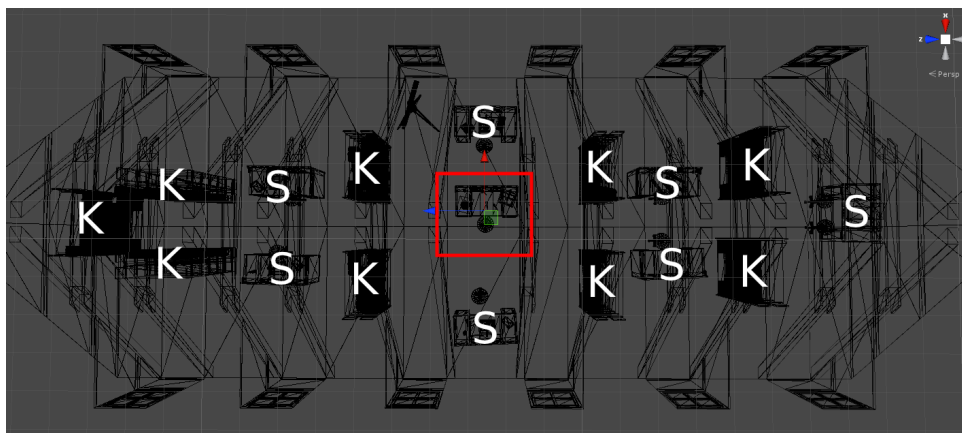


Obrázek 5.6: Ukázka jak můžeme změnit geometrii modelu pomocí normálové mapy. Zdroj: autor

Podobný postup byl aplikován na všechny vytvořené modely, díky čemuž byl splněn požadavek FSP02 (viz podkapitola 3.1.1) a tím se dostáváme k samotnému sestavení scény dílny na půdě Klementina v herním enginu Unity 3D. K použití vytvořených textur v herním enginu je nejdříve nutné textury z programu Substance Painter exportovat. V případě této práce bylo nastavení exportu formát PNG a Unity 5 (Standard Specular).

5.3 Sestavení scény

Pro sestavení scény je nejdříve potřeba importovat všechny vytvořené modely a textury do Unity 3D. Textury v engine nemohou být jen tak naneseny na model a proto je nutné nejdříve vytvořit materiál, kterému se přiřadí jednotlivé typy textur. Jelikož v Substance Paineru byly textury tvořeny v šabloně Unity 5(algorithmic) a při exportu byl nastaven Unity 5 (Standard Specular) je vhodné vytvořený materiál v engine přepnout na shader Standard (Specular setup). Po vytvoření materiálu může být potřebný materiál nanesen na daný 3D model (asset) a skládání scény může začít. K rozložení scény nebylo moc podkladů, tudíž přístup k samotnému sestavení byl takový, aby scéna vypadala co nejlépe a zároveň realisticky. Proto bylo nakonec vytvořeno takové rozložení, které popisuje obrázek 5.7, kde červený obdélník označuje hráčův stůl.



Obrázek 5.7: Rozložení půdy - police s knihy (K), ostatní pracovní stoly (S), stůl hráče (červený obdélník). Zdroj: autor

Podle požadavku FSP03 (viz podkapitola 3.1.1) by měl hráč sedět pouze u pracovního stolu, na kterém bude vykonávat interakce s nástroji pro dokončení Langweilova modelu domů. Tudíž hráč sedí u pracovního stolu a v dosahu má všechny nástroje, které jsou na stole položeny. Zbytek assetů ve scéně slouží pouze jako kulisy k navození pocitu, že se hráč ocitl na půdě Klementina. K těmto účelům byl použit i rozdělaný Langweilův model domů, ze kterého byly vybrány vhodné domy a použity jako kulisy domů za okny. Poskládáním scény se také plní požadavek FSP01, tedy iluze ve které se hráč přesune na půdu Klementina.

■ 5.3.1 Osvětlení scény

K sestavení scény také patří ještě jedna důležitá věc a to osvětlení. Prostředí půdy je uzavřený vnitřní prostor s okny, je tedy potřeba mít světlo, které bude simulovat sluneční svit. K tomu poslouží světlo Directional light, to však nedodá dostatek světla pro potřebu hráče a ani by správně nemělo, jelikož se jedná o simulaci venkovního světla. Proto je potřeba ještě "rozsvítit" na půdě. Na pracovních stolech se nachází modely petrolejové lampy, kterou jsme již v textu zmiňovali, k lampám byla tedy přidána světla typu Point Light, která byla také ještě využita volně ve scéně pro vytvoření základního světla na půdě. V poslední řadě byla přidána ještě Reflection Probe pro zlepšení dynamických odrazů.

Pro vytvoření reálnějšího osvětlení se stíny, které nebude tak náročné, použijeme proces zapékání (předpočítání) osvětlení do lightmapy (mapy osvětlení). Přesněji Lightmapping je proces předběžného výpočtu jasu povrchů ve scéně a uložení výsledku do textury zvané lightmap [29]. Reálnější osvětlení poté vzniká díky lightmapě, která kromě přesnějšího stínování řeší i globální iluminaci a ambient occlusion. Pro dosažení méně výkonnostně náročného osvětlení byly všechny kulisy a ostatní objekty ve scéně kromě nástrojů, přepnuty do režimu Static, to poté umožňuje jejich osvětlení a stíny zapéct a dále již úplně u těchto objektů vynechat dynamického osvětlení.

■ 5.4 Interakční techniky

Ovládání hráče pro VR je zprostředkováno pomocí Windows Mixed Reality a pluginu od Steamu (SteamVR). Tento plugin obsahuje všechny základní potřeby pro jednoduchou tvorbu VR zážitku v Unity. Z pluginu byl do scény přidán Player (hráčova postava), který již obsahuje nastavení pro VR, tedy kameru, ruce, kolizní box atd.. Pro základní interakci s nástroji byly využity scripty z pluginu, hlavně tedy Throwable a Interactable, díky kterým může hráč nástroj uchopit a pohybovat s ním. U desky, na které leží rozdělaný model domů, byl použit ještě script Circular Drive, který umožňuje otáčení desky pouze v jedné zvolené ose, čímž vytvoříme točnu pro model domů podle požadavku FSP05 (viz podkapitola 3.1.1).

Pokud bychom se podívali zpátky na kapitulu 3, ve které provádíme analýzu virtuálního zážitku, najdeme v seznamu požadavků a v Use case diagramu interakce s nástroji, pro které základní scripty nabízené pluginem SteamVR stačit nebudou. Proto je potřeba vytvořit své vlastní scripty a vymyslet, jak dané interakce budou probíhat.

■ 5.4.1 Malování a mazání malby

Průběh procesu malování se zdá být jednoduchý, uživatel pomocí štětce nebo pera kreslí na papír. Není to však jednoduché, jak se zdá. Nejdříve je potřeba ujasnit si, jak se daná malba bude na papíru tvořit. Jednou z možností je kreslení přímo do albedo textury papíru tím, že by se změnila

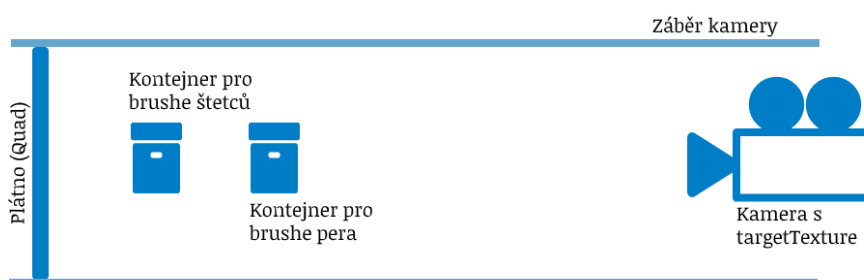
barva jednotlivých pixelů textury. Dříve však než byla tato možnost objevena, byla již rozpracována jiná, u které se nakonec zůstalo a byla dokončena.

