

Vizualizace Zlína z konce 19. století ve virtuální realitě

Hana Šilhavíková

Bakalářská práce
2022



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta aplikované informatiky
Ústav informatiky a umělé inteligence

Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Hana Šilhavíková
Osobní číslo: A19693
Studijní program: B3902 Inženýrská informatika
Studijní obor: Softwarové inženýrství
Forma studia: Prezenční
Téma práce: Vizualizace Zlína z konce 19. století ve virtuální realitě
Téma práce anglicky: Visualisation of Zlin From the Late 19th Century Using Virtual Reality

Zásady pro vypracování

1. Seznamte se s programy, které budou použity v praktické části této práce.
2. V teoretické části práce tyto programy popište.
3. Charakterizujte virtuální realitu a její implementaci v Unreal Engine.
4. Stávající vizualizační aplikaci upravte tak, aby fungovala na headsetu Oculus Quest.
5. Navrhněte a realizujte další grafické úpravy virtuálního prostředí aplikace, aby bylo více realistické.

Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

1. Blender 2.93 Reference Manual – Blender Manual. Blender Documentation – blender.org [online]. Copyright © [cit. 2021-9-28]. Dostupné z: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html>
2. Unreal Engine 4 Documentation. Unreal Engine Documentation – unrealengine.com [online]. Epic Games [cit. 2021-9-28]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/>
3. MCCAFFREY, Mitch. Unreal engine VR cookbook: Developing Virtual Reality with UE4. United States: Pearson Education, 2017. ISBN 978-0-13-464917-7.
4. NOVÁČEK, Stanislav a Zdeněk POKLUDA. Zlín ve fotografii: (1890-1950). Zlín: Esprint Zlín, 2008. ISBN 978-80-254-3144-3.
5. Historie Zlína. Starý Zlín – staryzlin.cz [online]. Copyright © [cit. 2021-9-28]. Dostupné z: <https://www.staryzlin.cz/index.php>

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Pavel Pokorný, Ph.D.

Ústav počítačových a komunikačních systémů

Datum zadání bakalářské práce:

3. prosince 2021

Termín odevzdání bakalářské práce:

23. května 2022

doc. Mgr. Milan Adámek, Ph.D. v.r.
děkan



prof. Mgr. Roman Jašek, Ph.D., DBA v.r.
ředitel ústavu

Ve Zlíně dne 24. ledna 2022

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby;
- beru na vědomí, že bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k prezenčnímu nahlédnutí, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v příruční knihovně Fakulty aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 odst. 2 a 3 autorského zákona mohu užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen připouští-li tak licenční smlouva uzavřená mezi mnou a Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně s tím, že vyrovnání případného přiměřeného příspěvku na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše) bude rovněž předmětem této licenční smlouvy;
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Prohlašuji,

- že jsem na bakalářské práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků budu uveden jako spoluautor.
- že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

Ve Zlíně, dne 17. května 2022

Hana Šilhavíková, v. r.
.....
podpis studenta

ABSTRAKT

Cílem této bakalářské práce je převést existující počítačovou aplikaci s prohlídkou Zlína z konce 19. století z pohledu první či třetí osoby, která byla vytvořena v rámci předcházející práce, na program funkční ve virtuální realitě. Pro tyto účely je využito programu Unreal Engine, v němž vzniká samotná aplikace, a také programu Blender pro doplnění stávajícího 3D modelu o detaily navyšující realističnost celé scény. Z Fakulty aplikované informatiky byl pro testování aplikace zapůjčen headset pro virtuální realitu Oculus Quest.

Klíčová slova: Vizualizace, Architektura, Zlín, 19. století, Historie, Blender, Unreal Engine, 3D grafika, 3D modelování, Virtuální realita, HMD, Oculus Quest

ABSTRACT

The aim of this thesis is to convert computer application of sightseeing tour through Zlín in the end of 19th century, that already exist, from previous thesis to a new functional program for virtual reality. For this thesis is used program Unreal Engine for application creation and program Blender to complete details in 3D model. This program is used for getting more realistic outcome. Virtual reality headset Oculus Quest were borrowed from Faculty of Applied Informatics and are used for application testing.

Keywords: Visualization, Architecture, Zlín, 19th century, History, Blender, Unreal Engine, 3D graphics, 3D modeling, Virtual reality, HMD, Oculus Quest

Ráda bych poděkovala panu Ing. Pavlu Pokornému, PhD., vedoucímu mé bakalářské práce, za jeho odborné rady, profesionální přístup, zpětnou vazbu a trpělivost s mými dotazy při řešení obtížných částí této práce.

Dále bych chtěla poděkovat panu Mgr. Davidu Valůškovi, řediteli Státního okresního archivu Zlín, za jeho ochotu a vstřícnost poradit s řešením 3D modelu města, aby byl historicky přesný, a také za věnování knihy s dobovými fotografiemi.

Také bych ráda poděkovala Fakultě aplikované informatiky na Univerzitě Tomáše Bati za zapůjčení Oculus Questu pro možnost testování aplikace přímo na virtuální realitě.

Nakonec bych chtěla poděkovat své rodině, jež mi poskytla skvělou zpětnou vazbu nejen k samotné aplikaci, ale i k textu práce, a také svým spolužákům, kteří si virtuální realitu s nadšením vyzkoušeli a navíc přišli se zajímavými nápady, kam až by se vizualizace Zlína dala v budoucnu posunout.

„Na inspiraci nemůžete čekat. Musíte ji pronásledovat s palicí.“

Jack London

Prohlašuji, že odevzdaná verze bakalářské práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.

OBSAH

ÚVOD	9
I TEORETICKÁ ČÁST	10
1 POUŽITÉ PROGRAMY	11
1.1 BLENDER.....	11
1.1.1 Historie.....	11
1.1.2 Uživatelské prostředí.....	12
1.1.2.1 Splash screen.....	12
1.1.2.2 Popis výchozího uživatelského prostředí.....	13
1.1.2.3 Druhy pracovních režimů	14
1.1.3 Funkce programu	15
1.1.3.1 Modelování	15
1.1.3.2 Textury a materiály	16
1.1.3.3 Animace, simulace a vykreslování	16
1.1.4 Přechod na verzi 3.0	17
1.2 UNREAL ENGINE	18
1.2.1 Historie.....	18
1.2.2 Uživatelské prostředí.....	19
1.2.2.1 Popis výchozího uživatelského prostředí.....	19
1.2.2.2 Druhy podoken programu	20
1.2.3 Funkce programu	21
1.2.3.1 Tvorba virtuálních světů	22
1.2.3.2 Materiály, nasvícení a stínování	22
1.2.3.3 Animace, simulace a jejich efekty	23
1.2.3.4 Herní prvky	24
2 VIRTUÁLNÍ REALITA	25
2.1 HISTORIE.....	25
2.2 CHARAKTERISTIKA.....	29
2.3 VYUŽITÍ	31
2.4 HEADSETY PRO VIRTUÁLNÍ REALITU	32
2.4.1 Chytré telefony.....	32
2.4.1.1 Samsung Gear VR	32
2.4.2 Herní konzole	33
2.4.2.1 Sony PlayStation VR	33
2.4.3 Počítače	34
2.4.3.1 HP Reverb G2.....	34
2.4.4 Samostatné sestavy.....	35
2.4.4.1 Oculus Quest a Oculus Quest 2	36
2.4.4.2 HTC Vive Focus 3	38
2.5 IMPLEMENTACE VIRTUÁLNÍ REALITY V PROGRAMU UNREAL ENGINE	39
II PRAKTICKÁ ČÁST	40
3 VÝCHOZÍ STAV MODELU A APLIKACE	41
3.1 POČÍTAČOVÁ APLIKACE.....	41
3.1.1 Nedostatky aplikace	42

3.2	3D MODEL	42
3.2.1	Nedostatky modelu.....	43
4	APLIKACE PRO VIRTUÁLNÍ REALITU	46
4.1	PRVNÍ NASTAVENÍ PRO VR.....	46
4.2	PRVNÍ SESTAVENÍ APLIKACE	47
4.3	ZÁKLADNÍ FUNKCIONALITA VR	49
4.3.1	Teleportace	52
4.4	OPTIMALIZOVANÉ NASTAVENÍ PRO VR.....	53
5	ÚPRAVA MODELU A JEHO DETAILŮ	55
5.1	OKOLNÍ KRAJINA	55
5.1.1	Obloha	56
5.1.2	Krajina.....	57
5.1.3	Vodní plochy	59
5.2	FLÓRA	61
5.3	MATERIÁLOVÉ ŘEŠENÍ BUDOV	63
5.4	NOVÉ DETAILS	64
5.4.1	Obchody	64
5.4.2	Pouliční osvětlení	66
6	VÝSLEDKY PRÁCE	67
	ZÁVĚR	71
	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	72
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	77
	SEZNAM OBRÁZKŮ	80
	SEZNAM TABULEK.....	81
	SEZNAM PŘÍLOH.....	82

ÚVOD

Koncept virtuální reality se v posledním desetiletí stal velmi žádaným nejen ve výzkumné a profesionální sféře, ale také v běžném životě. Přestože je nejčastěji spojován se zábavou v podobě her, často je využíván také ke vzdělávání, práci s 3D grafikou a vizualizacemi nebo např. v lékařství. Rychlý rozvoj technologií pro headsety na virtuální realitu je doprovázen také vývojem programů, které umožňují tvorbu aplikací určených pro tuto platformu. Patří mezi ně také Unreal Engine, se kterým mohou pracovat nejen profesionálové v práci, ale i nováčci na svých domácích počítačích.

Tato bakalářská práce má za cíl upravit již existující aplikaci pro počítač s vizualizací historického města Zlína z konce 19. století [17] tak, aby šla spustit na virtuální realitě a umožňovala uživateli základní interakci s okolním prostředím. Pro zvýšení realističnosti celé scény byly prováděny také úpravy na detailech modelu města. Práce na aplikaci probíhala ve vývojovém prostředí Unreal Engine a detailní úpravy modelu pak v nástroji Blender, který je určen převážně pro tvorbu prostorové grafiky a animací. Nastavení aplikace je zaměřeno na Oculus Quest, který pro testování programu zapůjčila Fakulta aplikované informatiky Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně.

V teoretické části práce jsou popsány použité programy. Zabývá se jejich stručnou historií i důvody vzniku, popisem uživatelského prostředí a funkcemi, které poskytují k práci a tvorbě virtuálního prostředí. Další kapitola se věnuje přímo virtuální realitě, její historii, charakteristickým vlastnostem, využití v dnešní době a také rozboru druhu headsetů, jež v současnosti existují. Nakonec je zde zmíněna obecná implementace virtuální reality v programu Unreal Engine.

Praktická část obsahuje popis stavu výchozího modelu a aplikace pro počítač, včetně nedostatků, z nichž některé jsou v rámci této bakalářské práce částečně nebo zcela odstraněny. Dále je zde řešena tvorba aplikace pro virtuální realitu, její nastavení a veškerá funkcionality, kterou uživateli umožňuje. Následně se zabývá úpravami grafických detailů 3D modelu – ať už se jedná o zcela nové objekty ve scéně, optimalizaci pro Oculus Quest, nebo řešení grafických prvků scény, které po převodu z počítačové aplikace na virtuální realitu nefungovalo. Poslední kapitola shrnuje dosažené výsledky práce.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 POUŽITÉ PROGRAMY

Při tvorbě bakalářské práce bylo využito dvou programů: Blender ve verzi 3.0 a Unreal Engine ve verzi 4.27. Program Unreal Engine byl použit pro úpravu aplikace vytvořené již dříve v rámci předcházející bakalářské práce, [17] ale také k doplnění detailů do samotného 3D¹ modelu. V programu Blender byly vytvořeny další malé prostorové modely (jako například lampy pouličního osvětlení), které byly následně doplněny do vizualizace Zlína v Unreal Engine pro dosažení větší realističnosti.

1.1 Blender

Program Blender je volně dostupný multiplatformní open-source software určený k tvorbě 3D modelů a jejich texturování, vizualizací, různých druhů simulací či animací, ale také k úpravě videí. [27] [32]

Jedná se o zcela bezplatný program, který je používán nejen profesionálními vývojáři, ale také běžnými uživateli. Kromě samotného funkčního programu mají uživatelé také možnost využít Blender's API² pro psaní skriptů v jazyce Python, takže mohou sami přidat další rozšíření programu, opravit případné chyby nebo vylepšit uživatelské prostředí.

1.1.1 Historie

Ton Roosendaal, spoluzakladatel NeoGeo, jednoho z největších 3D animačních studií v Nizozemsku, zahájil v roce 1995 vývoj nového softwaru pro tvorbu prostorové grafiky, nyní známého pod názvem Blender. Již při postupném vývoji programu bylo jasné, že by mohl být využíván i jinými umělci, než jen animátory v NeoGeo. [27]

Roku 1998 Ton Roosendaal založil dceřinou společnost Not a Number (dále jen NaN), která ve vývoji Blenderu pokračovala dál a měla za úkol program dále distribuovat. Poprvé se také objevila myšlenka umožnit přístup k programu široké veřejnosti zcela zdarma, což bylo v tehdejší době přímo neslýchané – veškeré komerční aplikace pro tvorbu 3D grafiky stály tisíce dolarů.

Teprve rok po svém založení se firma NaN³ zúčastnila konference SIGGRAPH, která se zaměřuje právě na počítačovou grafiku. [25] Díky velkému úspěchu u novinářů

¹ 3D – Trojrozměrný, trojdimenzionální (prostor, který lze popsat pomocí tří rozměrů).

² API – Application Programming Interface (SW zprostředkovatel pro komunikaci mezi dvěma aplikacemi).

³ NaN – Not a Number (dceřiná firma společnosti NeoGeo zabývající se vývojem programu Blender).

i účastníků konference získala společnost NaN pro další vývoj Blenderu kapitál ve výši 4,5 milionů eur, což umožnilo rychlý rozvoj firmy. V létě 2000 tak vyšel volně dostupný Blender 2.0, do kterého byl přidán i herní engine. Navíc už tehdy podporoval multiplatformní využití pro systémy Linux a Windows. [27]

Možnosti firmy na tehdejšímu trhu nebyly dostačující, a proto NaN musela v dubnu 2001 začít znovu s jiným investorem jako menší společnost. Ještě v říjnu téhož roku vydala první komerční verzi softwaru pro 3D média pod názvem Blender Publisher. Avšak kvůli ekonomickým podmínkám na trhu nakonec společnost NaN definitivně zanikla a s ní i veškerá práce na programu Blender.

Pro velký zájem ze strany uživatelů Ton Roosendaal nenechal aplikaci Blender zcela upadnout spolu s ukončením činnosti firmy NaN, a tak byla v březnu 2002 založena nezisková organizace Blender Foundation, která po jednání s investory firmy NaN získala práva ke zdrojovým kódům programu za 100 tisíc eur. Peníze nutné pro vykoupení práv se firmě podařilo sehnat v kampani s názvem Free Blender za pouhých sedm dní.

Zlomovým bodem vývoje bylo oficiální vydání programu Blender 13. října 2002 s licencí GNU⁴ GPL⁵. Vývoj Blenderu tak pokračuje až do dnešních dní pod vedením původního zakladatele Tona Roosendaala, kdy na programu pracují dobrovolníci a nadšenci z celého světa.

1.1.2 Uživatelské prostředí

Program nabízí uživatelům možnost nastavit si uživatelské rozhraní dle vlastních preferencí – ať už se jedná o barevné provedení vývojového prostředí, či rozmístění jednotlivých podoken a funkcí. [27]

1.1.2.1 *Splash screen*

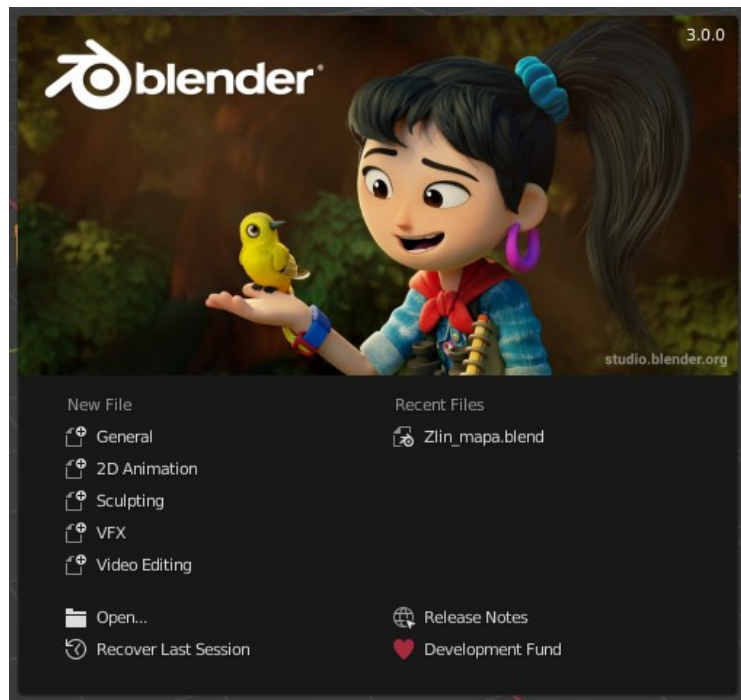
Při spuštění programu se uživateli uprostřed okna aplikace Blender objeví tzv. splash screen (Obrázek 1.) – tedy obrazovka, která se zobrazuje během nebo před úplným načtením aplikace. [39] Zde si uživatel může vybrat mezi vytvořením nového souboru, otevřením již existujícího či dříve otevřeného souboru nebo obnovením poslední práce v programu. Také může využít dvou odkazů na webové stránky Blenderu, pokud by chtěl

⁴ GNU – GNU's Not Unix! (operační systém podobný Unixu).

⁵ GPL – GNU General Public Licence (SW licence garantující uživatelům možnost SW zdarma používat, sdílet i modifikovat).

věnovat peněžní částku pro další vývoj programu, nebo si zobrazit a prostudovat informace nejen k aktuálně používané verzi aplikace. [27]

Pokud je Blender spuštěn poprvé po instalaci programu, splash screen umožňuje také výběr ze dvou základních motivů pro barevné řešení uživatelského prostředí, tzv. Theme (Dark pro tmavý režim a Light pro světlý režim), a zobrazuje také odkazy na dokumentaci k programu a webové stránky Blenderu.



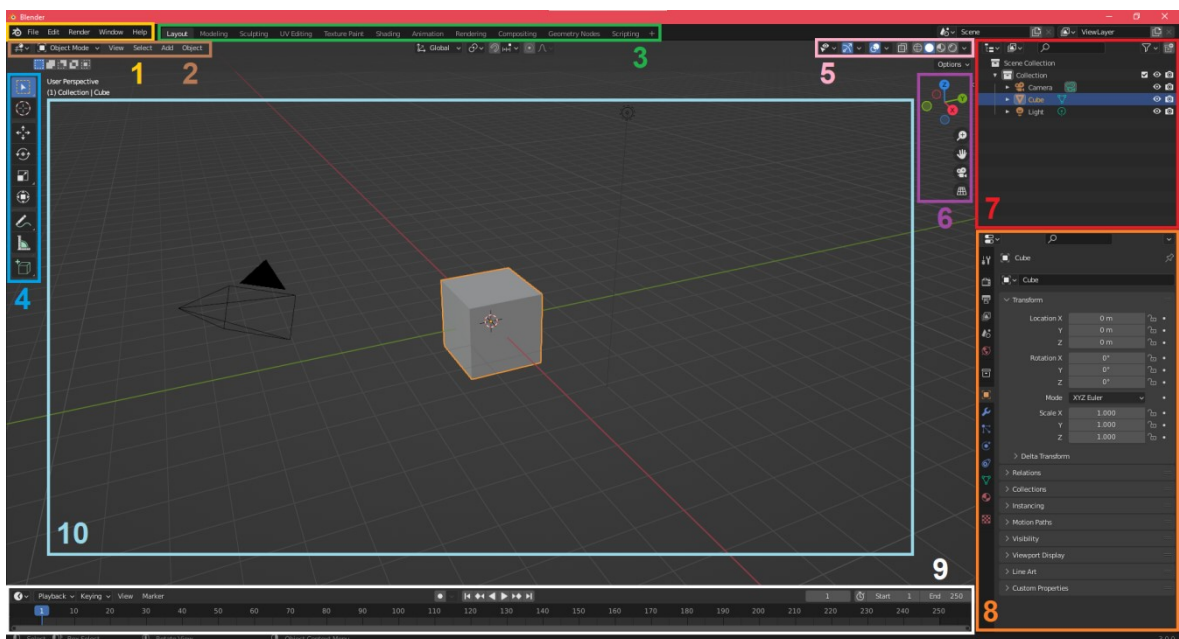
Obrázek 1. Splash screen již dříve spuštěného programu Blender 3.0

1.1.2.2 Popis výchozího uživatelského prostředí

Pracovní prostředí Blenderu je možné rozdělit na několik částí. Základní rozdělení výchozího nastavení aplikace je sepsáno níže a jednotlivé body jsou zvýrazněny na následujícím obrázku (Obrázek 2.). [27]

1. Panel pro základní práci se soubory, objekty a jejich vykreslováním, příp. nastavení okna uživatelského prostředí a zobrazení nápovědy
2. Panel pro pokročilou práci s objekty a scénou modelu
3. Panel pro přepínání mezi pracovními režimy (modelování objektů, nanášení textur, tvorba animací,...)
4. Nástroje pro úpravu objektů (výběr, posun, rotace, velikost,...)
5. Nastavení detailů zobrazení objektů a scény, příp. pomocných součástí pro jednodušší modelování (viditelnost os, nasvícení a stínování,...)

6. Nastavení pohledu na scénu (zobrazení scény či pohledu kamery, změna perspektivního a ortografického zobrazení,...)
7. Seznam kolekcí s objekty umístěnými ve scéně
8. Detailní nastavení objektů a scény (vlastnosti materiálů a textur, výběr režimu pro vykreslení scény,...)
9. Časová osa pro tvorbu animací a práci s videi
10. Pracovní plocha s náhledem 3D scény



Obrázek 2. Výchozí uživatelské prostředí aplikace Blender 3.0 s Dark Theme

1.1.2.3 Druhy pracovních režimů

Jak již bylo zmíněno v popisu výchozího uživatelského prostředí, program obsahuje panel pro přepínání mezi režimy na úpravu objektů (bod 3 v seznamu základního rozdělení okna aplikace). Jedná se o: [27]

- Layout – celkové rozložení scény objektu
- Modeling – úprava tvaru a velikosti objektů pomocí modelovacích nástrojů
- Sculpting – sochařství a jeho nástroje pro detailní povrchové úpravy
- UV Editing – nanášení 2D⁶ obrazu na 3D objekty
- Texture Paint – nastavení barev a vlastností textury objektu
- Shading – nastavení stínování objektu podle jeho materiálu

⁶ 2D – Dvourozměrný, dvoudimenzionální (prostor, který lze popsat pomocí dvou rozměrů).

- Animation – vykreslení scény do dynamického obrazu
- Rendering – vykreslení scény do statického obrazu
- Compositing – rozmístění jednotlivých vrstev při nanášení textury na objekt
- Geometry Nodes – úprava geometrie objektu
- Scripting – možnost přidání nových rozšíření programu psaním skriptů

1.1.3 Funkce programu

Blender je multifunkční program pro zpracování 3D grafiky, proto nabízí kromě samotné tvorby prostorových modelů také možnosti animace, tvorby videí a mnoho detailních nastavení pro každý objekt umístěný ve scéně. [27]

1.1.3.1 Modelování

Režim modelování slouží pro vytváření a úpravu geometrických vlastností objektů ve scéně. Spadá do něj hned několik nástrojů pro editaci modelů: [27] [32]

- Object Mode – výchozí režim pro základní editaci objektu (velikost, umístění ve scéně, natočení)
- Edit Mode – pokročilá úprava geometrických vlastností modelu (tvar hran objektu, odstranění nebo přidání stěny,...)
- Vertex Paint Mode – nastavení barvy na vybranou část objektu
- Weight Paint Mode – umožňuje přidání vnitřních částí objektu, které představují kosti, a tím dosáhnout přesnějších fyzických vlastností např. u zvířat
- Texture Paint Mode – nanášení textury přímo v 3D zobrazení
- Particle Edit Mode – přidání a úprava proměnlivých prvků, např. zvířecí srst
- Pose Mode – nastavení pohybů pro animaci pomocí vnitřních částí modelu
- Draw Mode – kreslení virtuální tužkou přímo do 3D scény

Pro urychlení a zjednodušení práce při modelování pracuje Blender s různými klávesovými zkratkami pro přepínání mezi jednotlivými nástroji. Uživatel si také může stáhnout nebo sám napsat skripty v jazyce Python pro přidání dalších nástrojů.

Další úpravy v modelování je možné provádět pomocí tzv. sochařství, které slouží pro vytváření jemných a detailních křivek různými druhy štětců. Používá se zejména u modelů ve scéně, které představují živé objekty jako osoby a zvířata. Lze nastavit sílu i velikost štětce a také jeho druh, který určuje, jaké změny dosáhne model použitím daného

štetce (zaoblení křivek, vytváření prohlubní, přidání výčnělků,...). Změny na objektu se projevují v reálném čase v závislosti na pohybu štetce po modelu. Připomínají práci s modelářskou hlinou.

Usnadnění modelování může často poskytnout také kreslicí nástroj zvaný Grease Pencil. Slouží k tvorbě 2D grafiky přímo do 3D scény a je vhodný např. pro usnadnění modelování pomocí předkreslených náčrtů požadovaného vzhledu objektu. Blender kromě samotného kreslení umožňuje také vytváření 2D animací.

1.1.3.2 Textury a materiály

Textura představuje obrázek s detaily materiálu jako třeba praskliny zdi nebo členitost kůry stromu. Napodobuje tak reálné materiály bez nutnosti tyto detaily přímo modelovat a tím snižuje náročnost výsledných modelů. Slouží k vylepšení materiálových vlastností objektu nastavovaných přes tzv. Nodes, které umožňují přidání různých barev a vlastností požadovaného materiálu, např. čiré sklo propouštějící světlo skrz sebe nebo naopak kovové prvky, které světlo odráží. V materiálovém řešení je zahrnuto nejen to, zda bude povrch modelu lesklý či matný, čirý nebo neprůhledný, jaká bude jeho barevnost a struktura, ale také jak se má vzhled objektu chovat v reakci na jeho osvětlení. [27] [32]

1.1.3.3 Animace, simulace a vykreslování

Pohybové vlastnosti objektu lze nastavit pro celý model i jeho jednotlivé části. Program umožňuje propojení animací více objektů dohromady, aby na sebe reagovaly a jejich pohyby navzájem navazovaly, lze tak vytvořit např. animaci postavy otevírající dveře. V rámci tvorby videí je možné k animačním prvkům přidat i zvukové stopy. [27] [32]

Simulace pak představuje nástroj sloužící převážně k dosažení realističtějšího řešení některých součástí animovaných modelů nebo celé scény. Skládá se ze statických a dynamických prvků. Umožňuje tak přidání fyzických vlastností (např. pro vlasy a oblečení, nebo animaci deště, blesku či ohně).

Proces, který z 3D scény vytvoří statický či dynamický 2D obraz, se nazývá vykreslování. V Blenderu existují 2 režimy pro vykreslení scény: Eevee a Cycles.

Eevee je méně náročný na výkon počítače, hodí se tak pro rychlý náhled řešení materiálu objektu nebo k jednoduchému vykreslení scény. Využívá tzv. rasterizaci, což znamená, že změna vzhledu objektu podle světla, které na něj dopadá, je vypočítána přes algoritmy.

Vykreslování pomocí režimu Cycles je časově i výkonově náročnější, ale za to poskytuje lepší a detailnější zpracování 3D scény. K tomu slouží tzv. raytracing, který přesně sleduje dopad paprsků světla, aby tak vytvořil co nejpřesnější vzhled materiálu objektu v závislosti na jeho osvětlení.

1.1.4 Přejít na verzi 3.0

Předcházející bakalářská práce využívala program ve verzi 2.92.0 zveřejněnou 25. února 2021. [17] Avšak 13. prosince 2021, kdy program po dobu 21 let dostával pouze úpravy pro verze 2.x, vyšel dlouho očekávaný update na Blender 3.0, který s sebou přinesl několik rozšíření a vylepšení stávajících funkcí aplikace. Také bylo oficiálně oznámeno, že program čekají brzy další velké změny. [8] [32]

Nejvýznamnějším vylepšením aplikace je její celkové zrychlení a kompatibilita s největšími výrobci grafických procesorů – Intel, AMD, Nvidia i Apple. Příkladem může být vykreslení obrazu ve vyšších detailech s využitím tzv. Cycles režimu. Změnou plánování procesů na GPU⁷ se čas potřebný pro vykreslení scény zkrátil minimálně na polovinu, ne-li dokonce až na osminu.

V rámci zjednodušení práce s materiály nyní třídění jednotlivých prvků 3D scény pomocí nástroje Asset Browser umožňuje vytváření knihoven pro ukládání již nastavených textur, osvětlení i samotných objektů. Práce s jednotlivými složkami navíc funguje jako drag-and-drop (tedy přetažením z jednoho místa na druhé) a vývojáři do budoucích verzí počítají s možností přidání a stažení již vytvořených knihoven jako rozšíření Blenderu, aby uživatelům umožnili rychlejší práci a nastavení vlastností objektů.

Jedna z mnoha součástí nanášení textur na objekty, Geometry Nodes, byla v nové verzi programu rozšířena o skoro 100 nových možností. Celý proces je nyní také mnohem efektivnější a rychlejší.

Dalším rozšířením je využití tzv. fields, které zjednodušují nastavení vlastností materiálu odstraněním nutnosti využití Attribute Nodes pro základní konfiguraci textury. Je tak výrazně snazší vytvořit detailnější provedení v méně krocích a za kratší dobu.

Pro dosažení realističtějšího provedení stínů 3D objektů dostaly úpravu také nástroje Shadow Catcher a Shadow Terminator.

⁷ GPU – Graphics Processing Unit (grafický procesor pro výpočty, změnu obsahu videopaměti a její zobrazení na monitoru).

Shadow Catcher nyní vytváří věruhodnější osvětlení objektů pomocí nastavení nepřímého osvětlení i světla okolního prostředí scény. Dosahuje tak lepších výsledků při tvorbě objektů, které mají připomínat skutečný svět.

Pokud uživatelé naopak chtějí dosáhnout více digitálního prostředí, mají nyní možnost pomocí Shadow Terminator odebrat nežádoucí stíny nebo upravit offset jednotlivých paprsků pro imitaci hladšího povrchu objektu.

1.2 Unreal Engine

Unreal Engine (dále jen UE) je nástroj původně určený pro vývoj her, ale v současné době se využívá v různých odvětvích průmyslu pro práci s 3D počítačovou grafikou. Slouží k tvorbě architektonických a designových vizualizací, animačních snímků a také filmových efektů. [41] [43]

Jedná se o volně dostupný multiplatformní program, který je zcela zdarma, dokud produkt vytvořený v UE⁸ nenabývá zisku minimálně 1 milion amerických dolarů – v tomto případě je nutno studiu Epic Games (jakožto tvůrci programu) platit tzv. royalty honorář, který činí 5% z celkové částky, kterou produkt vydělal.

1.2.1 Historie

Rockvill, Maryland, rok 1991 – právě tehdy se začala psát historie herního studia Epic Games a s ním i programu Unreal Engine. Vývojář Tim Sweeney založil firmu se zaměřením na vývoj počítačových her pod názvem Potomac Computer Systems, který se později několikrát změnil. První hry běžely pod systémem DOS, avšak s vydáním titulu Jazz JackRabbit, nejúspěšnější 2D plošinovky studia Epic MegaGames, v roce 1994 přišlo i rozšíření pro podporu platformy Windows o necelé 2 roky později. [30]

Zlomový byl rok 1998, kdy Tim Sweeney vytvořil herní engine pro vývoj hry Unreal, jedné z nejúspěšnějších akčních her z pohledu první osoby. Ta vznikla za účelem konkurence FPS⁹ hry Quake 2, ale výsledek byl natolik odlišný, že se spolu tyto dva tituly takřka nedají srovnávat. Nejen, že jsou rozdílné svou funkčností, ale i vzhledově. Unreal navíc přidal příběh do střílečky, což tehdy nebyl nijak rozšířený prvek herního žánru FPS. Právě tyto rozdíly a fakt, že byl engine pro vývoj sepsán v multiplatformním jazyce C++,

⁸ UE – Unreal Engine (vývojové prostředí pro tvorbu 3D modelů, her, animací,...).

⁹ FPS – First-person shooter (druh herního žánru, střílečka z pohledu první osoby).

rozhodly i přes menší oblíbenost UE, jakým směrem se budoucnost programu vůči konkurenci bude vyvíjet. [10] [21] [30]

Firma Epic Games mezi lety 2002 – 2006 do vývoje dalších her příliš nepřispívala a spíše působila jako poradce pro jiná vývojová studia. Místo aby se soustředila na samotný herní průmysl, zaměřila se na vylepšení a rozšíření UE. Nejvýznamnějším bodem tohoto období se stalo vydání tzv. Unreal Development Kitu, se kterým přišla možnost stáhnout si UE 3 zcela zdarma pro každého uživatele a poplatky byly zavedeny pouze pro komerční využití aplikace. [10] [20] [30]

Unreal Engine 4 nahradil přechodí verzi programu teprve v roce 2012, přestože byl ve vývoji už 9 let. Nový systém přinesl multiplatformní podporu nejen mezi počítačovými systémy, ale také mezi mobilní zařízení. Mezi známé herní tituly, které jsou postaveny právě na UE ve verzi 4, patří například ARK: Survival Evolved nebo Star Wars Jedi: Fallen Order. [7] [10] [20]

V současnosti se UE využívá ve verzi 5, která vyšla 14. dubna 2022 a je uvedena jako poslední stabilní. Jednu z nejvýraznějších změn tohoto vydání představuje přidání vestavěných animací a úpravy objektů přímo v UE editoru. [41] [43]

1.2.2 Uživatelské prostředí

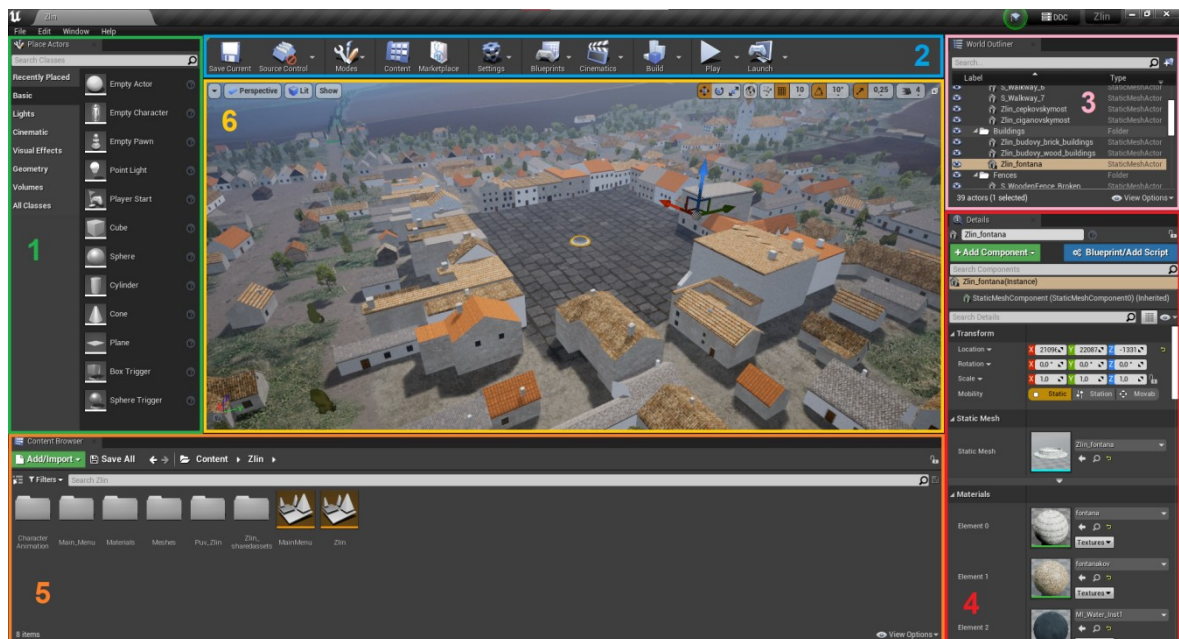
Uživatelé si aplikaci mohou nastavit dle vlastních preferencí (jako např. rozmístění a viditelnost jednotlivých podoken s funkcemi programu). Také si pro usnadnění práce mohou stáhnout různá rozšíření. Pro funkčnost a stažení UE je však nutné mít založený účet na serveru Epic Games. [43]