Jedná se o řešení, u kterého se při dotyku hrotu štětce nebo pera (dále jenom štětce) na povrch papíru tvoří Sprite Renderer (dále jenom brush), který má Sprite (upravená textura) vzoru barvy od štětce. Tyto brushe se poté tvoří jako potomci pod příslušný Kontejner (prázdný objekt), který se nachází mimo prostředí půdy. Tento kontejner se nachází v záběru kamery, která obsahuje Render Texturu.

Kamery se v Unity 3D obvykle vykreslují přímo na obrazovku, u některých efektů je však užitečné provést vykreslení kamery do textury. To se právě provádí pomocí Render textury a jejím nastavení jako `targetTexture` na kameře. Kamera se poté vykresluje do této textury [30]. Díky tomu se pak vytvořené brushe promítají na povrchu papíru, jelikož papír obsahuje danou Render texturu z kamery u kontejneru.

Pojďme se však vrátit ještě na začátek procesu, tedy k dotyku hrotu štětce s papírem. Zde je základ ve sledování kolize hrotu s papírem. Oba objekty obsahují Box Collider, collider papíru je ještě ve stavu `Is Trigger`, tedy je ve stavu, kdy čeká na nějakou událost, která něco spustí. V našem případě čeká, až se collider hrotu štětce dostane do prostoru collideru papíru, pokud tak nastane, spouští se událost malování, tedy tvorby brushů.

I když brush je vlastně pouze prázdný objekt, který zobrazuje texturu vzoru barvy a není sám o sobě moc výpočetně náročný, při malování je však možné v kratší chvíli vytvořit tisíce těchto objektů, které v takovémto počtu už výpočetně náročné být mohou (viz podkapitola 6.1.3). Zde nalzáme vhodné využití konceptu kamery s render texturou a kontejnerem s brushy. Ve chvíli, kdy je vytvořen určitý počet brushů, je aktuální vykreslení z kamery uloženo přímo do materiálu plátna, které tvoří pozadí pro kameru (viz obrázek 5.8).



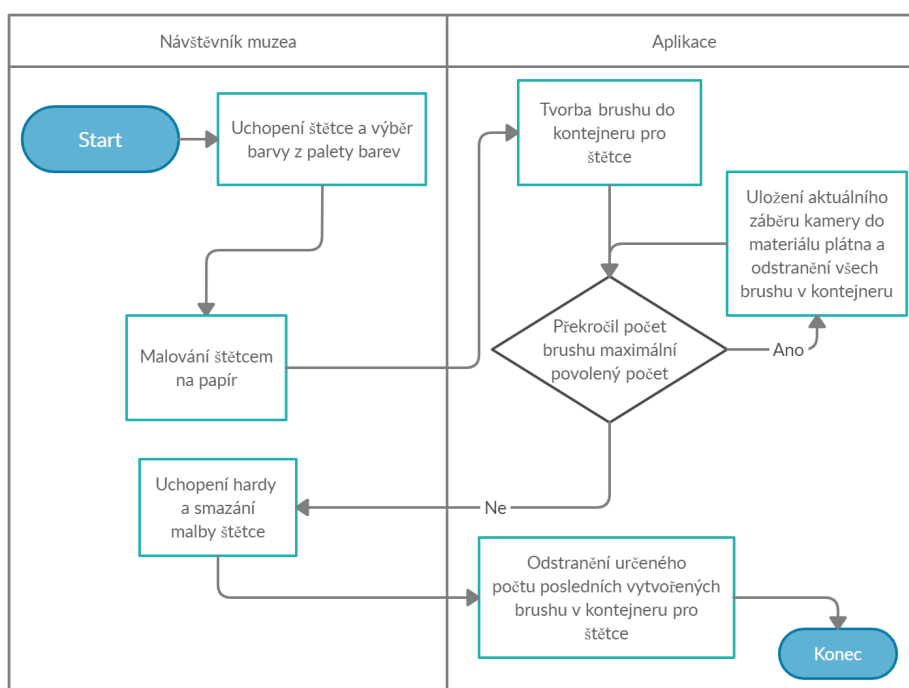
Obrázek 5.8: Znázornění celého konceptu kamery s `targetTexturou`, kontejnerů pro brushe a plátna pro pozadí. Zdroj: autor

Poslední činností z diagramu Use case (viz podkapitola 3.2) týkající se malování, je mazání malby. Tento proces probíhá také na principu sledování kolize, zde collider papíru čeká, až se do jeho prostoru dostane collider látky, pokud tak nastane, je při dotyku smazán určitý počet brushů, které byly naposledy vytvořeny. Zde narážíme na fakt, že pokud proběhne uložení brushů do materiálu plátna, hráč již tyto brushe nemůže smazat. V hráčově tutoriálu,

který je přiblížen v kapitole Závěr, je tento problém lehce zamaskován tím, že malba již zaschla, a tak jí hráč nemůže smazat.

V závěru popisu implementace malování bude vhodné si ještě popsat, jak collider papíru pozná, kdo s ním koliduje. Zde jsou použity Tagy objektů. Každý objekt může mít svůj tag/štítek, který ho může při kolizi identifikovat. Při kolizi tedy papír nejdříve zjistí, kdo s ním koliduje a až poté podle toho spouští události. Tento princip je vhodné si zapamatovat, jelikož na něm fungují i následující interakce.

Pro snadnější pochopení celého procesu malování a mazání malby se můžeme podívat na obrázek 5.9, který popisuje scénář, ve kterém hráč začne malovat štětcem a poté začne malbu mazat látkou pro mazání malby štětcem.



Obrázek 5.9: Znázornění procesu malování a následného mazání.