1.2.2.1 Popis výchozího uživatelského prostředí

Pracovní prostředí UE je možné rozdělit na několik částí. Základní rozdělení výchozího nastavení aplikace je sepsáno níže a jednotlivé body jsou zvýrazněny na následujícím obrázku (Obrázek 3.). [43]

1. Panel pro základní práci s objekty a událostmi (umožňuje přidání geometrických těles a postav či nastavení úvodní lokace pro animaci nebo virtuální prohlídku 3D modelu)
2. Panel pro pokročilou práci s objekty a scénou modelu
3. Seznam objektů, prostředí a světelných prvků umístěných ve scéně

4. Nástroje pro detailní úpravu vlastností aktuálně vybraného objektu ve scéně (umístění ve scéně podle souřadnic, nastavení materiálu a nasvícení,...)
5. Seznam kolekcí, objektů a materiálů, které je možné vložit do scény, včetně importování prvků z jiných projektů či programů (např. 3D model z Blenderu)
6. Pracovní plocha s náhledem 3D scény



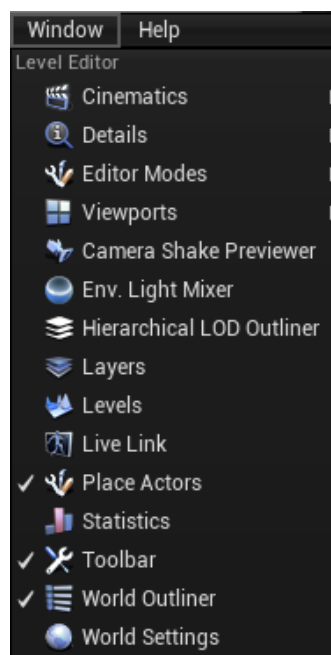
Obrázek 3. Výchozí uživatelské prostředí aplikace Unreal Engine 4.27

1.2.2.2 Druhy podoken programu

Pro úpravu zobrazovaných podoken programu je možné rozkliknout v panelu vlevo nahoře volbu *Windows* (Obrázek 4.). Zde uživatel v seznamu s názvem *Level Editor* může zapínat či vypínat podokna, která aktuálně potřebuje pro práci. Jednotlivá podokna představují: [43]

- Cinematics – nastavení kamery a animace pro tvorbu videa
- Details – zobrazení detailních vlastností o zvoleném objektu (možno otevřít až pro 4 objekty současně)
- Editor Modes – výběr objektů dle jejich zařazení (terén, aktéři,...)
- Viewports – pohled na scénu 3D modelu (možno otevřít a nastavit až 4 různé pohledy současně)
- Camera Shake Previewer – test nastavení třesu kamery bez nutnosti spuštění samotné simulace/hry
- Environmental Light Mixer – rychlé nastavení celkového osvětlení scény

- Hierarchical LOD¹⁰ Outliner – nastavení množství detailů ve scéně při spuštění simulace/hry podle vzdálenosti od pohledu kamery
- Layers – rozdělení objektů 3D modelu do jednotlivých vrstev, které mezi sebou mohou i nemusí být závislé
- Levels – nastavení vzájemné interakce jednotlivých objektů scény
- Live Link – propojení UE s dalšími aplikacemi pro tvorbu animací s přenášením úprav modelu v reálném čase
- Place Actors – vkládání objektů a událostí do scény 3D modelu
- Statistics – zobrazení sesbíraných dat dle plynulosti simulace/hry
- Toolbar – nejčastěji používané možnosti úprav vlastností objektů
- World Outliner – seznam objektů ve scéně
- World Settings – nastavení vlastností pro jednotlivé úrovně



Obrázek 4. Podokna pro Level Editor dostupná v Unreal Engine 4.27

1.2.3 Funkce programu

Přestože byl UE původně určen pro tvorbu her, s postupem času jeho využití přešlo i do dalších oborů jako architektura nebo automobilový průmysl, proto se rozšířila i samotná funkčnost. Program tak nabízí možnosti od jednoduchého modelování 3D objektů, přes tvorbu animací, až po sestavení obrovských světů, se kterými lze interagovat. [41] [43]

¹⁰ LOD – Level of Detail (úroveň zobrazovaných detailů modelů umístěných ve scéně v závislosti na jejich vzdálenosti od pohledu kamery).

1.2.3.1 Tvorba virtuálních světů

Jednou z hlavních funkcí UE je vytváření 3D modelů, pomocí kterých je možno sestavit celé světy. K tomuto účelu slouží tzv. Unreal Editor, což je nástroj, který umožňuje editaci scény., Pokud na daném projektu pracuje více tvůrců, Unreal Editor poskytuje funkci, která zajišťuje sdílení obsahu a jeho úprav mezi vícero uživateli. Lze ji využít pro sdílení modelů i programových prvků. [41] [43]

Úprava prostředí je zajištěna následujícími nástroji:

- Landscape and terrain – změnou či přidáním další výškové mapy do otevřeného světa nabízí editaci hor, údolí a dokonce i jeskyní
- Mesh editing – umožňuje drobné úpravy v geometrii, materiálovém řešení a stínování objektu, aniž by bylo nutné trvale změnit výchozí stav zvoleného 3D modelu
- Scalable foliage – automaticky pokrývá vybranou část krajiny modelu různými druhy půdy, kamení, trávy, květin, keřů a stromů
- Water system – pomocí křivek vytváří realistické vodní plochy, které se mění podle svého okolí, světla ve scéně či interakce s jinými objekty
- Sky, cloud, environment lightning – úprava atmosférických efektů pro tvorbu mraků s dynamickým nasvícením i stínováním v závislosti na denní době

1.2.3.2 Materiály, nasvícení a stínování

Nástroj pro nastavení materiálů využívá velmi detailní úpravy pro každý pixel, aby uživatel mohl dosáhnout co nejpřesnějšího vzhledu modelu, který požaduje. Při úpravě textur a jejich vlastností nabízí UE možnost nastavení dvou režimů pro vykreslení, aby bylo dosaženo maximální plynulosti aplikace. RVT¹¹ vykresluje objekty, které jsou méně náročné, takže jsou generovány přímo na GPU, zatímco SVT¹² slouží k načítání složitějších modelů, které k vykreslení potřebují čas a jejich data jsou načítána z disku, aby GPU nebyl tolik zatěžován. [41] [43]

Osvětlení scény lze upravit pro vnitřní i venkovní prostory jednotlivých objektů umístěných ve scéně. V UE existuje hned několik různých druhů světla, které se liší hlavně svým tvarem a umožňují tak dosažení co nejvěrohodnějšího nasvícení prostředí modelu.

¹¹ RVT – Runtime Virtual Textures (vytváří texturu modelu na požadavek s využitím GPU v reálném čase).

¹² SVT – Streaming Virtual Texture (alternativní přenos textur modelu z disku bez nutnosti vytížení GPU).

Jedná se o:

- Directional Lights – venkovní osvětlení představující slunce, příp. měsíc
- Sky Light – osvětlení oblohy se automaticky přizpůsobuje mrakům
- Spot Light – světlo kuželovitého tvaru, vhodné např. pro reflektory
- Point Lights – bodové světlo, které se rozbíhá do všech stran, např. žárovka

Stínování objektů lze rozdělit na statické a dynamické. Statické stíny představují drobné efekty ztmavení materiálu objektu, které se nemění v závislosti na osvětlení. Využívají se např. pro dosažení realističtějšího vzhledu kovových prvků. Dynamické stínování se mění v reálném čase podle síly a úhlu světla, které na objekt dopadá. Vytváří tak věrohodný dojem posunu a změny velikosti stínů ve scéně např. při pohybu slunce po obloze během dne.

1.2.3.3 Animace, simulace a jejich efekty

Rozhýbání objektů je v UE řešeno jak pro jednotlivé prvky scény, tak pro více modelů najednou s možností jejich vzájemné interakce. Editace animace navíc může využívat mnoho již dříve vytvořených pohybů od jednoduchých mechanik pro stisknutí tlačítka, až po detailní řešení pohybu křídel ptáků za letu. [41] [43]

Pokud uživatel dává přednost jiným animačním programům, je možné UE s požadovaným programem propojit skrze živý přenos v reálném čase. Veškeré úpravy animací tak sice vznikají v jiném programu, ale zároveň se ukládají také do nastavení pohybových vlastností objektu přímo v UE.

Prvky simulace vestavěné přímo v programu slouží pro usnadnění tvorby oblečení, vlasů a zvířecí srsti, příp. ptačího peří. Každému modelu lze přímo nastavit, jaké části se mají chovat jako oblečení, aby jejich fyzické vlastnosti co nejvíce odpovídaly skutečnosti. Stejně tak srst či vlasy lze omezit jen na určité části objektu s možností přizpůsobení dle deformací povrchu modelu, aby zpracování připomínalo reálné fotografie a videa.

Pro vylepšení stylizace scény a zážitku uživatele, který bude výsledný program používat, existuje v UE řada nástrojů pro tvorbu efektů. Ty umožňují přidání různých druhů VFX¹³ od drobného ohně a dýmu až po mohutné exploze plné prachu a destrukce budov. Mezi efekty patří také zvukové stopy, které je doprovází.

¹³ VFX – Visual effects (vizuální efekty obrazu s využitím triků, filtrů a korekcí).

1.2.3.4 Herní prvky

Vytvořit herní menu UI¹⁴ (Obrázek 5.) je možné zcela od začátku, nebo z již předdefinovaných prvků pro tlačítka, zaškrtnávací pole a posuvníky. Pro samotnou hru a její průběh jsou dostupné např. ukazatele postupu úkolů. [41] [43]

Pomocí tzv. Blueprints a Behavior Trees se nastavuje chování NPC¹⁵ a reakce okolního prostředí na události spouštěné uživatelem jeho interakcí ve hře. Tyto nástroje zajišťují, že se např. při příchodu k vstupním dveřím a stisknutí přednastavené klávesy otevře vchod do budovy, nebo určují cestu na mapě, na které se vybrané NPC bude pohybovat. Testování a úprava herních prvků probíhá v reálném čase přímo v UE, který obsahuje vestavěnou funkci pro ladění programu.



Obrázek 5. Uživatelské rozhraní hry ARK: Survival Evolved vytvořené v UE [26]

¹⁴ UI – User Interface (uživatelské rozhraní, tvoří prostředníka mezi komunikací uživatele a programem).

¹⁵ NPC – Non-playable character (postava ve hře, kterou neovládá člověk, ale počítač).

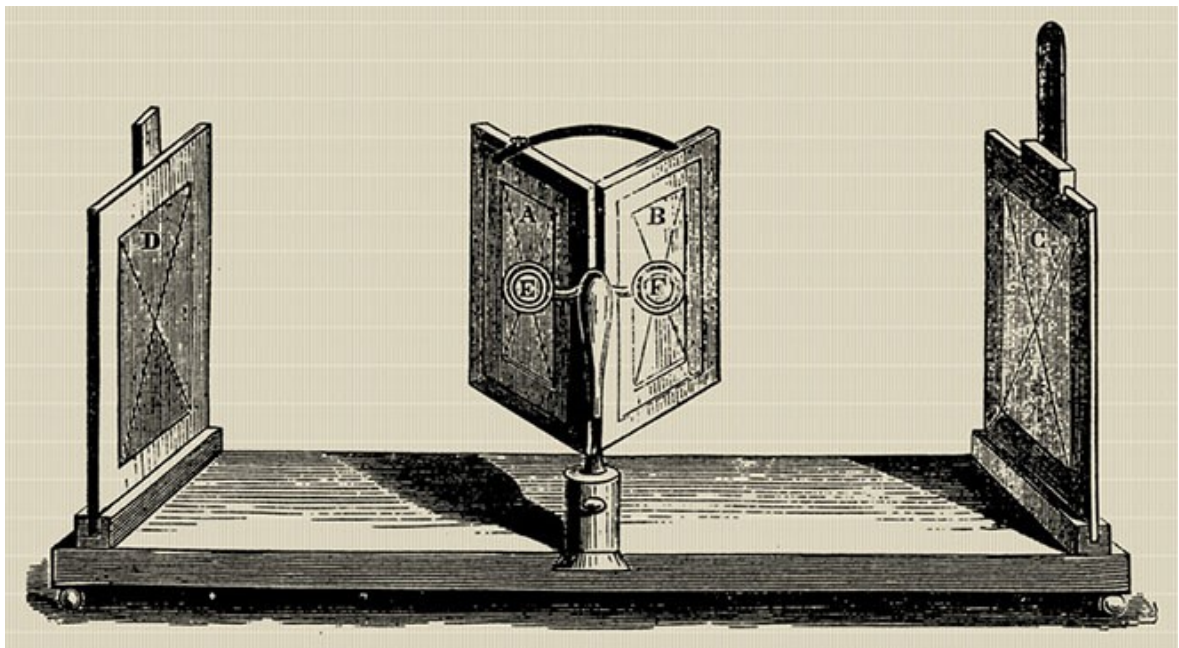
2 VIRTUÁLNÍ REALITA

Virtuální realita (dále jen VR) je uměle vytvořený, počítačem generovaný 3D svět, který má člověk možnost prozkoumat. Dokud je daná osoba součástí tohoto světa, může s ním interagovat a tím ovlivnit jakékoliv změny v jeho prostředí. [2] [3] [47]

K přístupu do světa vytvořeného ve VR¹⁶ se využívají tzv. VR headsety, což jsou speciální brýle, které přenáší obraz i zvuk generovaný počítačem. Jejich uživatel vidí a slyší pouze uměle vytvořenou scénu, nikoliv reálný svět kolem sebe. Pro interakci s okolím může využít ovladače v ruce, rukavice s pohybovými senzory či samotný VR headset, který reaguje na pohyb hlavou a vytváří tak iluzi, že se člověk v uměle vykresleném světě skutečně nachází. [2] [3]

2.1 Historie

Základy pro vytvoření technologie virtuální reality položil v roce 1838 britský fyzik Charles Wheatstone popsáním prostorového vidění. Pro demonstraci svého objevu vytvořil první stereoskop, který využíval 2 zrcadla (pro každé oko jedno), kdy každé bylo natočené v úhlu 45°, takže odráželo obraz umístěný po straně přístroje (Obrázek 6.). Tím dokázal, že lidský mozek kombinuje obrazový vjem získaný ze dvou bodů a přetváří jej tak, aby měl kromě šířky a výšky také hloubku – má tři rozměry, je tedy prostorový. [1] [14]

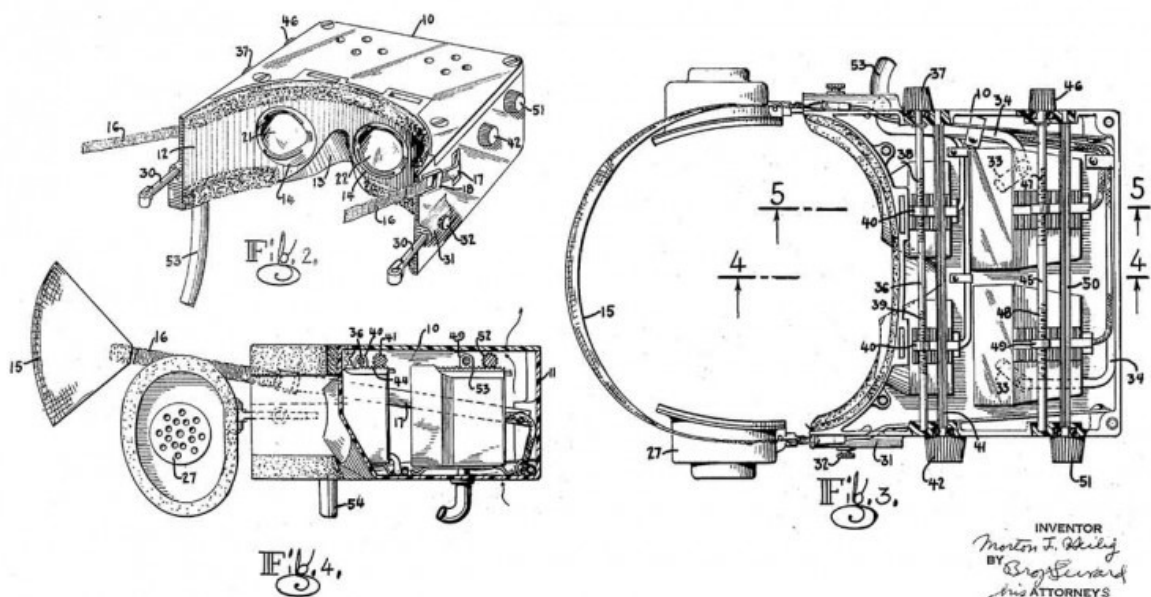


Obrázek 6. První stereoskop vytvořený Charlesem Wheatstonem [1]

¹⁶ VR – Virtuální realita (umělé prostředí vytvářející iluzi skutečného světa).

Prvním krokem k vytvoření virtuální reality, jak ji známe dnes, byl koncept tzv. Divadla zážitků z roku 1956. Americký kameraman Morton Heilig chtěl dosáhnout mnohem lepšího zážitku z filmů než jen obrazu a zvuku. S využitím technologií jako stereoskopické 3D obrazovky, vibračního křesla a stereo reproduktorů vynalezl stroj s názvem Sensorama. Jeho patent z roku 1962 umožnil divákovi sledovat celobarevný 3D film s prostorovým zvukem, vnímat vůni okolního prostředí a zažít reálné atmosférické efekty jako třeba vítr. Avšak kvůli příliš velké složitosti stroje a nezájemu ze strany investorů zůstala Sensorama pouze ve fázi prototypu. [1] [14] [44]

Přestože Morton Heilig nebyl povoláním vědec ani vynálezce, v roce 1960 vymyslel také první HMD¹⁷, tzv. Telesphere Mask (Obrázek 7.). Pohyblivý 3D obraz byl vytvořen pomocí 2 různých obrazovek. Tyto VR brýle ještě neobsahovaly žádné pohybové senzory, které by měnily obraz v závislosti na otáčení hlavou, avšak kromě videa přenášely i zvuk. [1] [14]



Obrázek 7. Schéma konstrukce Telesphere Mask [14]

Mezi lety 1961 až 1966 pokračoval vývoj převážně pro využití v armádě. Vojáci si tak pomocí prvních VR brýlí, které reagovaly na pohyb hlavou, mohli vyzkoušet nebezpečné situace, jaké by je mohly potkat na misi. Největší rozvoj zaznamenala VR díky leteckým simulátorům, do kterých armáda hojně investovala. [1] [14]

Roku 1968 vytvořil Ivan Sutherland spolu se svými studenty zařízení nesoucí jméno Damoklův meč. Poprvé namísto využití již předtočených snímků z kamery propojil VR

¹⁷ HMD – Head-mounted display (zařízení, které se nasadí na hlavu a obsahuje displej pro přenos obrazu).

headset s počítačem. Grafické zobrazení podporovalo pouze jednoduché drátěné modely, avšak reagovalo na pohyb uživatele po místnosti. Aparát stroje byl příliš těžký, aby si ho uživatel mohl dát volně na hlavu, proto byl zavěšený ze stropu. I kvůli své velikosti se Damoklův meč nikdy nerozšířil mimo laboratorní prostředí. [1] [14] [44]

Od roku 1970 až do roku 1990 se VR využívala především v medicíně, armádě, letectví a automobilovém průmyslu. Přesto vzniklo i mnoho dalších nezávislých projektů, které významně napomohly k dalšímu rozvoji. [44]

Počítačový umělec Myron Krueger vymyslel systém AR¹⁸, který byl v roce 1975 využit při tvorbě technologie Videoplace. Nebylo zapotřebí využití HMD ani pohybových ovladačů. Pomocí počítače, velkých obrazovek a kamery tak bylo možné vytvořit místnost zobrazující kolem uživatele smyšlený svět včetně jeho vlastní siluety v něm. Osobu v místnosti natáčela kamera, která následně video posílala do počítače, kde byl obraz převeden do siluety reagující na skutečné pohyby člověka. [1]

MIT¹⁹ za využití fotografií z jedoucího auta sestavilo hrubý prostorový model města Aspen, který se dal projít ve třech různých režimech: léto, zima a polygony. Virtuální prohlídka města z roku 1977 sice nepracovala přímo s VR headsetem, ale díky ní vznikla myšlenka využít uměle vytvořený 3D prostor pro navození pocitu, že se uživatel v daném místě skutečně nachází. [1] [44]

Eric Howlett vyvinul v roce 1979 systém LEEP²⁰, který vytvořil dostatečně široké zorné pole, aby zobrazovaný 3D prostor vypadal realisticky. Lze jej považovat za první obdobu brýlí pro VR, jakou známe dnes. [44]

Za využití fotobuněk vytvořili v roce 1982 Sandin a Defanti první pohybové rukavice. Reakce na změnu světla dopadajícího na rukavici tak byla počátkem rozeznávání gest bez nutnosti ovladačů s tlačítka nebo kamery snímající pohyb uživatele. [1]

Rozšíření a zpopularizování pojmu virtuální realita přišlo po roce 1985. Tehdy Jaron Lanier spolu s Thomasem Zimmermanem založili firmu VPL Research, která se jako první specializovala na prodej VR příslušenství. [1] [14]

Mezi lety 1986 až 1989 probíhal vývoj leteckého simulátoru známého pod názvem

¹⁸ AR – Augmented/artificial reality (rozšířená realita, přidává uměle vytvořené 3D modely do skutečného světa pomocí zařízení, které je přenáší a zobrazuje).

¹⁹ MIT – Massachusetts Institute of Technology (výzkumný ústav a univerzita v USA).

²⁰ LEEP – Large Expanse Extra Perspective (širokoúhlé zobrazení pomocí stereoskopu).

Super kokpit. Technologie zasazená do helmy umožňovala pilotům vidět i slyšet průběh zkušebního letu při simulaci. Obsahovala nejen 3D mapy, ale také radar a dala se ovládat gesty i hlasem. [1]

Společnost Autodesk zabývající se tvorbou grafického softwaru implementovala jako první v roce 1988 VR na počítač pro osobní použití. Vedoucí tohoto projektu, Eric Gullichsen, o 2 roky později z firmy odešel, aby založil vlastní společnost, pod kterou vydal první SDK²¹ pro tvorbu VR na běžných počítačích. WorldToolkit se využíval hlavně kvůli možnosti vytváření map a scén v reálném čase. [44]

I když 3D obraz už byl na dost vysoké úrovni, teprve v roce 1989 se díky americké společnosti NASA²² přidal také binaurální prostorový zvuk – hlasitost v pravém a levém sluchátku se lišila podle toho, v jakém úhlu měl uživatel natočenou hlavu vzhledem k původci hluku. V rámci projektu pro vývoj trenážeru kosmonautů se tak virtuální realita velmi přiblížila k uvěřitelnosti, což je jedna z jejích klíčových vlastností. [1] [14] [44]

Bodovým zlomem ve vývoji VR se stal rok 1991, kdy se na trh dostala první masově prodávaná herní konzole s VR headsetem. Nesla název Virtuality a patřily k ní kromě stereoskopických brýlí také pohybové rukavice. Přestože se náklady na pořízení jednoho stroje pohybovaly kolem 73 tisíc dolarů, Virtuality se rozšířila do mnoha zemí. Ve svém herním žebříčku nabízela nejen 3D světy k prozkoumávání s možností hry více hráčů, ale také arkádové hry (jako např. Pac-Man).

Úspěchu VR v herním průmyslu se pokusily využít firmy SEGA a Nintendo. SEGA vyvíjela VR headset pro domácí použití už v roce 1991, nikdy jej však nevydala kvůli obavám, že si uživatelé doma ublíží při používání jejich produktu. Pozdější VR stroje z jejich dílny byly určeny čistě pro arkádová herní centra. Naopak Nintendo v roce 1995 představilo veřejnosti Virtual Boy. VR headset přinášel lepší zážitek z hraní hry než televize a rozhled při otáčení hlavou dosahoval až na 270°. Nesplnila však očekávání uživatelů a stala se tak nejméně prodávanou herní konzolí od společnosti Nintendo. Spolu s ní se VR konzole pro běžné uživatele ztratily z trhu na dlouhých 17 let.

Posledním pokusem udržet VR alespoň částečně v herním průmyslu, než nastala dlouhá pauza, bylo vydání hry Second Life v roce 1999. Smyšlený svět pro setkávání se

²¹ SDK – Software development kit (sada vývojových nástrojů pro tvorbu aplikací).

²² NASA – National Aeronautics and Space Administration (americká vládní agentura zabývající se vesmírem, letectvím a vývojem technologií pro objevování vesmíru).

s přáteli nebo třeba otevření vlastního podnikání existuje dodnes a stále podporuje hru nejen na běžném počítači, ale také s využitím VR headsetů od různých firem. [44]

S rokem 2007 se objevila možnost procházet se po reálném světě s 360° rozhledem díky Google Street View. Stejně jako MIT o 30 let dřív pro sestavení modelu Aspeny použilo fotografie z jedoucího auta, postupovala také společnost Google s jejich patentovanou dvanáctistěnnou kamerou. Pouhé 3 roky po vydání byl Google Street View rozšířen o stereoskopický 3D režim pro prohlížení ve VR. [1] [44]

V roce 2012 přišel na scénu Palmer Luckey s jeho prototypem VR headsetu Oculus Rift. Revoluční 90° široké zorné pole bylo novým námětem, proč se k vývoji VR znovu vrátit. O 2 roky později Facebook odkoupil Oculus a tím odstartoval novodobé dějiny virtuální reality, jelikož se do vývoje pustily i další firmy jako Samsung, Google, Sony, Valve a HTC. Každá z nich se navíc soustředila na různá zařízení, která by s VR headsety mohla spolupracovat – od chytrých telefonů, přes herní konzoli PlayStation až po výkonné počítače. [1] [14] [44]

Možnosti objevování světa skrze virtuální realitu začaly být běžně dostupné od roku 2015. Rozšířily se různé prohlídky jinak nepřístupných míst, např. kanceláře v Bílém domě, ale také 360° videa, např. společnost BBC představila krátký film, ve kterém si uživatelé mohli prohlédnout uprchlický tábor v Sýrii. [1]

Společnost HTC přišla na trh se svým prvním VR headsetem v roce 2016 a přinesla s sebou zcela nový systém, který umožnil uživatelům volný pohyb v předem definovaném prostoru. Skutečný prostor kolem uživatele se často shodoval s virtuálním a poskytl tak možnost interagovat s reálnými předměty. [1] [44]

Posledním velkým krokem vpřed, který ve vývoji virtuální reality prozatím nastal, bylo zveřejnění VR headsetu Oculus Quest. Zde nastala velká změna, jelikož headset již nevyžaduje výkonný počítač, který by jej napájel. Uživatel tak nemusí řešit omezující kabelové propojení s počítačem ani požadavky na výkon PC²³, ale pracuje čistě s HMD a ovladači pro snímání pohybu rukou a interakci s virtuálním prostředím.

2.2 Charakteristika

Virtuální realita má hned několik charakteristických rysů, které se dají rozdělit ne-

²³ PC – Personal computer (zařízení/výpočetní technika, která zpracovává data pomocí předem vytvořeného programu).

jen podle klíčových vlastností aplikace, ale také podle hlavních požadavků přímo na její funkčnost. [2] [3] [47]

Důležité vlastnosti jsou celkem 4:

- Uvěřitelnost – skrze detailní obraz a prostorový zvuk má člověk pocit, že se v uměle vytvořeném světě skutečně nachází
- Imerzivita – pokud uživatel otáčí hlavou s nasazeným VR headsetem, pohled na okolní prostředí se mění stejně jako v reálném světě
- Real-time systém – počítačem vygenerovaná scéna se mění v reálném čase v závislosti na pohybech uživatele
- Interaktivita – uživatel má možnost interagovat s okolním prostředím, např. otevřít dveře, zmáčknout tlačítko, zvedat různé předměty,...

Funkční prvky VR aplikace se dělí na 2 kategorie: [47]

- Komfort – pro pohodlné používání VR headsetu je nutné nastavit vzdálenost, na kterou uživatel vykreslované prostředí uvidí ostře, omezit pohyby hlavou do určitého úhlu nahoru, dolů i do stran a také optimalizovat aplikaci tak, aby stíhala vykreslovat obraz stále stejnou rychlostí, protože příliš rychlá a velká změna FPS²⁴ by mohla uživateli způsobit nevolnost
- Interakce – pro snazší interakci s objekty se využívá mnoho různých technik, kdy např. změna barvy objektu, pokud se k němu uživatel přiblíží rukou, značí možnost interakce, kdežto pro upozornění na špatný směr, kudy se uživatel vydal, se vyznačuje např. zvukovým efektem

Přestože byla v rámci historie zmíněna i tzv. rozšířená realita (AR), je nutné zmínit, že se nejedná o stejný pojem jako virtuální realita. Oba principy sice pracují s uměle vytvořenými 3D modely, je mezi nimi však zásadní rozdíl ve vnímání okolního prostředí uživatelem. VR vytváří kompletně celý svět uměle a vyžaduje minimálně HMD. Uživatel při jejím používání své skutečné okolí nevidí ani neslyší. Naopak AR pouze přidává smyšlené prvky navíc do reálného světa a lze ji použít nejen na speciálních brýlích, ale i na jiných zařízeních, např. vloží model draka do krajiny při focení na chytrý telefon. Uživatel tak při jejím používání neztrácí přehled o skutečném prostředí kolem sebe. [2] [3]

²⁴ FPS – Frames per second (frekvence snímků za sekundu, udává rychlost vykreslování obrazu ve videu, hře nebo simulaci).

2.3 Využití

Virtuální realita má uplatnění v mnoha průmyslech a oborech. Může přinášet nejen zábavu v podobě her a 360° videí, ale také vzdělání a odbornou přípravu, nebo rehabilitace po nemoci či úrazu. [3] [44]

Důležité využití VR technologie je pro vytvoření simulace různých situací, které by ve skutečném světě byly velmi nákladné, ne-li přímo nereálné, či dokonce nebezpečné. Mnoho oborů tak využívá VR pro zaučení nových zaměstnanců, zaškolení v rámci BOZP²⁵, PO²⁶ a simulaci krizových situací. Ve školství pak slouží například pro praktickou výuku fyzikálních zákonů, anatomie lidského těla nebo získávání poznatků z oblasti astronomie. [44] [47]

Trénink různých činností se dá využitím VR vylepšit, takže si uživatel může předem nacvičit průběh některých situací, které ho mohou potkat. Vojáci si tak v rámci armádního výcviku dopředu vyzkouší, jak probíhají mise. Řidiči si zlepší nebo osvojí nové dovednosti pro různé dopravní prostředky. Sportovci mají díky VR headsetu realistické podmínky i při cvičení na trenažérech.

Velký význam zastává VR v lékařství. Pro začínající doktory slouží jako výukový materiál, pomocí kterého mohou důkladně prozkoumat anatomii lidského těla ať už zvenku nebo i zevnitř. Simulace průběhu chirurgických zákroků umožňuje lékařům připravit se na náročnou operaci. Vyobrazení realistických 3D modelů může být také velmi nápomocné při léčbě ztráty paměti a různých poruch či onemocnění.

Zajímavé a zábavné zážitky s využitím VR headsetu jsou nejčastěji spojovány s herním průmyslem, ten ale ani zdaleka nezahrnuje všechny možnosti volnočasových aktivit, které virtuální realita nabízí. Mezi prostorové simulace spadají také virtuální prohlídky skutečných měst, které mohou být v jejich nynější podobě sestaveny podle historických fotek, ale také s vizualizací budoucích změn v jejich vzhledu. Často se také objevuje možnost vyzkoušet si různorodé činnosti, které by si uživatel nemohl ve skutečném životě ani dovolit – jako např. chůze po laně nad kaňonem. Dále zde také patří interaktivní filmy a dokumenty natočené pomocí 360° kamery nebo živé přenosy hudebních koncertů a divadelních představení.

²⁵ BOZP – Bezpečnost a ochrana zdraví při práci (mezivědní obor zabývající se ochranou zdraví při práci).

²⁶ PO – Požární ochrana (souhrn opatření pro zamezení vzniku požáru a minimalizaci jeho ničivých důsledků).

2.4 Headsety pro virtuální realitu

Nejdůležitější součástí příslušenství pro VR jsou stereoskopické brýle s binaurálním prostorovým zvukem. Jejich použitím se uživatel přenesení do uměle vytvořeného světa, aniž by vnímal své reálné okolí. [2]

V dnešní době existují pro běžné uživatele headsety určené k využití s chytrými telefony, herní konzolí PlayStation, počítačem, ale i zcela samostatně. V následující kapitole jsou popsány parametry těch nejnámějších a nejpoužívanějších.

2.4.1 Chytré telefony

Virtuální realita pro mobilní telefony je v posledních letech spíše na ústupu a dále se nerozvíjí. Sice je podstatně levnější a dostupnější než pro ostatní zařízení, zároveň je však velmi omezená. Každý headset je použitelný pouze pro určité typy chytrých telefonů v závislosti na velikosti displeje, výkonu a paměti, ale často také na operačním systému či dokonce výrobci mobilního zařízení. [2] [38]

VR headset pro telefony je sestaven ze stereoskopických brýlí, před které se do krytky zamezující průniku obrazových vjemů z okolního prostředí vloží mobilní telefon. Brýle převádí obraz přenášený na telefon do prostorového vidění. Neobsahují však žádné pohybové senzory. Uživatel si tak musí vystačit čistě s pohyby hlavou, na které reagují akcelerometr a gyroskopické senzory vestavěné přímo v telefonu a zobrazují mu okolí z bodu, ve kterém stojí. Aby byl umožněn posun v prostoru virtuální scény, patří k headsetu navíc ovladač s tlačítky. [2]

2.4.1.1 Samsung Gear VR

Jeden z nejkvalitnějších HMD k mobilním telefonům vznikl ve spolupráci firem Samsung a Oculus. Jeho kompatibilita byla však omezena pouze pro majitele vybraných telefonů značky Samsung. Dá se však považovat za jeden z předchůdců VR brýlí, které fungují samostatně bez nutnosti připojení k jinému zařízení. [22] [38]

K samotnému headsetu patří také ovladač s několika tlačítky a touchpadem. Pomocí touchpadu se mohl uživatel pohybovat prostorem vykreslovaného 3D prostředí. Tlačítka pak sloužila k interakci s vybranými předměty ve scéně, návratu zpět či domů a nastavení hlasitosti zvuku. [38]

V současné době se Samsung Gear VR již nedá koupit a není ani nadále vyvíjen.