5.4.2 Řezání papíru

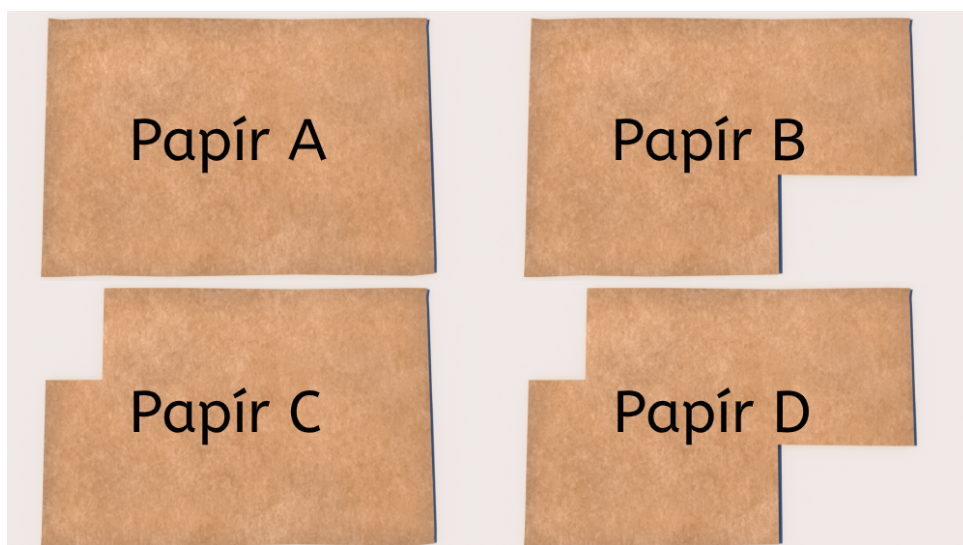
Při tvorbě řešení řezání přicházely opravdu nelehké situace, po kterých se zdálo, že je tento požadavek pro účely práce až nemožný. Hlavním důvodem byla představa, že uživatel bude moci papír uřezat kdekoliv, kde si jen bude přát a jak si bude přát. Tato varianta však přinášela jenom samé problémy. Často se stávalo, že aplikace spadla, kvůli špatně vytvořené uřezané části a také docházelo k špatnému přemapování malby. Hlavním problémem však bylo, že hráč stejně nemohl uřezat papír přesně, jak by chtěl nebo potřeboval, a tak hrozilo zničení jeho malby. Proto bylo nakonec upuštěno od této představy naprosté volnosti hráče při řezání.

Přesně naplánované řezání nedodává příliš realistický pocit, avšak u tohoto případu to přijde i jako rozumné řešení. Díky tomuto řešení je snazší připravit a zrealizovat doskládání Langweilova modelu domů, mít vždy správně namapovanou render textury a mít kontrolu nad tím, kdy může a nemůže hráč kreslit. Hráč díky tomu bude přesně vědět, kam má kreslit a od toho odrazit i měřítko své malby.

Pro potřebu ukázky tohoto možného řešení byl předpřipraven papír, kterému bude moci hráč uříznout levý horní a pravý dolní roh. Pravý dolní roh následně poslouží jako stěna domu, který má hráč dokončit. Hráč by tedy měl fasádu domu nakreslit na tento roh. Levý roh nakonec nenašel větší využití, slouží tedy jenom jako demonstrace řešení, při kterém se z papíru uřezává více než jedna část.

Řezání také funguje na principu sledování kolize, u tohoto procesu máme collidery, které se nachází v místě, ve kterém se řez nachází. Tyto collidery čekají na kolizi s čepelí nožíku. Místa, kde se řezy nachází, poté hráč pozná podle rýh/důlků v papíru, vytvořených pomocí normálové mapy.

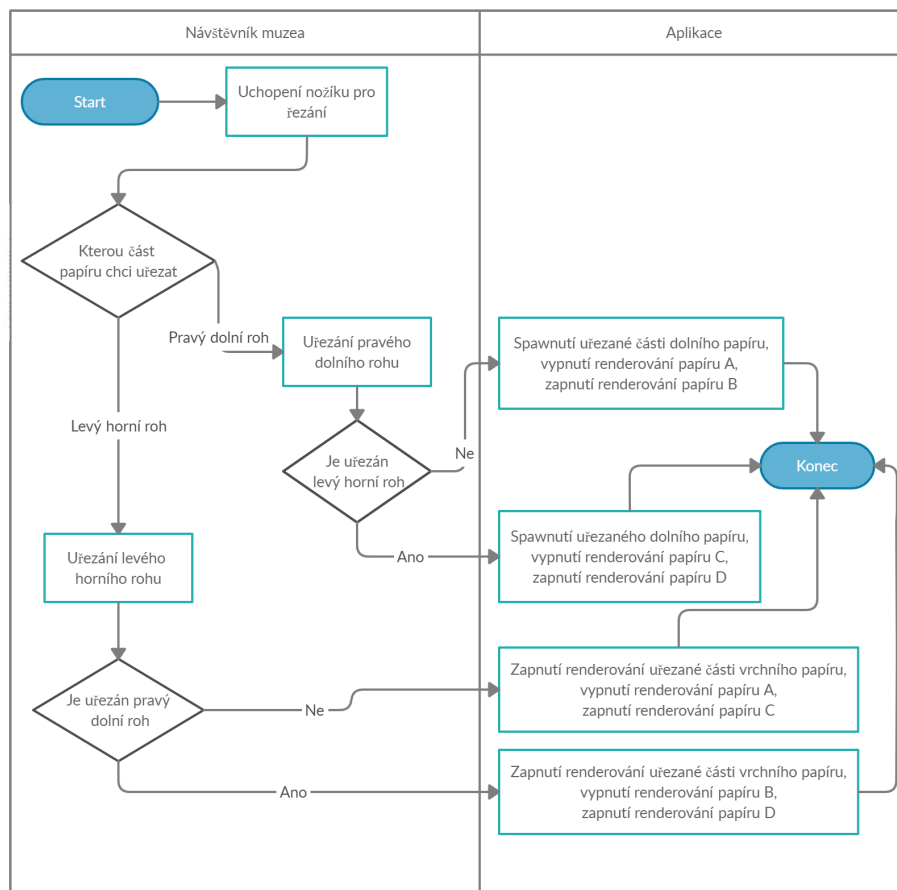
Na rozdíl od procesu malování a mazání si tento celkový proces kvůli lepší představě popíšeme primárně pomocí diagramů. Pro jejich přehlednost si nejdříve označíme jednotlivé varianty papíru, které při řezání mohou nastat. Papír A bude označovat celý původní papír, B pak papír, u kterého je uřezaný pravý dolní roh, u papíru C je uříznut levý horní roh, papír D je poté papír, u kterého jsou uřezány oba rohy (viz obrázek 5.10).



Obrázek 5.10: Ukázka variant papíru po řezání. Zdroj: autor

Následný obrázek (obrázek 5.11) popisuje, jak mohou vypadat jednotlivé varianty procesu řezání papíru. Návštěvník muzea představuje hráče, aplikace pak samotný software. Zajímavostí, kterou na diagramu můžeme vidět, je že levá uřezaná část papíru pouze zapíná a vypíná renderování, tedy zda jde ve scéně vidět nebo je neviditelná. Na rozdíl od pravého dolního rohu, který se při každém uřezání spawnuje/vytváří jako nový objekt ve scéně. Důvodem

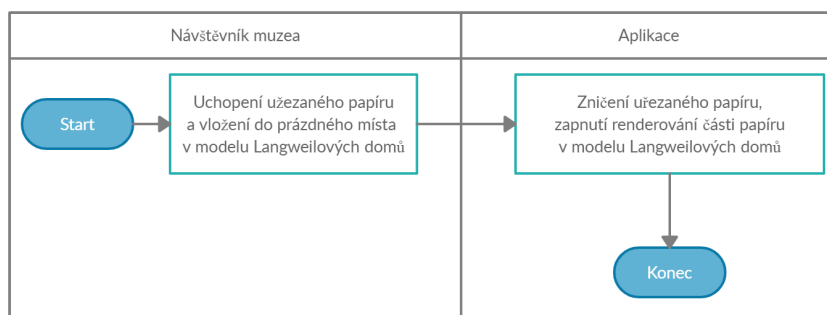
je, že při přilepení k modelu domů je pravý dolní roh zničen, jak budeme moci vidět v následující podkapitole. Proto je potřeba vždy vytvořit nový, aby mohl uživatel proces opakovat kolikrát potřebuje.