Tabulka 1. Specifikace soupravy Samsung Gear VR [38]

Rozměry (šířka x výška x hloubka)	207,1 x 120,7 x 98,6 mm
Váha	345 g
Displej	Záleží na telefonu vloženém do HMD
Šířka zorného pole	101°
Rozlišení	Záleží na telefonu vloženém do HMD
Kompatibilita	Vybrané telefony značky Samsung

2.4.2 Herní konzole

Přestože herních konzolí je na trhu mnoho, VR headsety existují pouze pro PlayStation řady 4 a 5. Ostatní výrobci v nejbližší době ani nemají v plánu konzole o VR rozšířit, dokonce ani největší konkurent značky PlayStation, Xbox od Microsoftu. [23] [37]

Na rozdíl od počítačových HMD poskytují výhodu v kompatibilitě, protože herní konzole mají jasně dané parametry, které VR brýle navržené přímo pro ně splňují. Avšak pro návrh aplikací ve virtuální realitě nejsou příliš vhodné právě kvůli omezení pouze na jeden typ herní konzole. [37]

2.4.2.1 Sony PlayStation VR

První generace VR headsetu pro PlayStation poskytuje velmi věrohodný zážitek skrze stereoskopické brýle s vlastním displejem. Pro jejich funkčnost musí být k herní konzoli připojeny kabelem. Velmi přesnou reakci na pohyb uživatele zajišťuje kamera, která snímá změnu polohy pomocí devíti LED²⁷ indikátorů umístěných vpředu i vzadu na HMD. [37]

K ovládání a interakci s okolním prostředím se používá bezdrátový ovladač, který je běžným příslušenstvím dodávaným přímo k herní konzoli. Pro lepší požitek z her je možné si dokoupit i další ovladače:

- Pohybový ovladač PlayStation Move – ovladač do ruky pro snazší interakci s VR prostředím, vhodné je mít jeden do každé ruky pro realistický zážitek
- Zaměřovací ovladač PS VR – napodobuje svým tvarem i tlačítka střelnou zbraň, ve VR prostředí se zobrazuje jako skutečná puška

²⁷ LED – Elektroluminiscenční dioda (dioda, která emituje světlo, případně infračervené nebo ultrafialové záření).

- Pohybový ovladač 3dRudder – podložka pod nohy reagující na její náklon, kterým uživatel určuje směr a rychlost pohybu ve VR prostředí

VR zážitky pro PlayStation jsou dostupné od roku 2016, avšak rok 2022 má přinést velké změny, protože firma Sony jej vybrala pro vydání nového headsetu pro PlayStation. Ten by měl být bezdrátový a umožňující ještě volnější a realističtější interakci uživatele s virtuálním prostředím. [18] [37]

Tabulka 2. Specifikace soupravy Sony PlayStation VR [37]

Rozměry (šířka x výška x délka)	187 x 185 x 277 mm
Váha	600 g
Displej	5,7" OLED ²⁸
Šířka zorného pole	100°
Rozlišení	1920 x 1080 px
Kompatibilita	PlayStation 4, PlayStation 5

2.4.3 Počítače

Zatím nejpokročilejšího řešení dosahují soupravy určené k počítačům, které jsou zároveň z běžně dostupného VR vybavení nejdražší. Pro kvalitní zpracování obrazu a zvuku je však nutné mít navíc i výkonný počítač, který HMD nejen napájí, ale přenáší na něj také samotnou aplikaci. Brýle je tak nutno s počítačem propojit kabelem. [2]

Headset má v sobě vestavěný displej, stereoskopické brýle a několik senzorů, které snímají pohyb uživatele – ať už se jedná o pouhé otáčení hlavou, nebo i chůzi. Posun ve scéně je omezen dosahem kabelu propojujícího VR sestavu s napájením. Funguje zde však také binaurální prostorové řešení zvuku.

2.4.3.1 HP Reverb G2

Headset vznikl ve spolupráci společností Valve a Microsoft. Díky tomu umožňuje snadný přístup ke všem VR hrám na platformě Steam a zároveň je jedním z mála sestav pro VR, která je určená i ke spuštění tzv. Microsoft Mixed Reality. Smíšená realita představuje propojení mezi virtuální a rozšířenou realitou. Umožňuje tedy uživateli vidět virtuální i skutečné prostředí zároveň, komunikovat a interagovat s přáteli v umělém prostředí

²⁸ OLED – Organic light-emitting diode (technologie, která využívá elektroluminiscenci procházející organickým materiálem).

pomocí svého avatara, který je však ovládán skutečnými pohyby, a stejně tak interagovat s reálnými objekty, které se přenáší i do virtuálního prostředí. [33] [46]

Kromě náhlavní soupravy s kabelem pro připojení napájecího zdroje patří k příslušenství také dva bezdrátové ovladače pro snímání pohybu rukou. Celá VR sestava je navržena pro dosažení co největšího komfortu uživatele při jejím používání. Ovladače mají ergonomický tvar a HMD obsahuje dodatečné polstrování. Vestavěný displej poskytuje vcelku kvalitní zobrazení i pro počítače se starší grafickou kartou. [33]

Tabulka 3. Specifikace soupravy HP Reverb G2 [33]

Rozměry (šířka x výška x délka)	175 x 84 x 186 mm
Váha	550 g
Displej	2 x 2,89" LCD ²⁹
Šířka zorného pole	114°
Rozlišení	4320 x 2160 px
Kompatibilita	Záleží na sestavení počítače

2.4.4 Samostatné sestavy

VR headsety, které jsou určeny pro samostatný provoz, v sobě mají vestavěný nejen displej a stereoskopické brýle, ale také vlastní baterii a procesor vycházející z mobilních telefonů. Z tohoto důvodu jsou méně výkonné a pro spuštění těch nejnáročnějších aplikací i nevhodné. [2] [22]

K brýlím, které v sobě mají senzory pro zaznamenávání pohybu hlavou, většinou patří také dva bezdrátové ovladače, které snímají pohyb rukou. Nejsou však nutností. Mnoho samostatných headsetů podporuje i snímání gest rukou, takže umožňují ovládat VR bez využití ovladačů. [2] [22]

Přestože tyto VR sestavy není nutné propojovat kabely k počítači, herní konzoli nebo telefonu, ne všechny jsou zcela samostatné. Některé stále vyžadují bezdrátovou komunikaci s počítačem pro přenos dat, jiné využívají drátové propojení se součástkami, které si uživatel může připnout na oblečení nebo vložit do kapsy. [2]

²⁹ LCD – Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů, jedná se o technologii používanou pro výrobu zobrazovacích zařízení, např. monitorů).

2.4.4.1 *Oculus Quest a Oculus Quest 2*

První samostatný headset od firmy Oculus slouží nejen ke hraní her, ale také k virtuálním prohlídkám skutečných i smyšlených světů, online setkání s přáteli nebo dokonce pro práci a vzdělávání. Obě verze HMD poskytují kvalitní zážitek po vizuální stránce i důvěryhodný prostorový zvuk, aniž by bylo nutné připojit k brýlím externí sluchátka. Nástupce původních VR brýlí, Oculus Quest 2, využívá nový systém, což přináší rozšíření nejen v podobě spuštění náročnějších aplikací, ale také vyšší kvalitu vykreslovaného obrazu. Novější verze headsetu navíc obsahuje i vestavěný mikrofon, aby bylo možné komunikovat mezi jednotlivými uživateli v reálném čase online. [24] [35] [40]

Jedná se o zcela samostatné VR sestavy, které je možné použít i mimo dosah jiných elektronických zařízení. Nastavení headsetu lze provést manuálně či prostřednictvím mobilní aplikace. Přestože pro konfiguraci původní verze Oculus Quest dříve stačilo vytvořit si Oculus účet, s vydáním dvojkové řady headsetu je pro spuštění a správnou funkčnost vyžadován účet na sociální síti Facebook, pod kterou společnost Oculus spadá. Kvůli nutnosti propojení s Facebook účtem, který sbírá uživatelská data, je cena novějšího modelu skoro o 100 euro nižší než u první generace headsetu. [22] [35] [40]

V rámci snížení hmotnosti HMD a zvýšení pohodlí při nasazení headsetu bylo místo pevné čelenky ke stabilnímu uchycení brýlí k hlavě u Oculus Quest 2 použito volnějšího pásku, který ale vytváří riziko, že se při prudším pohybu hlavou headset uvolní a může tak dokonce spadnout na zem. Z tohoto důvodu je možné si pevnější čelenku k brýlím dodatečně přikoupit. [24] [40]

K VR brýlím patří také dva bezdrátové ovladače. Pro napájení ovladačů je zapotřebí vložit jednu AA baterii do každého z nich. Druhá generace Oculus Quest nabízí nejen delší výdrž baterií v ovladačích, ale navíc podporuje také rozpoznávání gest rukou, čímž uživateli umožňuje ovládat virtuální prostředí bez nutnosti využití ovladačů. [9] [35] [40]

Druhá řada headsetu vyšla v listopadu 2020, tedy pouhý rok od vydání prvního modelu řady Oculus Quest. Kromě již dříve zmíněných vylepšení přinesla druhá generace také nové designové řešení v podobě bílé barvy headsetu i ovladačů a celkově oblejšího tvaru, původní verze byla černá a hranatější. [9] [24] [35] [40]

V praktické části bakalářské práce je pro testování a ladění aplikace s vizualizací Zlína z 19. století využito právě prvního modelu řady Oculus Quest z roku 2019. [9]

Tabulka 4. Porovnání HMD řady Oculus Quest [9] [11] [24] [35] [40]

	Oculus Quest	Oculus Quest 2
Rozměry (šířka x výška x délka)	160 x 87,9 x 210,1 mm	191,5 x 102 x 295,5 mm
Váha	571 g	503 g
Displej	OLED s rychlým přepínáním	LCD s rychlým přepínáním
Obnovovací frekvence	72 Hz	72 Hz, 90 Hz nebo 120 Hz
Šířka zorného pole	96°	100°
Rozlišení	2880 x 1600 px	3664 x 1920 px
SoC ³⁰	Qualcomm Snapdragon 835	Qualcomm Snapdragon™ XR2 Platform
Jádra CPU	3 x 2,3 GHz a 4 x 1,9 GHz	3 x 1,5 GHz a 4 x 1,9 GHz
Velikost interního úložiště	64 GB nebo 256 GB	128 GB nebo 256 GB
Paměť RAM ³¹	4 GB	6 GB
GPU	Qualcomm Adreno 540	Qualcomm Adreno 650
Operační systém	Android	Android
Kompatibilita	Samostatný, lze připojit telefon či počítač	Samostatný, lze připojit telefon či počítač
Výdrž baterie	2 hodiny	2 – 3 hodiny

Oculus Quest 2 na rozdíl od svého předchůdce poskytuje větší svobodu pro vývoj aplikací. Jeho výkonnější procesor umožňuje do vyvíjených aplikací implementovat více náročnější algoritmy (Obrázek 8.). Ve výchozím nastavení je však CPU taktován na velmi nízké hodnoty a výkon, kterého může skutečně dosáhnout, je tak značně omezen, pokud uživatel neprovede přetaktování pro jeho navýšení. [11] [24]

Novější řada grafického procesoru s sebou přináší také možnost pro vývoj věrohodnějších a detailněji řešených aplikací. Oculus Quest 2 se stal prvním samostatným

³⁰ SoC – System-on-chip (integrovaný obvod zahrnující všechny součásti počítače nebo elektronického systému do jednoho čipu).

³¹ RAM – Random Access Memory (operační paměť uchovávající data, která jsou právě zpracovávána).

HMD, který překonal hranici 1 TFLOP³², a dosáhl tak stejného výkonu jako například herní konzole Xbox One nebo Nintendo Switch.



Obrázek 8. Porovnání výkonu procesoru Oculus Quest 1 a Oculus Quest 2 [11]

2.4.4.2 HTC Vive Focus 3

Jeden z VR headsetů od společnosti HTC, které jsou v současnosti dostupné na trhu. Oproti jiným soupravám se jeho cena pohybuje mnohem výš a je určen převážně pro práci a vzdělávání, nikoliv do herního a zábavního průmyslu. [45]

HMD je navržen pro komfortní a bezpečné používání. Zabudovaný displej poskytuje jedno z nejlepších grafických zpracování, jaké je momentálně dostupné. V případě velkého zatížení procesoru, které vede k zahřívání celé náhlavní soupravy, se spouští automatické ochlazování pro udržení stálé teploty. [13] [45]

Jako napájecí zdroj využívá vyměnitelnou dobíjecí baterii umístěnou vzadu na headsetu. Uživatel tak může pracovat skoro bez přerušení, pouze musí soupravu na chvíli vypnout, aby vyměnil vybitou a nabitou baterii. Nabíjení baterie je velmi rychlé, na 50% své kapacity se dostane za 30 minut.

Přestože k náhlavní soupravě patří i dva bezdrátové ovladače, uživatel může s VR prostředím interagovat i bez nich. Pohybová čidla umístěná z vnější strany brýlí v sobě mají zabudované rozpoznávání gest rukou, takže ovládání virtuálního prostředí je možné i bez nutnosti použití ovladačů.

³² TFLOP – Tera Floating-point Operations Per Second (měřítko výpočetního výkonu).

Tabulka 5. Specifikace soupravy HTC Vive Focus 3 [13] [45]

Rozměry (šířka x výška x délka)	Nespecifikováno
Váha	785 g
Displej	2 x 2,88" LCD
Šířka zorného pole	120°
Rozlišení	4896 x 2448 px
Kompatibilita	Samostatný, lze připojit počítač
Výdrž baterie	2 hodiny

2.5 Implementace virtuální reality v programu Unreal Engine

Unreal Engine je sice multiplatformní software, ale pro správnou funkčnost s VR headsetem Oculus Quest vyžaduje navíc rozšíření, která jsou dostupná ke stažení přímo v nastavení aplikace nebo na online úložišti GitHub. [15] [34]

Hlavní rozšíření, bez kterého aplikace pro kterýkoliv typ headsetu Oculus vyvíjet nelze, nese název Oculus VR. Tato nadstavba přidává do UE obecná nastavení pro vykreslování 360° obrazu včetně jeho optimalizace pro plynulé vykreslování, barevné nastavení pro dosažení co nejvěrnějšího zážitku z použití VR brýlí, ale také možnost přidat úvodní nebo načítací splash screen pro vyvíjenou aplikaci. V rozšíření Oculus VR je obsaženo navíc i konkrétní nastavení pro jednotlivé typy VR sestav od firmy Oculus – ať už se jedná o již zmíněný samostatný headset Quest, nebo s počítačem propojený Rift. [34]

Další nadstavby UE pro vývoj VR aplikací nejsou vyžadovány, pouze přidávají více možností do nastavení projektu určeného pro některý headset od firmy Oculus. Mezi další rozšíření patří např.:

- Oculus Avatar SDK – avatar, kterého si může uživatel vytvořit pro svůj herní účet Oculus, se bude ostatním hráčům zobrazovat přímo v aplikaci a zároveň daný uživatel uvidí i alter ega dalších hráčů
- Passthrough API – užitečné při vývoji rozšířené reality, umožňuje spuštění aplikace přímo v UE bez nutnosti jejího sestavení na VR headset a přitom stále přenáší obraz okolního prostředí, nejen virtuální prostředí

II. PRAKTICKÁ ČÁST

3 VÝCHOZÍ STAV MODELU A APLIKACE

Tato práce navazuje na bakalářskou práci s názvem „Vizualizace Zlína z konce 19. století v Unreal Engine“ ze školního roku 2020/2021, která se zabývala tvorbou počítačové aplikace s využitím již existujícího prostorového modelu vyexportovaného z programu Blender. [17]

Historická podoba města Zlín postupně vznikala od roku 2012, kdy se touto tématikou zabývala první bakalářská práce na Fakultě aplikované informatiky na Univerzitě Tomáše Bati ve Zlíně. [6] Veškeré modely byly vytvořeny v programu Blender. Během dalších let byly postupně upravovány pro dosažení co nejpřesnějšího vypočtení Zlína z konce 19. století. [4] [5] [12]

Poslední úpravy modelu z roku 2021 byly z velké části prováděny převážně ve vývojovém prostředí Unreal Engine. Kromě grafických úprav (např. přidání animovaného materiálu vody) zde byla vytvořena také počítačová aplikace s možností prohlížení historického města z pohledu první či třetí osoby. [17]

3.1 Počítačová aplikace

Samotná aplikace určená pro počítače umožňuje prohlídku modelu města. Uživatel má možnost si vybrat, zda si chce vizualizaci zobrazit z pohledu první (Obrázek 9.) či třetí osoby a také má-li čas ve scéně ubíhat pomalejším tempem nebo naopak rychleji, aby bylo možné projít celým městem za kratší dobu.

Aby si uživatel mohl své okolí co nejlépe prohlédnout, je otáčení obrazu nastaveno na pohyb myši. Veškeré klávesové zkratky, se kterými program dále pracuje, jsou ihned po spuštění aplikace zobrazeny v pravém horním rohu obrazovky.

Pro zvýšení realističnosti celé scény se zde vyskytují také graficky velmi náročné prvky, jako například pohyblivé mraky na obloze, animovaná textura vody nebo stromy a tráva pohybující se ve větru. Posun uživatele po scéně je doprovázen nejen animací skutečných pohybů člověka při chůzi, ale také zvukovými efekty.

V aplikaci je také možnost si kromě prohlídky města v hlavním menu zobrazit informace o jejím autorovi.



Obrázek 9. Ukázka výchozí počítačové aplikace

3.1.1 Nedostatky aplikace

Aplikace obsahuje také mnoho nedostatků, které na první pohled nemusí být patrné, ale při její úpravě mohou způsobit nemalé komplikace. Mezi nedostatky patří:

- Vysoké požadavky na výkon – starší nebo méně výkonné počítače aplikaci buď vůbec neotevřou, nebo je obraz a reakce na interakci uživatele natolik pomalá, že je program téměř neovladatelný
- Náročné grafické řešení – mnoho využitých funkcí a grafických detailů nelze spustit na jiné platformě než na počítači
- Zobrazení nápovědy pro klávesové zkratky – řešeno pouze pro počítač, takže při běhu programu na jiné platformě překrývá pohled uživatele a nápovědu ani nelze nijak vypnout

3.2 3D model

Scéna vytvořená v programu Unreal Engine zahrnuje model celého města Zlína z konce 19. století včetně nejbližších polí, luk a lesů. Kromě samotných budov a krajiny obsahuje také detaily jako například původní most přes řeku Dřevnici v místech dnešního nadjezdu na ulici Gahurova mezi Čepkovem a Hlavníckovým nábřežím.

Materiálové řešení budov i krajiny je provedeno pomocí nanášení textur na objekty. Stěny staveb jsou omítané, cihelné či dřevěné, střechy pak taškové, kovové nebo doškové. Krajina obsahuje více vzájemně kombinovaných textur pro různé druhy terénu (např. 3 odlišné textury pro vykreslení materiálu trávy).

Scéna obsahuje také animované stromy a květiny, aby byla zvýšena celková realističnost modelu. Flóra umístěná ve scéně se mění dle prostředí, ve kterém se nachází (např. obilí na zemědělských polích a luční kvítí na neobdělávaných pasekách za městem).

3.2.1 Nedostatky modelu

Velké množství nedostatků se vyskytuje přímo v prostorovém modelu města, čímž zhoršují, ba dokonce znemožňují některé detailní úpravy. Mezi tyto nedostatky patří:

- UV mapy³³ – textury na oknech a dveřích jsou často špatně natočené, zdeformované nebo dokonce zcela chybí (Obrázek 10.)



Obrázek 10. Zdeformovaná textura dveří

- Normály – opačně otočené normály způsobují, že se textura na nich nejen nezobrazuje, ale navíc je kvůli tomu možné projít do vnitřních prostor do-

³³ UV map – UV mapping (proces, při kterém dochází k promítání 2D obrazu na povrch 3D objektu pro mapování textury).

mů, avšak ty nejsou v modelu nijak řešeny (Obrázek 11.)



Obrázek 11. Průhledné dveře v důsledku opačně otočených normál

- Geometrie budov – při porovnání 3D modelu s dochovanými fotografiemi Zlína z konce 19. století jsou patrné rozdíly v geometrii staveb (např. hostinec vedle staré radnice na náměstí je v modelu nižší, než byl ve skutečnosti; Obrázek 12.)



Obrázek 12. Porovnání geometrie hostince v modelu s dobovou fotografií [16]

- Materiály budov – v modelu se vyskytují nepřesná materiálová řešení staveb (např. stěna okolo zámeckého parku byla omítaná, ale vizualizace pro ni

využívá texturu cihel) nebo na tehdejší dobu přímo nereálné materiály (např. kovové střechy; Obrázek 13.)



Obrázek 13. Kovová střecha na měšťanském domě

- Výšková mapa – původní krajina měla výškovou mapu řešenou dle reálných hodnot nadmořských výšek dostupných z Google Earth [6], ale v poslední bakalářské práci byla upravena kvůli budovám nepřiléhajícím k terénu [17], což způsobilo velmi nepřirozeně a přehnaně hrbolaté cesty po celé scéně (Obrázek 14.)



Obrázek 14. Nepřirozené výškové řešení cesty k náměstí

4 APLIKACE PRO VIRTUÁLNÍ REALITU

Projektové soubory výchozí počítačové aplikace byly převedeny z řešení pro Unreal Engine ve verzi 4.26.2 [17] do UE 4.27, tehdy posledního vydání programu, které bylo uvedeno jako stabilní. Během úprav této práce vyšla oficiálně novější verze UE 5, aktuálně poslední stabilní vydání programu, [41] ale z důvodu možné nekompatibility bylo řešení VR aplikace i celé 3D scény ponecháno ve starší verzi UE.

Funkčnost aplikace bylo třeba kompletně změnit, aby si uživatel ve virtuální realitě mohl model města nejen prohlížet, ale také si historickou vizualizaci procházet a interagovat se svým okolím. Celé řešení bylo několikrát upraveno a také optimalizováno pro dosažení co nejlepšího poměru plynulosti aplikace vůči zobrazovaným grafickým detailům.

4.1 První nastavení pro VR

Aby bylo umožněno spuštění ve virtuální realitě, bylo pro první řešení aplikace v UE využito doporučeného nastavení dle oficiálních dokumentací pro vývoj aplikací na headset Oculus Quest a také pro program Unreal Engine. Jednalo se o následující změny v nastavení: [34] [43]

1. V panelu (vlevo nahoře) v možnosti *Edit – Plugins* povolit *Oculus VR*.
2. V panelu (vlevo nahoře) v možnosti *Edit – Project Settings* upravit:
 - I. V *Project* vybrat u *Maps & Modes* levely, které se mají po spuštění aplikace načíst. Kvůli hernímu menu, které bylo v původní aplikaci řešeno pouze pro počítač, bylo nutné nastavit obě možnosti na mapu Zlína, jinak by došlo k pádu aplikace hned při spuštění.
 - II. V *Engine – Input* pro mobilní platformu vymazat (možnost *Clear*) nastavení *Default Touch Interface*.
 - III. U *Platforms – Android* nakonfigurovat sestavení aplikace pro OS³⁴ Android (tlačítko *Configure Now*), protože Oculus Quest běží pod upraveným systémem Android. Dále je třeba nastavit minimální verzi SDK na 23 a cílenou verzi SDK na 25 a také musí být povolen imerzivní režim celé obrazovky pro Android KitKat či novější systémy. Toto nastavení je optimalizováno přímo pro Oculus Quest.

³⁴ OS – Operační systém (software, který umožňuje komunikaci a obsluhu uživatele a konkrétního elektronického zařízení, např. počítač, mobilní telefon atd.).

- IV. V *Platforms – Android – APK Packaging* vybrat požadovaný VR headset, tedy Oculus Quest, a to v nastavení sestavení pro *Oculus Mobile Devices*.
- V. U *Platforms – Android SDK* zadat cestu k adresářům obsahujícím soubory JDK³⁵ pro programovací jazyk Java a také knihovny Android SDK a NDK³⁶. Tyto soubory jsou dostupné z vývojového prostředí Android Studio, které slouží k tvorbě mobilních aplikací a pro sestavení VR aplikací pomocí programu Unreal Engine je využito jedné z jeho starších verzí, konkrétně Android Studio 4.0.
- VI. Nakonec v *Engine – Rendering* vybrat pro mobilní platformu vykreslování *Mobile 4x MSAA*³⁷. Také je nutné zakázat *Mobile HDR*³⁸, jelikož je pro Oculus Quest příliš náročné a neumí s ním pracovat.

Po provedení tohoto nastavení v UE bylo nutné ještě k propojení Oculus Questu s počítačem stáhnout PC aplikaci Oculus a nainstalovat ADB³⁹, který umožňuje vývoj Android aplikací na počítači včetně jejich následného testování.

Aby byl Oculus Quest viditelný přímo v programu Unreal Engine, musel být nastaven na vývojářský režim. Následně se v panelu rychlých voleb nástrojů, který se v UE zobrazuje nad náhledem 3D scény, v možnosti *Launch* nastavil jako cílové zařízení Oculus Quest propojený kabelem s počítačem. Po kliknutí na zařízení, které je určeno k testování aplikace, se spustilo její sestavení.

4.2 První sestavení aplikace

Model Zlína je velmi obsáhlý a základní nastavení pro funkčnost na VR headsetu Oculus Quest není příliš optimalizované, a tak první sestavení aplikace zabralo skoro hodinu. V průběhu se objevilo také mnoho varovných hlášek kvůli příliš náročnému řešení celé

³⁵ JDK – Java Development Kit (soubor základních nástrojů pro vývoj aplikací v programovacím jazyce Java).

³⁶ NDK – Native Development Kit (soubor nástrojů umožňujících využití programovacích jazyků C a C++ pro Android aplikace).

³⁷ MSAA – Multisample anti-aliasing (technika využívaná v počítačové grafice, která slouží k vyhlazení rozostřených hran objektů).

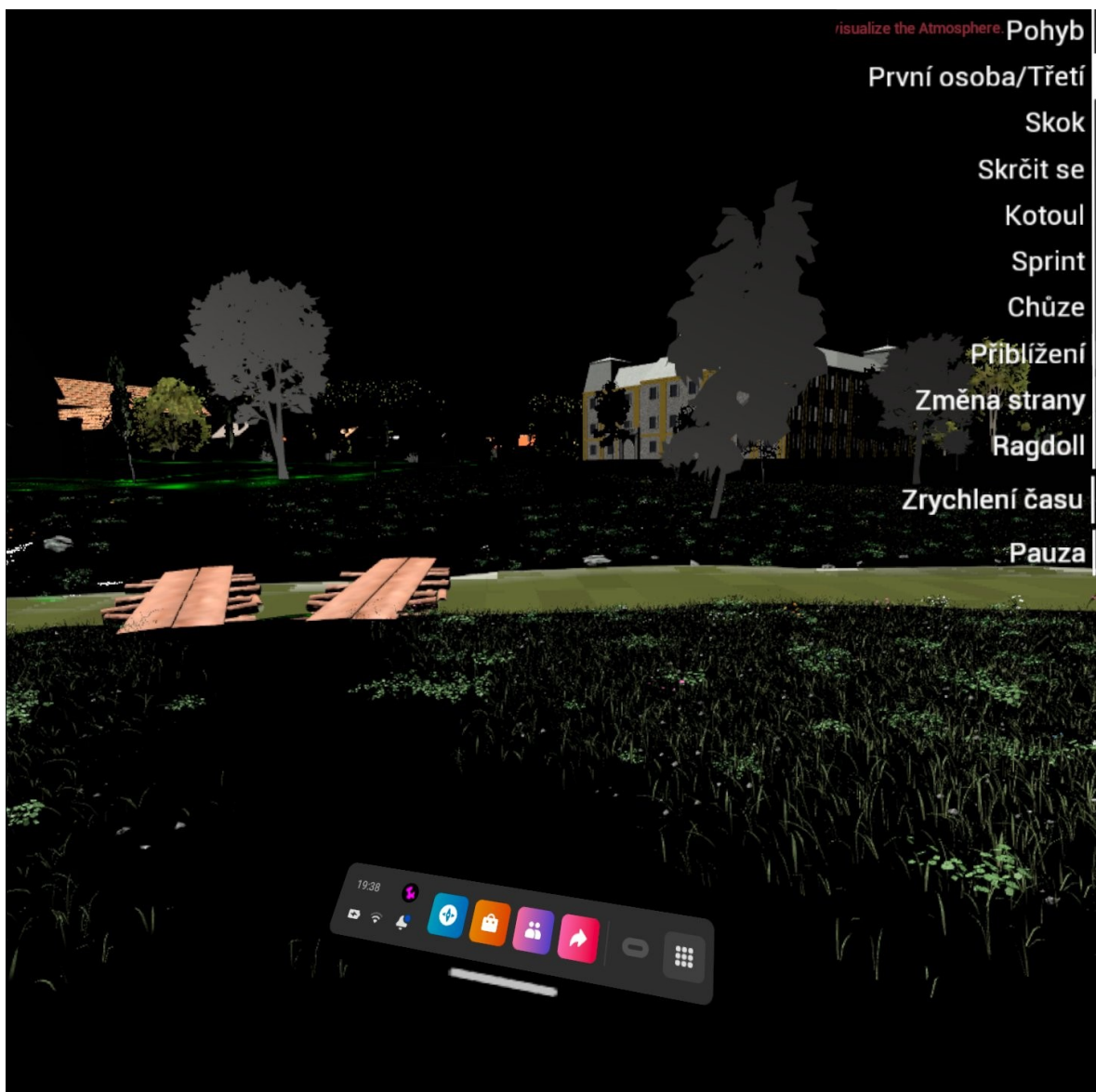
³⁸ HDR – High Dynamic Range (technologie umožňující zobrazení velmi vysokých detailů i na světlých a tmavých místech).

³⁹ ADB – Android Debug Bridge (nástroj pro příkazový řádek umožňující komunikaci počítače se zařízením Android).

3D scény. Většinou se jednalo o problémy s kompilací materiálového řešení některých objektů či funkce a efekty, které nejsou na mobilní platformě podporovány.

Výsledek prvního sestavení byl příliš náročný jak graficky, tak výkonově. Materiál okolní krajiny, oblohy i stromů se zobrazoval černou či šedou barvou. Osvětlení scény nefungovalo. Efekty mraků, mlhy a animace stromů hlásily chybu, protože na mobilních aplikacích nejsou podporovány (Obrázek 15.). Řešení je popsáno v kapitole 5 této práce.

Funkcionalita VR z velké části chyběla. HMD sice snímal pohyby hlavou, ale aplikace na ně reagovala velmi pomalu a obraz se přenášel trhaně. Ovladače se ve scéně vůbec nezobrazovaly a nebylo možné se pohnout z místa. Obraz částečně překrývala nápověda ke klávesovým zkratkám počítačové verze aplikace, která navíc problikávala.



Obrázek 15. Aplikace po prvním sestavení na Oculus Quest

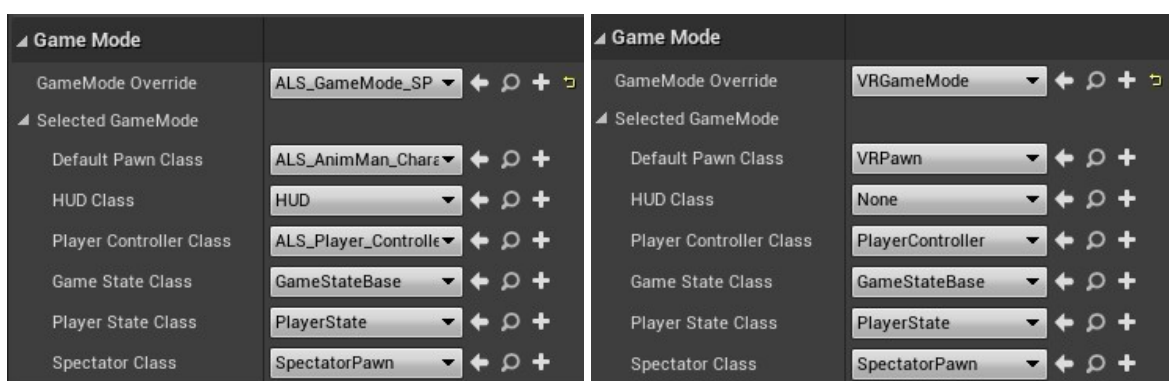
4.3 Základní funkcionalita VR

UE poskytuje interakci uživatele s aplikací pomocí tzv. herního režimu, který je možné vytvořit pomocí blueprintů nebo naprogramovat v jazyce C++. Daný mód pak určuje, co vše uživatel může v aplikaci dělat a jaké klávesové zkratky, příp. další elektronické přístroje (např. volant a pedály pro závodní hry) k tomu potřebuje. [43]

Původní aplikace měla herní režim řešený pouze pro klávesové zkratky na klávesnici k počítači, takže na jiných platformách neposkytovala téměř žádnou funkcionalitu. Jelikož jsou aplikace pro počítače a VR velmi rozdílné, byl vytvořen nový herní režim s konfigurací pro virtuální realitu.

Pro tvorbu VR herního módu bylo využito souborů, které si UE vytváří automaticky při založení nového projektu dle platformy, na kterou má být zaměřen. Z tohoto důvodu byl vytvořen prázdný projekt určený pro VR a z něj byl následně vyexportován adresář s názvem *VR Template*, který obsahuje právě herní režim pro virtuální realitu včetně její základní funkcionality.

Celý adresář byl následně naimportován do již existujícího projektu s modelem Zlína, kde bylo nutné v nastavení *World Settings*, které je dostupné vpravo dole v okně UE, změnit *Game Mode*. Herní režim a třída pro postavu ovládanou uživatelem, tzv. *Pawn Class*, byly nastaveny na VR řešení. Stejně tak bylo upraveno řešení interakce uživatele s aplikací na ovladače dostupné k VR headsetu (Obrázek 16.).



Obrázek 16. Původní (vlevo) a nové (vpravo) nastavení World Settings

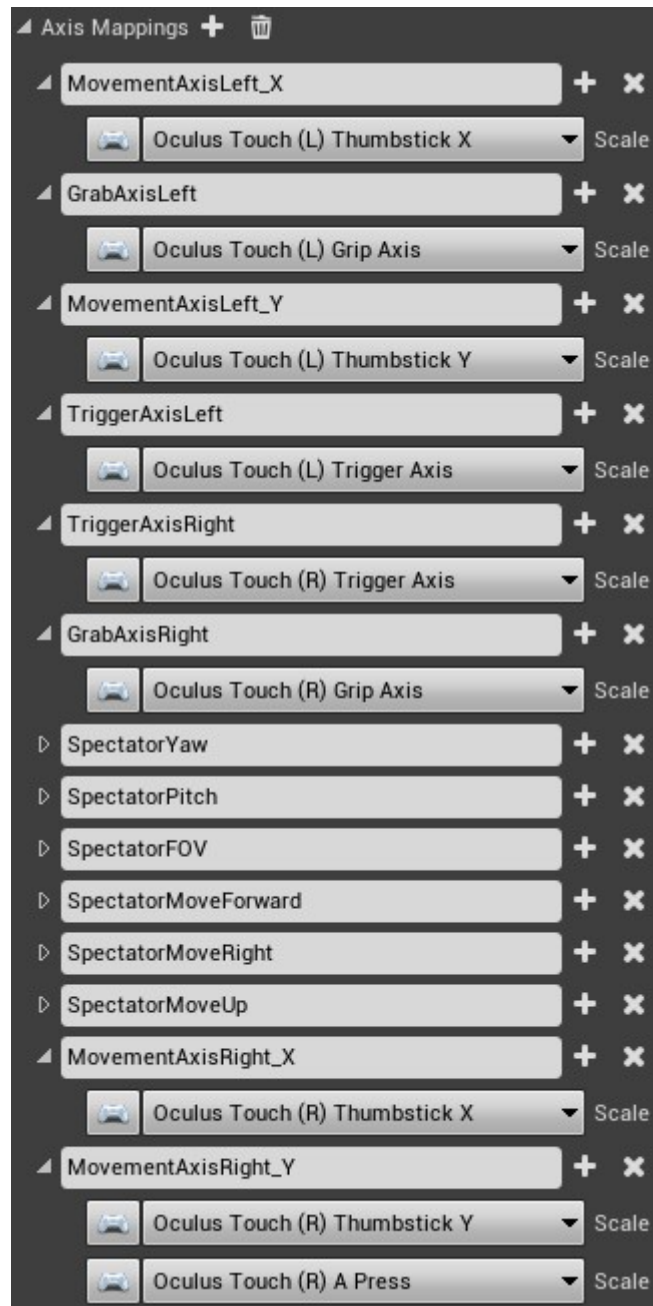
Spolu s *VR Template* byl do projektu Zlína přidán také adresář *VR Spectator*, který celý herní režim rozšiřuje o možnost sledovat přes počítač propojený s HMD veškerý pohyb a akce, které provádí uživatel ve virtuální realitě. Nastavení tzv. Spectator módu je v projektu připravené, ale nebylo nijak využito ani testováno.