Obrázek 5.11: Znázornění procesu řezání papíru.

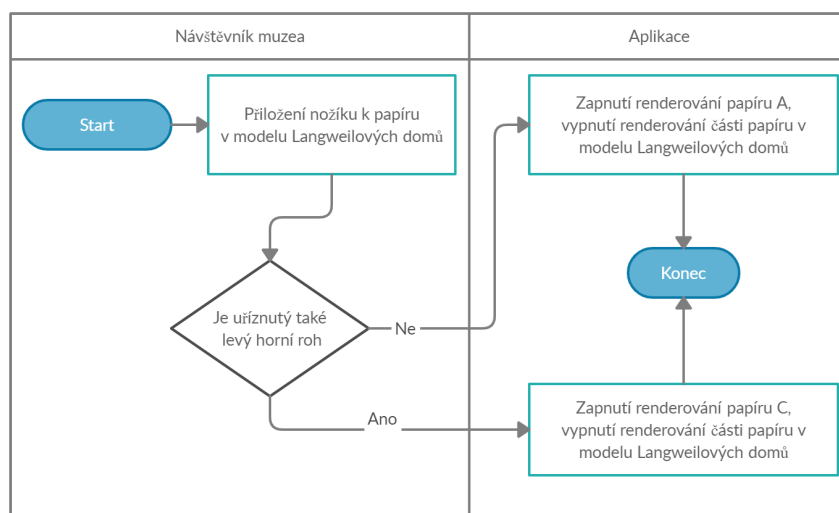
5.4.3 Přilepení uřezané části a její odebrání

Podle požadavku FSP04.3 (viz podkapitola 3.1.1), je potřeba vytvořit interakci, která by simulovala dokončení/poskládání rozdělaného modelu domů. K tomuto požadavku bylo přistoupeno tak, že hráč uchopí uřezaný pravý dolní roh papíru a přiložením k modelu domů (kolize collideru uřezaného papíru a collideru v místě chybějící stěny), který se nachází v levé části pracovního stolu se uříznutý papír přilepí/přidělá. Pro jednodušší popis procesu se opět můžeme podívat na diagram (obrázek 5.12) znázorňující proces přilepení uříznutého kusu papíru k modelu domů.



Obrázek 5.12: Znázornění procesu přilepení papíru k modelu domů.

Pro splnění celého požadavku FSP04 nám už chybí poslední věc, odebrání přilepené stěny/papíru k modelu domů. I zde využíváme náš oblíbený princip sledování kolize, který obsahuje collider v místě přilepené stěny čekající na kolizi s colliderem čepele nožičku. Po této kolizi se spouští proces popisující obrázek 5.13.



Obrázek 5.13: Znázornění procesu odebrání papíru od modelu domů.

Kapitola 6

Testování

Jedním z funkčních požadavků ze 3. kapitoly (Analýza virtuálního zážitku) je testování, díky kterému by mělo být zkontrolováno, zda opravdu byly splněny potřebné požadavky. Nejdříve bude otestována výkonnostní stránka zážitku, která odhalí, jestli aplikace splňuje požadavky na plynulost a přiblíží, které faktory tuto plynulost zlepšují nebo zhoršují. Dalším testováním poté bude uživatelské testování, které ukáže, jak na virtuální zážitek reagují samotní uživatelé.

6.1 Výkonnostní testování

Testování probíhalo na osobním stolním počítači, který disponuje procesorem Intel Core i5-6600 (3.50GHz), 16GB RAM a grafickou kartu GeForce GTX 1060 3GB. Jak při vývoji, tak při testování byl použit VR headset Acer Windows Mixed Reality AH101 s frekvencí 90Hz.

Celkem bylo testováno 8 scénářů, kde každý scénář byl testován 5 minut (+/-4 minuty kreslení, rozhlížení po scéně a uřezání papíru) v buildnuté verzi. Při testování plynulosti jednotlivých scénářů se zaměříme hlavně na latenci a rychlost snímků (viz podkapitola 3.3), jejich hodnota byla získávána pomocí programu fpsVR. Podle požadavku FHP01 by aplikace měla dosahovat 90FPS, latence by poté optimálně měla dosahovat menší hodnoty než 11.1ms.

6.1.1 Celková plynulost finální scény

Finální scéna podle předchozí kapitoly se skládá z optimalizovaných modelů (viz podkapitola 5.1), zabezpečeného osvětlení (viz podkapitola 5.3.1) s realtime stíny od dvou petrolejových lamp ležících na pracovním stole a ukládání záběru kamery (viz podkapitola 5.4.1), při vytvoření jednoho tisíce Sprite rendererů při malování štětcem a 1500 při malování inkoustovým perem, tedy dohromady mohlo být v jedné chvíli vytvořeno až 2500 Sprite rendererů.

V takovém nastavení scény snímková frekvence dosahovala průměrně hodnoty 89.7FPS, latence poté byla průměrně kolem 9ms. Při testování neproběhl žádný zásek, který by ovlivnil plynulost zážitku. Pokud vezmeme v potaz slabší výkon testovaného PC, tak požadovaná hodnota stabilních 90FPS by neměla dělat výkonnějšímu PC problém.

Ve finální scéně byl také vyzkoušen scénář bez realtime stínů. Rozdíl mezi tímto scénářem a předešlým byl pouze v 0.1FPS, tedy vypnutí realtime stínů vedlo v průměrnou snímkovou frekvenci 89.8FPS. Za tento malý rozdíl může fakt, že se jedná pouze o dvě světla tvořící realtime stíny pro hráče a jeho manipulaci s nástroji, ale také to, že program SteamVR je nastaven na snímkovou frekvenci headsetu 90Hz (90FPS) a tedy program fpsVR nezaznamenává vyšší hodnoty než 90FPS. Je tedy pravděpodobné, že by průměrná hodnota FPS ve finální scéně mohla přesahovat i hodnot 90FPS, bez uzamknutí snímkové frekvence na 90Hz.

6.1.2 Plynulost zážitku před zapečení světel

Zde byly scénáře testovány v nastavení scény před úpravou a zapečením osvětlení. Ostatní nastavení bylo stejné jako u předešlého testování. Ve scénáři s realtime stíny byla průměrná snímková frekvence 85.7FPS a latence 10ms. Při vypnutí stínů u všech vnitřních světel vzrostla průměrná snímková frekvence na 87.7FPS a latence byla 10ms.

Závěr z tohoto testování podporuje metodu zapékání osvětlení jak pro lepší vizuální efekt, tak hlavně pro snížení náročnosti scény.

6.1.3 Plynulost při tvorbě Sprite rendererů u malování

Při popisu implementace malování (viz podkapitola 5.4.1), je uveden možný výkonnostní problém při tvorbě Sprite rendererů (dále brushů), konkrétně tedy pokud se jich vytvoří větší množství. Proto bylo provedeno testování, které by mělo odhalit hranici počtu brushů, který již bude tak vysoký, že začne ovlivňovat plynulost.