Aby mohl uživatel s okolím interagovat, je potřeba přiřadit každé funkci tlačítko na VR ovladači, které ji bude spouštět. Vlevo nahoře je pod možností *Engine – Project Settings* v nastavení *Engine – Input* dostupné mapování akcí, kde *Action Mappings* představuje funkce aktivované stiskem či uvolněním tlačítka a *Axis Mappings* zajišťují náročnější funkce jako například reakci na pohyb joysticku.

V mapování akcí byly již z původního řešení projektu definovány veškeré klávesové zkratky, které využívala počítačová aplikace. Pro lepší přehlednost a odstranění chybových hlášek při sestavení aplikace, jež se objevily po změně herního režimu na VR, bylo původní nastavení vymazáno a nahrazeno novým. Klávesové zkratky byly nadefinovány přímo pro Oculus Quest ovladače (Obrázek 17. a Obrázek 18.). Akce obsahují také ovládání Spectator módu a možnost zvedání a pokládání vybraných předmětů ve scéně. Tato funkcionality sice byla nastavena, ale v rámci této bakalářské práce není v aplikaci využita.



Obrázek 17. Nastavení ovladačů pro Action Mappings



Obrázek 18. Nastavení ovladačů pro Axis Mappings

Mezi základní interakce s VR prostředím, které jsou v projektu pro vizualizaci Zlína ve virtuální realitě plně funkční, patří:

- Reakce kamery na pohyby hlavou
- Posun v prostoru dle skutečných pohybů uživatele
- Zobrazení realistických modelů ovladačů Oculus Quest přímo v aplikaci
- Reakce na pohyby ovladačů a jejich zobrazení ve scéně v reálném čase
- Možnost manuálního otáčení kamery přes klávesové zkratky
- Teleportace ve scéně pomocí klávesových zkratk

4.3.1 Teleportace

Některé aplikace pro VR teleportaci nevyžadují, jelikož se uživatel nemusí pohnout z místa, ale pro prohlížení vizualizačního modelu města je nezbytná. Vyobrazení scény je v aplikaci nastaveno ve vhodném měřítku, aby si uživatel připadal, že se v historickém Zlíně opravdu nachází. Bez možnosti teleportace by si tudíž nemohl projít celé město.

Přestože možnost teleportace byla v projektu dostupná již po přidání výchozího *VR Template* a nastavení klávesových zkratk k její aktivaci, po následném sestavení aplikace na Oculus Quest stále nefungovala. Důvodem byly chybějící navigační body v modelu, které podle kolizí s jednotlivými objekty buď umožňují, nebo naopak zamezují teleportaci na dané místo.

Program Unreal Engine navigační body generuje automaticky přes nastavení kolizí objektů pomocí navigačního modifikátoru, který ale v původním projektu zcela chyběl. Aby teleportace správně fungovala, musely být provedeny následující kroky:

1. Vlevo nahoře v možnosti *Windows* vybrat *Place Actors*
2. Rozkliknout záložku *Volumes*
3. Vložit do scény jeden objekt typu *Nav Mesh Bounds Volume* (vytváří navigační body) a jeden objekt typu *Nav Modifier Volume* (blokuje teleportaci dle nastavení kolize objektů ve scéně)
4. Přizpůsobit velikost obou objektů tak, aby pokrývaly buď celý model, nebo oblast, ve které má teleportace fungovat
5. Počkat, až UE vygeneruje všechny navigační body

Model Zlína je opravdu velký a také velmi obsáhlý, nachází se v něm více než 225.000 navigačních bodů, takže možnost teleportace po celé scéně je pro mobilní procesor Oculus Questu výkonově příliš náročná. Při testování takového nastavení se aplikace sice spustila, ale obrazovka zůstala černá, a tak uživatel z modelu nic neviděl.

Množství navigačních bodů bylo tedy sníženo na 46.000 a teleportace je tím omezena na centrum města a jeho nejbližší okolí včetně několika polí a luk (Obrázek 19.). Aplikace na VR headsetu Oculus Quest s tímto nastavením běží za dostatečně stabilního FPS, aby uživatel nezpůsobila nevolnost.



Obrázek 19. Pohled shora na model se zvýrazněním hranic pro teleportaci

4.4 Optimalizované nastavení pro VR

Během práce na aplikaci bylo mnohokrát upraveno její nastavení, aby bylo urychleno její sestavení, načítání, ale také pro dosažení co nejvyšší optimalizace v poměru plynulosti a úrovni zobrazovaných grafických detailů. Následující úpravy byly provedeny v *Edit – Project Settings* a představují nastavení, které využívá výsledná aplikace:

1. V *Project – Packaging* povolit možnost *Cook only maps*, *Exclude editor content when cooking* a *Exclude movie files when staging*, aby sestavení aplikace probíhalo rychleji a bylo méně zatěžující pro počítač i VR headset.
2. U *Project – Supported Platform* bylo z původního projektu povoleno hned několik platform, ale pro VR aplikaci na Oculus Quest stačí nechat povolené pouze 64 bitové Windows a Android.

3. U *Project – Target Hardware* vybrat optimalizaci projektového nastavení pro mobily či tablety a kvalitu grafického zobrazení na škálovatelné 3D a 2D objekty. Výchozí projekt měl toto nastavení zaměřené na počítače s nejvyššími možnými grafickými detaily. Oculus Quest toto řešení sice spustí, ale aplikace je pro mobilní procesor příliš náročná, takže změny obrazu jsou příliš trhané a interakce s uživatelem není nijak zaznamenávána.
4. V *Engine – Rendering* povolit *Forward Shading*, jelikož Android aplikace využívají pouze statická světla, nikoliv pohyblivá, takže je pro jejich funkčnost vhodnější. Dále musí být metoda anti-aliasingu nastavena na MSAA, tedy zaměřena na mobilní platformu. V neposlední řadě je také nutné povolit pro VR možnost *Instanced Stereo*, která, pokud je zakázána, na samostatných headsetech často způsobuje problémy s materiálovým řešením.
5. V *Platforms – Android* povolit možnost *Package game data inside .apk*, aby UE zabalil data aplikace do souboru typu APK⁴⁰, který je na Oculus Questu spustitelný. U možnosti *Build* musí být povolena podpora pro armv7, ale zároveň také musí být zakázáno arm64, aby se předešlo problémům se sestavením či samotným spuštěním aplikace kvůli podpoře pouze starších verzí procesorů. Dále je pak nutné v *Advanced APK Packaging* přidat nový element pro Oculus Quest.
6. U nastavení rozšíření *Oculus VR* je vhodné povolit veškerá dodatečná nastavení, jelikož jsou nakonfigurována přímo pro úpravu OS Android, kterou Oculus využívá. Pro vizualizaci Zlína není povolena pouze systémová klávesnice, jelikož program nevyžaduje žádné zadávání textu v době jeho používání. V *Color Space* je nutné nastavit *Oculus*, jinak se bílá barva v aplikaci zobrazuje žlutě, a *FFR*⁴¹ *Level* pak na *FFR Low*, aby byl obraz vykreslovaný na HMD přenášen co nejplynuleji. Přestože Oculus Quest poskytuje interakce s aplikací pomocí gest rukou, pro vizualizaci Zlína bylo u možnosti *Hands Tracking Support* povoleno pouze využití ovladačů a jejich klávesových zkratk. Nakonec je nutné všechny tyto změny aktivovat stisknutím tlačítka *Enable Oculus Build Telemetry*.

⁴⁰ APK – Android Application Package (formát souboru balíčku pro OS Android).

⁴¹ FFR – Fixed Foveated Rendering (technologie využívaná VR headsety Oculus, která upravuje rozlišení obrazu tak, aby byl GPU vytížen co nejefektivněji).

5 ÚPRAVA MODELU A JEHO DETAILŮ

Převod aplikace z verze pro počítače na virtuální realitu určenou pro samostatné headsety s sebou přinesl nejen mnoho omezení z hlediska řešení pro mobilní platformu, ale také nutnost optimalizace úrovně detailů modelů umístěných ve scéně.

Již po prvním sestavení aplikace bylo patrné, že pro dosažení alespoň stejné úrovně grafických detailů, jakou mělo původní řešení, bude potřeba provést mnoho změn. Jednalo se převážně o funkce, které nejsou na mobilní platformě podporovány, ale také o příliš vysokou úroveň detailů objektů (např. tráva a květiny z výchozí aplikace se sice zobrazovaly správně, ale kvůli velkému množství takových prvků ve scéně a vysokému LOD Oculus Quest příliš zatěžovaly a obraz se přenášel trhaně).

Během práce na 3D modelu bylo přidáno i několik nových rozšíření, jako např. nové modely představující lampy pouličního osvětlení. Úpravy vznikly dle dobových fotografií i pohlednic [16] [19] [31] a také po konzultaci s Mgr. Davidem Valůškem, ředitelem Státního okresního archivu Zlín.

5.1 Okolní krajina

Nejvýraznějším problémem se správným vykreslením grafických detailů byly materiály krajiny a vody, efekty pro vytvoření realistické oblohy a osvětlení scény. Tato řešení obsahovala funkce, které na mobilní platformě nejsou podporovány, a proto se nebe i země zobrazovaly černou barvou a nasvícení objektů fungovalo jen zčásti.

Osvětlení ve scéně bylo doporučeno změnit z pohyblivého objektu na statický, jelikož proměnlivé světlo je pro mobilní platformu výpočetně náročné. [43] Avšak pro dosažení důvěryhodnějšího efektu střídání dne a noci, které bylo do vizualizace přidáno, byl objekt typu *SkyLight* nastaven na stacionární, aby byla podporována změna stínů na objektech dle polohy slunce. Přímé osvětlení, tzv. *DirectionalLight*, které představuje slunce, bylo nastaveno na pohyblivé, aby se dle jeho polohy na obloze měnily nejen stíny, ale i samotná obloha (východ slunce, denní světlo, západ slunce, noční nebe).

Výchozí aplikace pro nasvícení využívala k dosažení realističtějšího osvětlení také Vertex Fogging, který vytváří lehce odlišné nasvícení objektů v závislosti na vzdálenosti od uživatele. Jelikož efekt mlhy není na mobilních platformách podporovaný, [43] byl z vizualizace Zlína zcela odstraněn.

5.1.1 Obloha

Původně bylo nebe vytvořeno pomocí efektu pro přidání pohyblivých mraků a sférického objektu určeného pro tvorbu oblohy v UE, který využíval barevný přechod mezi světle modrou a bílou. Přestože samotný objekt vytvářející nebe pro mobilní platformu nepředstavoval žádný problém, jeho materiálové nastavení přes MF⁴² a funkce pro přidání proměnlivých mraků nejsou podporovány. Z tohoto důvodu bylo původní řešení oblohy odstraněno a nahrazeno jiným.

Pro tvorbu nového věrohodného nebe bylo využito balíčku GoodSky, který je dostupný na Unreal Engine Marketplace zdarma a je optimalizovaný pro použití nejen na počítačích, ale také na mobilních zařízeních a virtuální realitě. [42] Pro získání produktů z UE Marketplace je potřeba se na webových stránkách UE přihlásit pod svým Epic Games účtem, stisknout tlačítko Download a vybrat si projekt, do kterého se má požadované rozšíření přidat.

Jakmile byl model Zlína o balíček GoodSky rozšířen, přibyla v editoru možnost vložit do scény nový objekt s názvem *BP_GoodSky*. Dle doporučení byl umístěn na souřadnice [0, 0, 0].

BP⁴³ v sobě obsahuje několik předdefinovaných základních režimů pro zobrazení oblohy a také pár specifických, jako např. blesky. Požadovanou denní dobu lze nastavit napevno, ale také je zde možnost povolit střídání dne a noci. Toto nastavení je nutno upravit v detailech objektu umístěného ve scéně. Proměnlivá denní doba s pohyblivými mraky (Obrázek 20.) byla v modelu Zlína nastavena následovně:

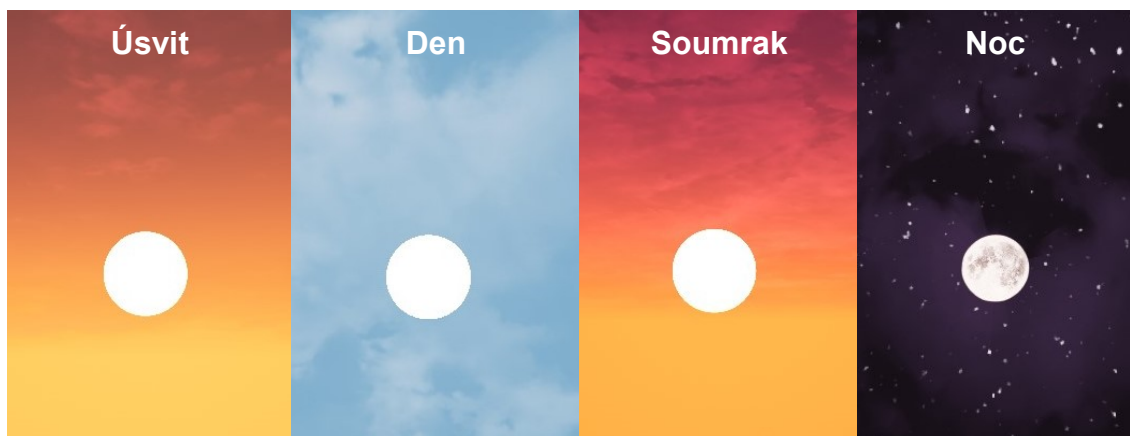
1. Ve *Sky Global Setting* bylo upraveno nastavení:
 - I. *Sky Preset* používá možnost *Custom Mode*, který je pro střídání dne a noci vyžadován.
 - II. *Sky Clouds Style* využívá mraky typu *Stratus* s lehkým překrytím *Slight*, jelikož aplikace na Oculus Questu hustější mraky zobrazovala velmi výrazně a nepůsobily tak příliš realisticky.
 - III. *Sky Effect* určuje, jaké detaily se mají na nebi zobrazovat. V modelu byly povoleny hvězdy i měsíc, aby obloha vypadala jako skutečná.

⁴² MF – Material function (pokročilé materiálové nastavení v programu Unreal Engine, které umožňuje např. prolínání několika textur tak, aby se příliš neopakovaly).

⁴³ BP – Blueprint (systém vizuální tvorby skriptů v UE).

2. Ve *Sky Beta* nastavení byly provedeny následující úpravy:
 - I. *Auto Day / Night Cycle* byl povolen, aby se obloha měnila dle denní doby. Doba jednoho cyklu byla nastavena na 10 minut.
 - II. Do *Directional Light Actor* byl přidán objekt přímého osvětlení, který je ve scéně umístěný. Pro jeho aktivaci bylo nutné použít tlačítko *Refresh Sky Shader*, aby se obloha i výchozí denní doba upravila dle aktuální polohy světla.

Běžnou změnu denní doby lze nastavit i bez využití přímého osvětlení scény, které představuje slunce. V modelu Zlína se ale vyskytl problém s trajektorií slunce, která byla přesně opačně než ve skutečnosti je – tedy slunce vycházelo na západě města a zapadalo na východě. Proto bylo ve scéně vytvořeno pohyblivé přímé osvětlení, které BP pro oblohu využívá, celkové osvětlení nebe nastaveno na stacionární a celý model byl otočen o 180°. Slunce se tak začalo pohybovat ve správném směru a stíny ve scéně se měnily v závislosti na jeho poloze.



Obrázek 20. Fáze denní doby na obloze

5.1.2 Krajina

Počítačová aplikace pro vytvoření věrohodné krajiny využívala MF, které byly v hlavním materiálu pro celou zemi pouze přidány jako jednotlivé vrstvy, z nichž je složen. Takové řešení ale nelze použít na mobilní platformě z důvodu nekompatibility. Původní materiál včetně všech MF byl proto z projektu odstraněn a pro řešení krajiny byl vytvořen nový.

Z výchozího materiálového řešení byly v projektu ponechány textury, které tvořily jednotlivé MF. Každá materiálová funkce využívala minimálně 2 různé textury, nejčastěji

však 3. Mobilní platformy umí zpracovat maximálně 16 různých textur na jeden objekt, proto z kombinací textur v MF byl vybrán vždy jen jeden vzorek pro danou vrstvu materiálu krajiny tak, aby co nejlépe odpovídal požadovanému výsledku (např. dlažební kostky na náměstí nebo šterkopísek pro cesty). Zvolená textura byla vložena do nového materiálu pro krajinu, kde byla následně přiřazena příslušné vrstvě.