Při testování bylo zjištěno, že cca po dvou minutách kreslení se může vytvořit 6000 brushů, které mají za následek první výrazné snížení průměrné snímkové frekvence na 78.9FPS a zvýšení latence na průměrných 14ms. Při dosažení 10 000 vytvořených brushů, latence dosahovala hodnot 14 a více milisekund, při rychlejším pohnutí hlavy dokonce až 40ms, snímková frekvence poté spadla na průměrných 40FPS. Tato kombinace hodnot poté už začala vytvářet nepříjemný pocit pro uživatele.

Pro zajímavost bylo provedeno i testování, při kterém se záběr kamery ukládá co 20 nových brushů, toto nastavení vedlo ke snížení FPS na 78FPS při dotyku štětce na papír.

Díky tomuto testování bylo zjištěno, že se může navýšit maximální možný počet vytvořených brushů na hodnotu pod 6000, konkrétně tedy byla hodnota zvýšena na 4500 pro zachování jistoty, při které nebude počet vytvořených brushů výrazně ovlivňovat složitost scény.

6.1.4 Plynulost zážitku s neoptimalizovanými modely

V textu bylo několikrát zmíněna potřeba tvorby optimalizovaných modelů, tedy modelů, které nebudou mít vysoký počet polygonů. K potvrzení této po-

třeby využijeme původní model petrolejové lampy z předmětu 3D modelování, která obsahuje 45 284 polygonů. Tato lampa byla vložena do finální scény místo optimalizovaných lamp, které mají o více jak 40 000 polygonů méně. Pokud tyto neoptimalizované lampy vyměníme za 3 optimalizované lampy (cca +120 000 polygonů ve scéně), které uživatel vidí před sebou při pohledu na stůl, latence stoupla na 12ms a snímková frekvence klesla průměrně na 87FPS. Při přidání dalších 7 lamp před uživatele, latence stoupá na 20ms a FPS klesá k 50 snímcích za sekundu.

Pokud by tedy bylo ve scéně více neoptimalizovaných modelů, které by měly zbytečně vysoký počet polygonů, s velkou pravděpodobností by hranice 90FPS nebyla dosažena.

6.2 Uživatelské testování

Uživatelské testování je jednou z nejčastěji používaných metod při testování funkčnosti a dojmu v rámci softwarových aplikací. Princip tohoto testování spočívá v pozorování a vyzpovídání samotných potenciálních uživatelů, čímž se mohou odhalit chyby, které byly doposud skryté. Bohužel v rámci této práce kvůli epidemii COVID-19 nemohlo být uživatelské testování testováno na cílené skupině návštěvníků (převážně dětí). Proto bylo testování provedeno na pár dobrovolnících (22-24 let). Všichni tito dobrovolníci prošli stejným testovacím scénářem a následně byli vyzpovídáni.

6.2.1 Testovací scénář

1. Seznámení uživatele s projektem.
2. 10 minut volnosti ve virtuálním zážitku.
3. Zkusit namalovat smajlíka na prostředek papíru.
4. Zkusit namalovat fasádu domu.
5. Uřezání papíru a jeho přilepení k modelu domu.

6.2.2 Otázky kladené na konci testování

- **Otázka A:** Máte již nějaké zkušenosti s VR?
- **Otázka B:** Jaký byl Váš celkový pocit z VR zážitku?
- **Otázka C:** Byla během testování pocítována nevolnost nebo nějaký jiný zdravotní problém?
- **Otázka D:** Jak byste ohodnotil/ohodnotila fotorealnost prostředí?
- **Otázka E:** Jak byste ohodnotil/ohodnotila malování?
- **Otázka F:** Jak byste ohodnotil/ohodnotila řezání a poskládání domu?

- **Otázka G:** Přišel Vám uživatelský tutoriál srozumitelný a nápomocný? (vzhled tutoriálu viz. podkapitola 7.1)
- **Otázka H:** Máte ještě nějaké připomínky?

■ 6.2.3 Shrnutí 1. testované osoby

1. testovaná osoba měla již zkušenosti s VR, konkrétně s VR heren, které několikrát v minulosti navštívila. Celý testovací scénář proběhl bez komplikací a bylo vidět, že si to osoba užívá. Pro mé překvapení osoba velice často používala možnosti posouvání dopředu/dozadu a nahoru/dolů, které je určeno primárně pouze pro prvotní nastavení sezení u stolu. Jinak žádná nevolnost a problémy nenastaly.

Při odpovědích na otázky osoba uvedla, že si zážitek opravdu užila a líbil se jí více, než některé zážitky/hry z VR herny. Jediným negativem poté byla ne moc ostrá prkna na střeše půdy. Při dotazu C na nevolnost osoba odpověděla, že jedna taková situace nastala, a to konkrétně když se ve virtuálním světě přiblížila hlavou moc blízko ke stolu.

Prostředí a jeho reálnost bylo hodnoceno pozitivně, osobě se velice líbil výhled za okny, vzhled listů knihy a celkové zpracování točny s rozdělaným modelem domů. Malování také bylo hodnoceno pozitivně, kde hlavním pozitivem byla iluze možného přítlaku, tedy že štětec nemaluje pořád stejně. Na druhou stranu uživateli vadilo hroší zachycování malby při rychlejším pohybu štětcem. Uřezání části papíru a následné poskládání domu se osobě líbilo, jenom by řezání i odebrání stěny mohlo vypadat více realisticky, tedy aby se například stěna neodebrala jenom při přiložení nožíku ke stěně.

Na otázku G osoba odpověděla, že jí přišel tutoriál nápomocný, ale že občas měla potíže přijít na to, co je v textu napsané, hlavně kvůli zvolenému fontu. Dále uvedla, že by bylo vhodné 4. bod přejmenovat na řezání papíru a dále přidat další bod přilepení papíru, což vedlo k závěru, že by tutoriál mohl být obsáhlejší a na více stranách knížky. Na otázku H osoba uvedla, že by se jí velice líbilo, kdyby venku byla tma (výhled na noční Prahu) nebo déšť a všechno osvětlení by tak bylo pouze z petrolejových lamp, dále pak uvedla, že by bylo vhodné mít možnost zvonu spawnout nástroje na stole.

Při testování s 1. testovací osobou byly nalezeny 3 chyby. Konkrétně se jednalo o propadávající se nástroje podlahou, špatné spawnování papíru při řezání a probliknutí namalovaného inkoustu při uložení záběru kamery.

■ 6.2.4 Shrnutí 2. testované osoby

Stejně jako předešlá testovací osoba, tak i tato má zkušenosti s virtuální realitou z VR herny. Testování u 2. testovací osoby proběhlo bez komplikací. Osoba se hned v prvních 10 minutách volnosti chopila nástrojů a začala postupovat podle pokynů v návodě, podle kterých vytvořila malbu fasády domu a po uříznutí dokončila rozdělaný model domů. Což znamenalo, že se do tohoto testování nemuselo vůbec zasahovat a řídit testovací osobu. Na

konci testování byla osoba jenom dotázána, zda by ještě namalovala smajlíka, aby tak splnila všechny body v testovacím scénáři.

Poté když byla osoba tázána na otázky, odpověděla, že to byl super zážitek s velice pěkným grafickým zpracováním, které tvořilo uvěřitelný pocit, že se nachází někde v minulosti na půdě. Na otázku C osoba odpověděla, že za celou dobu nepocitovala žádnou nevolnost nebo špatný pocit, akorát že ji bolí za krkem z toho, jak musela mít většinu času skloněnou hlavu.

Na otázku D osoba uvedla, že celé prostředí na ni působilo velice dobře a realisticky a udělila hodnocení 9 bodů z 10. Ztráta jednoho bodu byla odůvodněna vzhledem ruky, tedy základním vzhledem ruky z pluginu SteamVR, tedy ruky v "motorkářské" rukavici. Malování osoba hodnotila dobře a uvedla, že jí to přišlo zábavné a taky velmi ocenila možnost mazání malby. Na řezání a poskládání domu osoba odpověděla, že to bylo jednoduché. U řezání pak očekávala složitější a realističtější proces. S tím, že musí řezat na určitém místě problém neměla, jenom očekávala, že bude muset s nožičkem více řezat. Dále osoba uvedla, že jí celkem vadilo časté zapadnutí nástrojů do stolu.

Jelikož osoba dokázala projít celým procesem sama, jenom za pomoci uživatelského návodu, bylo zřejmé, že návod byl v tomto případě správně nápomocný. Tento názor poté i osoba sama potvrdila. Osoba neměla problém s přečtením textu jako předešlá testovací osoba a na návodě by nic neměnila. Při celkovém shrnutí u otázky H pak testovací osoba ještě uvedla, že ovládání bylo jednoduché a rychle pochopitelné a celkově zážitek hodnotila 8 body z 10.

2. osoba při testování objevila jednu novou chybu, a to špatný collider u pravítka, který byl o něco větší než samotný model pravítka. Tato chyba byla poté odstraněna.

6.2.5 Shrnutí 3. testované osoby

Třetí osoba na rozdíl od předešlých osob uvedla, že nemá žádné dosavadní zkušenosti s virtuální realitou. Při tomto testování byl ze začátku menší problém správně napozicovat jak hráče ve virtuálním světě, tak osobu ve skutečném světě, aby ruka při položení na stůl ve skutečném světě, ležela i na stole ve světě virtuálním a zároveň při úchytu inkoustového pera dosáhla hrotem na papír. Tento problém nakonec kombinací výšky stolu a židle osoby a možnosti pohybu výšky hráče v zážitku vyřešen nebyl, což způsobilo, že osoba měla při testování ruce trošku více zvednuté než předešlé testovací osoby.

Na otázku B osoba odpověděla, že i když nemá zážitek s čím porovnat, tak se jí moc líbil, mile ji překvapil a předvedl, co virtuální realita dokáže. Osoba byla velice ráda, že z jejího prvního zážitku nepocitovala žádnou nevolnost nebo jiný podobný zdravotní problém, avšak uvedla, že malování bylo poměrně namáhavé a bolí ji z toho trošku ruce. Testovaná osoba tedy ze zážitku měla příznak gorilí paže (viz podkapitola 2.2), což nejspíše způsobil uvedený problém z předešlého odstavce.

Při odpovědi na otázku D osoba uvedla, že prostředí na ni působilo velice pěkně a připadala si tam jako v pohádce Kozí příběh nebo spíše v jeho období. Tedy hlavní dojem, že se osoba nachází v historické Praze byl splněn, i když tedy o 400 let dříve. Při malování bylo vidět, že s tím osoba má trochu problém, což také uvedla v odpovědi na otázku E. Celkový zážitek z malování byl hodnocen kladně, jenom osobě velice vadilo kreslení ve vzduchu a občasné odskočení pera od papíru. Na otázku F osoba odpověděla, tak jako předešlé osoby, že očekávala reálnější řezání a také lépe znázorněné odřezání, jelikož na fakt, že má papír už uříznutý přišla až po chvíli, co byl uříznut. Poskládání domu přišlo osobě jako pěkné ukončení celého zážitku, díky kterému i hůře vypadající malba může ve složeném modelu vypadat dobře.

Odpověď na otázku G byla taková, že se testovací osobě uživatelský návod líbil a přišel jí srozumitelný a nápomocný. I v tomto případě nebyl žádný problém s fontem písma. Jenom osoba uvedla, že návod by mohl být více obsáhlejší. Při dotazu na poslední otázku osoba uvedla, že by nebylo špatné, kdyby se zážitek odehrával u šikmého stolu, u kterého by i malování rukou ve vzduchu nemuselo být tak obtížné.

Při tomto testování nebyly objeveny žádné nové chyby.

■ 6.2.6 Shrnutí uživatelského testování

Uživatelské testování se nakonec bohužel provádělo pouze na 3 osobách, protože kvůli protiepidemiologickým opatřením na kolejích ČVUT nemohli být na kolej přivedeni ostatní dobrovolníci. U třech testovacích osob tedy bylo prováděno testování u nich doma na jejich stolním počítači. Všechny osoby měly výkonnější PC, tedy na všech zařízeních zážitek běžel bez problému na 90FPS. Celkové uživatelské testování bychom mohli označit za úspěšné, všem testovacím osobám se zážitek líbil, hlavně tedy z vizuální stránky, žádná osoba nepocítovala nevolnost nebo jiný podobný příznak VR nemoci. Byly nalezeny nové chyby, které do té doby byly přehlédnuty a testovací osoby přišly i se zajímavými nápady, které by mohly pomoci v budoucím vývoji.

Kapitola 7

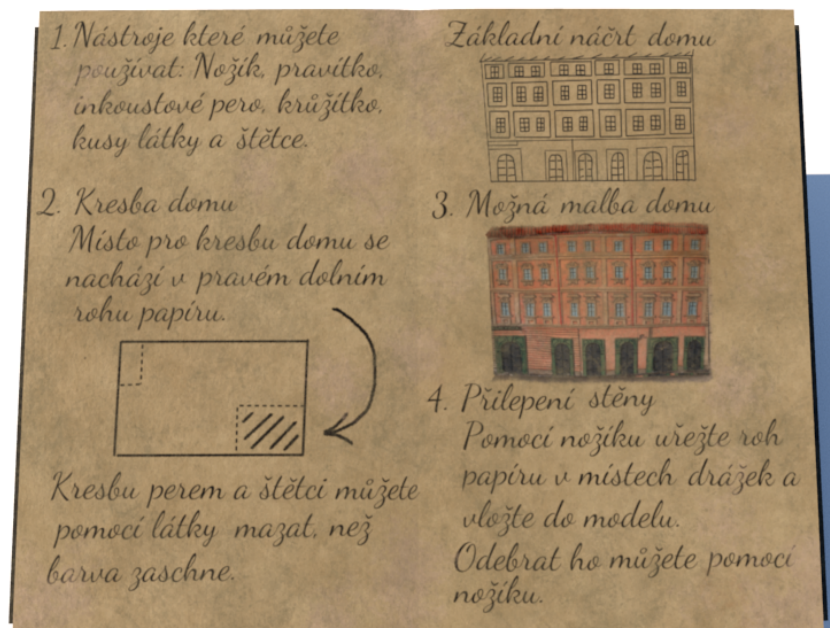
Závěr

7.1 Shrnutí

V kapitole 3 byly stanoveny požadavky virtuálního zážitku pro tuto práci, které byly všechny až na jeden v jednotlivých kapitolách splněny. Tím posledním požadavkem zůstává požadavek FP01, tedy požadavek dokumentace, který zde v závěru již také může být odškrtnout. V práci jsme si přiblížili, co znamená virtuální realita, provedli analýzu našeho virtuálního zážitku a návrh řešení. Dále jsme se seznámili s tím, jak byl celý zážitek implementován a otestován.

V závěru práce poté byla finální scéna ještě změněna, a to konkrétně o billboardy knížek ve vzdálenějších regálech na knihy, což znamená, že všechny knihy, které v těchto regálech byly, byly vyměněny za jeden obrázek obsahující tyto knihy. Což vedlo k další optimalizaci výkonu. Dále byla přidána možnost pohybu hráče ve vertikální ose a ose ke stolu, aby tak vznikla možnost si přizpůsobit zážitek podle své výšky. V poslední řadě byl vytvořen tutoriál pro hráče k základnímu postupu, který by měl uživatel provést (viz obrázek 7.1).

Virtuální zážitek se nyní nachází ve funkčním a použitelném stavu, ve kterém si uživatel může vyzkoušet malbu inkoustovým perem a štětcí, řezání papíru a přilepením chybějící stěny v modelu domů. Práce tak má již možnost reprezentovat myšlenku konceptu budoucího virtuálního zážitku pro Muzeum hlavního města Prahy.



Obrázek 7.1: Ukázka hráčova tutoriálu, popisující jak by měl postupovat. Zdroj: autor

7.2 Budoucí rozvoj

Jak bylo již vícekrát zmíněno, práce na tomto virtuálním zážitku Bakalářskou prací nekončí. Malba i řezání je funkční, avšak nepůsobí dostatečně realisticky, jak by se přálo. A právě toto přání bude hlavní prací kolegů, kteří na tomto zážitku budou pokračovat v práci. Jednou z možností, jak docílit přesnějšího a lepšího pocitu při malování, je například vytvoření interakčního pera, kterým bude uživatel kreslit ve skutečném světě, toto skutečné kreslení se poté bude přemapovávat do virtuálního zážitku, ve kterém tak vznikne realističtější kresba, což povede k celkovému lepšímu pocitu uživatele.

7.3 Přínos práce

Hlavní přínos této práce spočívá ve vytvoření základního virtuálního zážitku, který již obsahuje scénu Langweilovy dílny poskládanou z fotorealistických 3D modelů a požadovanými interakčními technikami, které budou moci být dále vylepšovány. Celkovým přínosem budoucího finálního zážitku pak bude v možnosti netradičně a zábavně představit práci A. Langweila návštěvníkům Muzea hlavního města Prahy a tím snad úspěšně zvětšit povědomí veřejnosti o významu tohoto modelu Prahy.

Pro mě osobně pak práce měla také velký přínos. Přiblížil jsem si teorii týkající se 3D modelů, naučil jsem se vytvářet vlastní textury pro své modely,

ale hlavně jsem se seznámil s celkovou tvorbou modelů pro VR a samotným vytvářením správné VR aplikace. Jelikož se role VR v technologickém světě neustále zvětšuje, vidím tuhle zkušenost za velice cennou a přínosnou pro mé budoucí zaměstnání.



Literatura

- [1] Jeason Jerald, Ph.D. (2015, Naposledy navštíveno 12. 12. 2020) The vr book: Human-centered design for virtual reality. [Online]. Available: http://www.morganclaypoolpublishers.com/catalog_Orig/samples/9781970001136_sample.pdf
- [2] IT slovník. (c 2008-2020, Naposledy navštíveno 30. 12. 2020) Latence. [Online]. Available: <https://it-slovník.cz/pojem/latence>
- [3] Steven M. LaValle. (2016, Naposledy navštíveno 30. 11. 2020) Virtual reality. [Online]. Available: <http://lavalle.pl/vr/node3.html>
- [4] ——. (2016, Naposledy navštíveno 07. 12. 2020) Virtual reality. [Online]. Available: <http://lavalle.pl/vr/node6.html>
- [5] ——. (2016, Naposledy navštíveno 13. 12. 2020) Virtual reality. [Online]. Available: <http://lavalle.pl/vr/node11.html>
- [6] itnetwork. (c 2020, Naposledy navštíveno 13. 12. 2020) Uml-use case diagram. [Online]. Available: <https://www.itnetwork.cz/navrh/uml/uml-use-case-diagram>
- [7] Steven M. LaValle. (2016, Naposledy navštíveno 30. 12. 2020) Virtual reality. [Online]. Available: <http://lavalle.pl/vr/node212.html>
- [8] IT slovník. (c 2008-2020, Naposledy navštíveno 30. 12. 2020) Snímková frekvence. [Online]. Available: <https://it-slovník.cz/pojem/snimkova-frekvence>
- [9] J. Žára, B. Beneš, J. Sochor, P. Felkel, *Moderní počítačová grafika*, Brno, 2004, ISBN 80-251-0454-0.
- [10] Steven M. LaValle. (2016, Naposledy navštíveno 30. 12. 2020) Virtual reality. [Online]. Available: <http://lavalle.pl/vr/node217.html>
- [11] Autodesk. (c 2020, Naposledy navštíveno 12. 12. 2020) Ceník 3ds max. [Online]. Available: <https://www.autodesk.cz/products/3ds-max/>

- [12] ——. (c 2020, Naposledy navštíveno 12. 12. 2020) Ceník maya. [Online]. Available: <https://www.autodesk.cz/products/maya/subscribe?plc=MAYA&term=1-YEAR&support=ADVANCED&quantity=1>
- [13] ——. (c 2020, Naposledy navštíveno 15. 5. 2020) Webové stránky maya lt. [Online]. Available: <https://www.autodesk.cz/products/maya-lt/>
- [14] Concept Art Empire. (c 2020, Naposledy navštíveno 12. 12. 2020) Co je uv mapování. [Online]. Available: <https://conceptartempire.com/uv-mapping-unwrapping/>
- [15] substance3d. (c 2020, Naposledy navštíveno 29. 11. 2020) Substance academy - pbr textury. [Online]. Available: <https://academy.substance3d.com/courses/the-pbr-guide-part-2>
- [16] Pluralsight. (c 2004-2020, Naposledy navštíveno 30. 12. 2020) Rozdíl normálové, bump a displacement mapy. [Online]. Available: <https://www.pluralsight.com/blog/film-games/bump-normal-and-displacement-maps>
- [17] Pixologic. (c 2020, Naposledy navštíveno 15. 5. 2020) Cena programu zbrush. [Online]. Available: <https://pixologic.com/features/get-zbrush.php#pricing>
- [18] substance3d. (c 2020, Naposledy navštíveno 15. 5. 2020) Ceník programu substance painter a designer. [Online]. Available: <https://www.substance3d.com/subscribe/>
- [19] unity3d. (c 2020, Naposledy navštíveno 15. 5. 2020) Co je herní engine. [Online]. Available: <https://unity3d.com/what-is-a-game-engine>
- [20] ——. (c 2020, Naposledy navštíveno 15. 5. 2020) Unity 3d. [Online]. Available: <https://unity3d.com/unity/activation/personal>
- [21] unrealengine. (c 2004-2020, Naposledy navštíveno 15. 5. 2020) Unreal engine. [Online]. Available: <https://www.unrealengine.com/en-US/?sessionInvalidated=true>
- [22] visual-paradigm. (c 2020, Naposledy navštíveno 13. 12. 2020) Wbs diagram. [Online]. Available: <https://www.visual-paradigm.com/guide/project-management/what-is-work-breakdown-structure/>
- [23] Autodesk Maya 2016 Help. (2015, Naposledy navštíveno 28. 11. 2020) Maya - introduction. [Online]. Available: http://docs.autodesk.com/MAYAUL/2015/ENU/GettingStarted/#!/url=../files/Polygonal_Modeling_Introduction.htm
- [24] Autodeks. (2015, Naposledy navštíveno 28. 11. 2020) Maya-extrude. [Online]. Available: http://docs.autodesk.com/MAYAUL/2015/ENU/GettingStarted/#!/url=../files/Modeling_a_polygonal_mesh_Extruding_polygon_components.htm

- [25] Autodesk Maya 2016 Help. (2016, Naposledy navštíveno 28. 11. 2020) Maya- insert an edge loop. [Online]. Available: <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-33D62F72-8E72-4685-A7DC-73C45206F732>
- [26] —. (2016, Naposledy navštíveno 28. 11. 2020) Maya- target weld tool. [Online]. Available: <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-16CEC87A-F927-4AED-9B60-A772481F8FD4>
- [27] —. (2016, Naposledy navštíveno 28. 11. 2020) Maya- multi-cut. [Online]. Available: <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-12DF0D57-6E5E-48E3-8FBB-F787BA4E5410>
- [28] —. (2016, Naposledy navštíveno 28. 11. 2020) Maya - combine. [Online]. Available: <http://help.autodesk.com/view/MAYAUL/2016/ENU/?guid=GUID-79B4AF50-94D0-424F-BCB9-1DFCCCE093AD>
- [29] docs.unity3d. (c 2020, Naposledy navštíveno 07. 12. 2020) Unity 3d - lightmapping. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/2019.3/Documentation/Manual/Lightmappers.html>
- [30] —. (c 2020, Naposledy navštíveno 29. 11. 2020) Unity documentation - targettexture. [Online]. Available: <https://docs.unity3d.com/ScriptReference/Camera-targetTexture.html>

Příloha A

Obsah přiloženého CD

- Finální buildnutá verze virtuálního zážitku

Tyto soubory obsahují spustitelný program virtuálního zážitku bez potřeby herního engine. V následující příloze B se nachází manuál pro správné spuštění tohoto programu.

- *Build.zip*
- *Build.z01*
- *Build.z02*
- *Build.z03*

- Projekt v herním engine Unity 3D

Následné soubory představují celý projekt v herním engine Unity 3D verze 2019.2.9f1. Správné rozbalení zipů a spuštění herního engine, je popsáno v následující příloze B.

- *VR_puda_unity.zip*
- *VR_puda_unity.z01*
- *VR_puda_unity.z02*
- *Models.zip*
- *Models.z01*
- *Materials.zip*
- *Materials.z01*
- *Materials.z02*
- *Materials.z03*
- *Materials.z04*
- *Materials.z05*

- 3D modely v programu Maya

- *scenes.zip*

- Textury pro modely

A. Obsah přiloženého CD

- *sourceimages.zip*
- *sourceimages.z01*
- *sourceimages.z02*
- *sourceimages.z03*
- *sourceimages.z04*
- Barevné vzory štětce a pera
 - *Vzory_Stetec.zip*
- Video pro ukázkou malování
 - *Malovani_Video.zip*
 - *Malovani_Video.z01*
 - *Malovani_Video.z02*
 - *Malovani_Video.z03*
 - *Malovani_Video.z04*
 - *Malovani_Video.z05*
 - *Malovani_Video.z06*
 - *Malovani_Video.z07*
 - *Malovani_Video.z08*
 - *Malovani_Video.z09*
 - *Malovani_Video.z10*
 - *Malovani_Video.z11*
 - *Malovani_Video.z12*
 - *Malovani_Video.z13*
- Textový soubor pro základní informace a odkazy pro videa na Youtube a repozitář k projektu na gitlabu
 - *README.txt*

Příloha B

Uživatelský Manuál

B.1 Spuštění finální buildnuté verze a uživatelské ovládání

B.1.1 Spuštění

1. Rozbalení zipu Build.zip

Potřebné soubory:

- *Build.zip*
- *Build.z01*
- *Build.z02*
- *Build.z03*

2. Stáhnutí služby Steam a instalace programu Windows mixed reality a SteamVR ze služby steam. (Pro uživatele s headsetem od Windows mixed reality.)
3. Spuštění předešlých programů a zapojení VR headsetu.
4. Spuštění souboru VR_puda_unity.exe nacházející se v rozbaleném adresáři z Build.zip.
5. Stisknutí tlačítka Play

B.1.2 Ovládání

Uživatelské ovládání je poměrně jednoduché. Můžete používat oba VR ovladače, ale pro zážitek bude stačit pouze jeden (ovladač pro vaší dominantní ruku). Jediné tlačítko pro potřebu je button Trigger, pomocí kterého uchopíte nástroje nebo otáčíte točnou, na které se nachází model domů. Dále pomocí klávesových šipek si můžete přizpůsobit pozici hráče ve virtuálním světě. Šipky nahoru a dolů posunují hráče nahoru a dolů, dále šipky doprava a doleva posunují hráče od stolu nebo ke stolu. Ideální pozice by poté měla být taková, že máte ruku položenou na stole, jak ve virtuálním tak ve skutečném světě.

B.2 Spuštění projektu v herním engine Unity 3D

1. Rozbalení zipu *VR_puda_unity.zip*

Potřebné soubory:

- *VR_puda_unity.zip*
- *VR_puda_unity.z01*
- *VR_puda_unity.z02*

2. V rozbaleném adresáři přejděte do složky *Assets*, do této složky rozbalte zip *Models.zip* a *Materials.zip*, tak aby to vypadalo následovně.

- */VR_puda_unity*
 - */Assets*
 - */Animations*
 - */Audio*
 - */Editor*
 - */Materials*
 - */Models*
 - */Prefabs*
 - ...
 - */Logs*
 - */Packages*
 - */ProjectSettings*
 - ...

Potřebné soubory pro *Models*:

- *Models.zip*
- *Models.z01*

Potřebné soubory pro *Materials*:

- *Materials.zip*
- *Materials.z01*
- *Materials.z02*
- *Materials.z03*
- *Materials.z04*
- *Materials.z05*

3. Stáhnutí Unity hub a nainstalování Unity 3D verze 2019.2.9f1.

4. Vyberte projekt v Unity hub a spusťte.

Základní a důležitá orientace v programu je pak taková, že ve složce *Scenes* se nachází scéna poskládané půdy. Složka *Scripts* obsahuje všechny vytvořené skripty. Dále složka *Models* obsahuje všechny modely a ve složce *Materials* se nachází všechny textury s vytvořenými materiály pro modely.

Příloha C

Odkazy

C.1 Gitlab repozitář projektu

- https://gitlab.fel.cvut.cz/langweil-mmp/vr_model.git

C.2 Materiály stáhnuté z share.substance3d

- <https://share.substance3d.com/libraries/843>
- <https://share.substance3d.com/libraries/5121>
- <https://share.substance3d.com/libraries/3021>

C.3 Video s malováním

- <https://youtu.be/L180XZZRNWU>