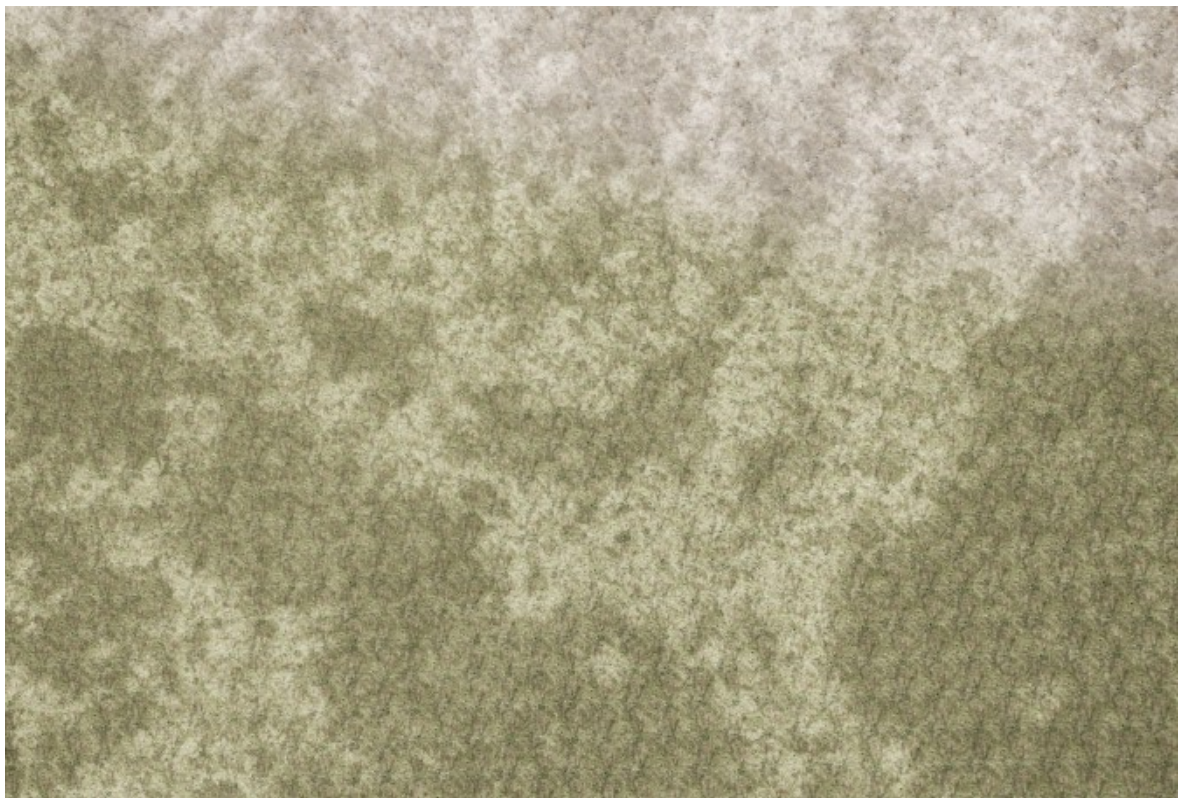
Nový materiál byl rozdělen na vrstvy pomocí nodu s názvem *Layer Blend*, do kterého bylo přidáno celkem 12 proměnných. Názvy vrstev byly použity stejné jako v původních MF, takže nebylo nutné rozdělení krajiny na cesty, pole, louky atd. vykreslit znovu, jelikož materiál pouze přiřadil nové řešení pro každou vrstvu. Stejný postup byl proveden pro barvy textur i jejich normálové mapy.

Aby se zamezilo nepřírozeným odleskům některých textur (např. vydlážděné náměstí vypadalo jako po dešti), byly navíc přidány parametry *Metallic*, *Specular* a *Roughness* s nastavením na hodnotu 0. Pro správnou funkčnost nodu *Roughness* bylo nutné jej navíc propojit přes funkci *Multiply* s libovolnou barvou textury, aby se nastavení hrubosti materiálu s texturou správně promísilo a vytvořilo tak věrohodnou krajinu.

Nakonec bylo pro dokončení nastavení materiálu využito techniky nazývané *Macro Variation*, která umožňuje přidání masky materiálu, aby zjemnila jinak příliš viditelné opakování textur (Obrázek 21.). Pro její vytvoření bylo potřeba do materiálu vložit následující nody:

1. 3x *TextureCoordinate* s výchozími parametry.
2. 3x *Multiply*, u kterého je vždy vstupní hodnota *A* nod *TextureCoordinate* a vstupní hodnota *B* je pak číslo určující velikost textury.
3. 3x *TextureSample*, kdy každý obsahuje vždy stejnou texturu s názvem *T_MacroVariation*, která je dostupná z *UE Starter Content*. Do *UV* každého vzorku je připojen výstup z *Multiply*.
4. 3x *Add*, kde vstupní hodnotou *A* je hodnota *R* od *TextureSample* a parametr *B* je nastaven vždy na 0,5. Aby maska správně fungovala, musí být ze vzorku textury využita pouze červená barva, nikoliv celý RGB model.
5. 2x *Multiply*, které postupně propojí všechny *Add* nody dohromady – nejprve textury vykreslené jako větší a ty pak se zbývajících, nejmenších texturou.
6. 1x *Constant3Vector* pro přidání šedé barvy, která bude definovat odstín masky umístěné volně přes všechny textury.

7. 1x *MaterialExpressionLinearInterpolate* (neboli *Lerp*), kde vstupní hodnota *A* je šedá barva, parametr *B* je číslo 1 a do vstupu *Alpha* je připojen *Multiply* nod, který zůstal po propojení všech vzorků textur dohromady.
8. 1x *Multiply*, který jako vstupní hodnotu *A* využívá *Lerp* s maskou vrstvy a parametr *B* je definován *Layer Blend* nodem, který má ve vrstvách řešení všech barev textur. Funkce *Multiply* je následně napojena do výstupu materiálu pro *Base Color*.



Obrázek 21. Povrch krajiny s Macro Variation maskou

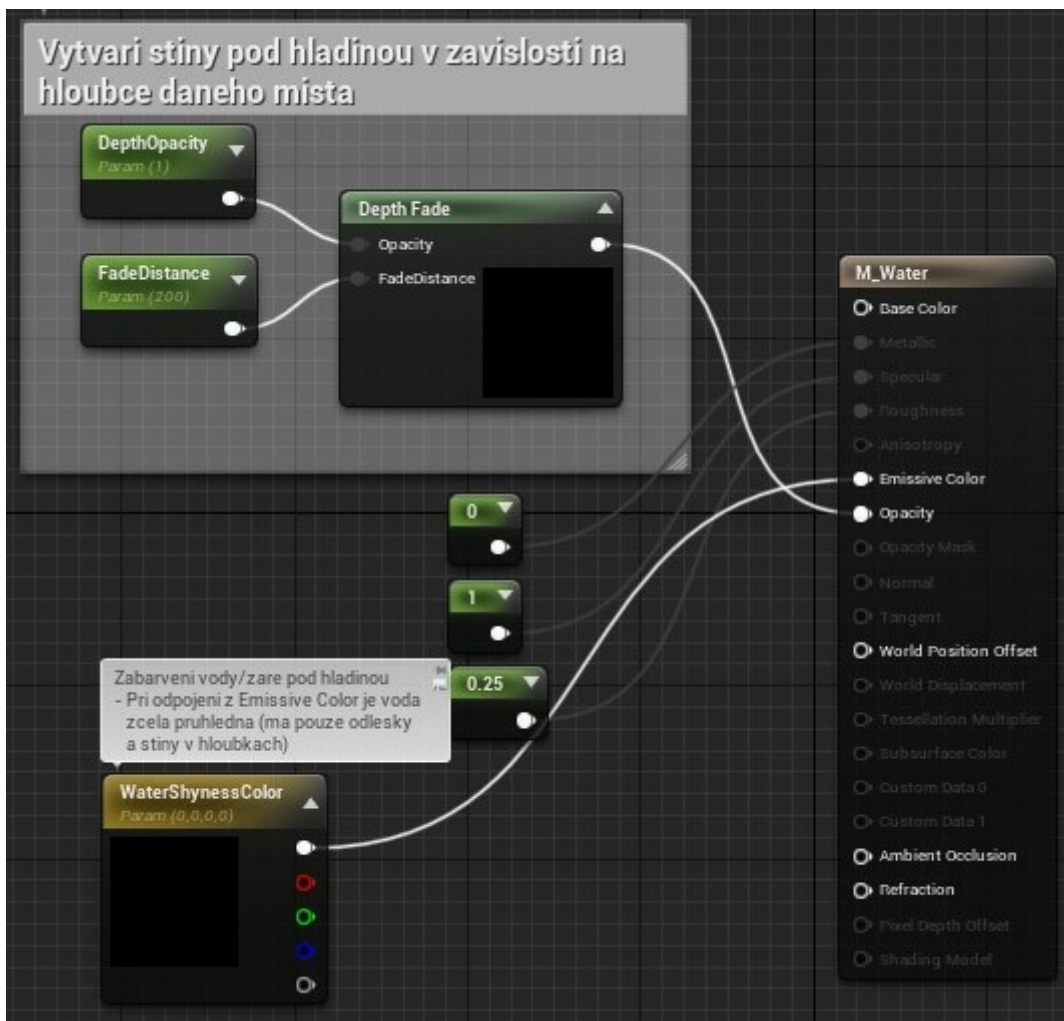
5.1.3 Vodní plochy

MF byly využity také u všech vodních ploch ve scéně. Výchozí řešení představoval neprůhledný materiál s pokročilou animací textury, kterou Oculus Quest neumí správně zobrazit, a tak se na hladině vody objevovaly čtverce v různých odstínech modré či zelené.

Byl vytvořen nový materiál vody, který obsahuje následující nody (Obrázek 22.):

1. 3x *Constant1Vector* pro nastavení parametru *Metallic* na 0, *Specular* na 1 a *Roughness* na 0,25.
2. 1x *Constant4Vector* pro možnost zbarvení vody do libovolného odstínu, aby nebyla čirá. Napojen do výstupu materiálu pro *EmissiveColor*.

3. 2x *ConstantVector* převedený na parametr pro možnost úprav v MI⁴⁴. Představují hloubku a průhlednost stínů pod hladinou vody.
4. 1x *DepthFade*, který přebírá hodnoty parametrů pro hloubku a průhlednost stínů ve vodě. Jeho výstup je napojen přímo do průhlednosti (*Opacity*) celého materiálu.



Obrázek 22. Nastavení nodů v materiálu vody

Zabarvení vody bylo řešeno z důvodu nefunkčních odrazů na hladině pro Oculus Quest. Čirá, zcela průhledná voda sice vytvořila stíny v hloubce, ale koryto řeky i kašna působily dojmem, že voda v nich vyschla.

Pro úpravu zabarvení a stínování vody je využito dvou MI z hlavního materiálu vody. Obě materiálové instance mají upravenou hodnotu parametru průhlednosti vody na 0,6 a hloubky stínů na 100. První MI byla zabarvena do tmavě zelené a následně byla využita

⁴⁴ MI – Material instance (pokročilé materiálové nastavení v UE, které dědí od rodičovského materiálu a může upravit jeho parametry, aniž by se změnil sám rodič).

pro rybník a potok, které se nacházejí v zámeckém parku, kdežto druhá MI dostala nádech modré barvy a byla použita na řeku Dřevnici protékající Zlínem a také na vodu v kašně na náměstí.

5.2 Flóra

Model obsahoval poměrně velké množství stromů umístěných po celé scéně, jenže se jednalo o objekty z knihovny Megascans, [17] která je sice velmi propracovaná, ale také často využívá funkce, které jsou pro mobilní procesor výkonově příliš náročné nebo dokonce ani nejsou podporovány. Stromy se tak často zobrazovaly pouze šedou siluetou. Jediným plně funkčním stromem byla bříza, ale po konzultaci s ředitelem Státního okresního archivu Zlín, Mgr. Davidem Valůškem, byla z modelu odstraněna i ta, jelikož se jedná o plevelnaté dřevo, které se ve městech běžně nevyskytovalo.

Scéna obsahovala také různé druhy travin a květin. Aplikace pro VR je zobrazila, nefungovala pouze jejich animace, ale na samostatný headset byly příliš náročné. Z vizualizace byla tedy kompletně odstraněna všechna flóra.

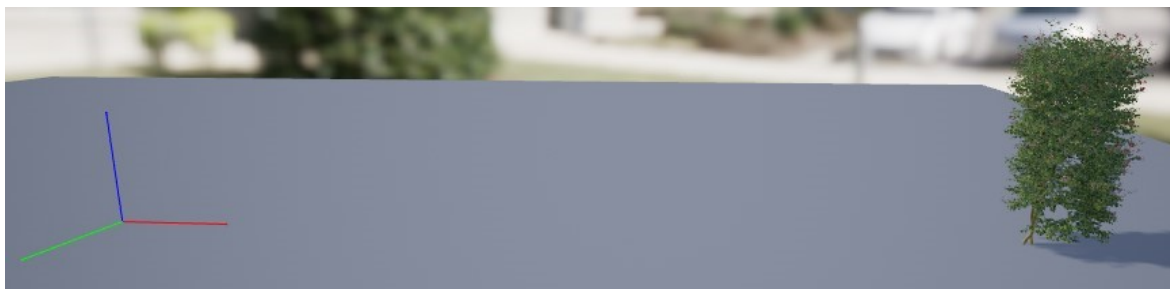
K přidání nových stromů bylo využito 3D modelů vytvořených v programu Blender, které jsou dostupné zdarma v balíčku několika stromů, keřů a travin již připravených k importu do dalšího programu. Jedná se o ukázkový set velmi realistického provedení flóry, která nemá vyřešenu pouze animaci pohybu ve větru. [36]

Jelikož balíček obsahuje několik různých druhů flóry, byly vybrány stromy a keře, které spadají do podnebí mírného pásu. Následně byly zvolené objekty do UE importovány pomocí souborů ve formátu FBX⁴⁵ spolu s příslušnými texturami. Každý objekt si automaticky vytvořil materiály, kterým bylo nutno ručně přiřadit textury určující barvu, lesk a normálovou mapu.

Všechny objekty stromů a keřů byly vloženy do *Foliage* – nástroje pro snadné umístění flóry v modelu. Avšak ne všechny objekty bylo možné ihned rozmístit ve scéně, protože bod vložení se u většiny stromů i keřů nacházel mimo objekt (Obrázek 23.), takže při automatickém generování flóry se různé druhy stromů nepromísily mezi sebou. Oprava byla provedena v detailním nastavení konkrétního 3D modelu, které je dostupné dvojitým kliknutím myši na vybraný objekt v *Content Browser*. Zde se v panelu (nahore) vybrala

⁴⁵ FBX – Filmbox (formát souboru používaný pro export a import mezi grafickými programy, např. z Blenderu do UE).

volba *Show Pivot* pro zobrazení bodu vložení a následně se u nastavení *Details – Import Settings – Transform – Import Translation* upravily souřadnice pro osy *X*, *Y* a *Z*. Potvrzení těchto změn se provedlo stisknutím tlačítka *Reimport Base Mesh* v panelu (nahore). Každý strom i keř měl bod vložení umístěný jinde, a tak bylo nutné přizpůsobit nastavení individuálně pro každý objekt.



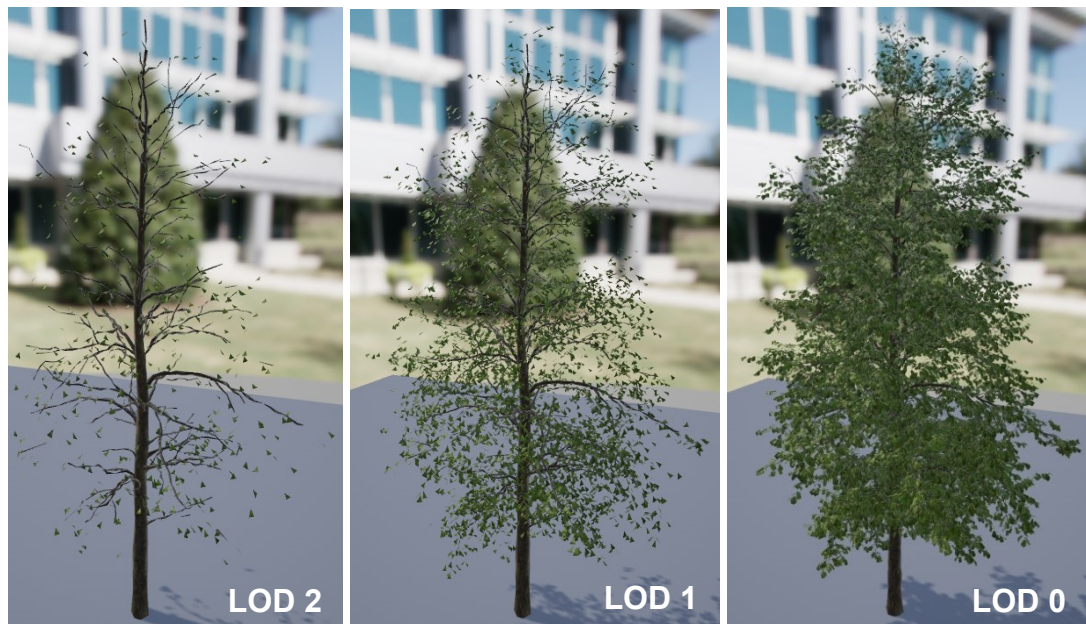
Obrázek 23. Bod vložení posunutý mimo objekt

Celkové řešení flóry bylo velmi detailní a Oculus Quest jej sice zobrazil, ale aby bylo možné do scény umístit více stromů a aplikace přitom stále běžela plynule, musela být snížena úroveň detailů. Nastavení proběhlo opět v detailních úpravách vybraného 3D modelu. Jelikož stromy a keře s vysokým LOD by headset příliš zatěžovaly, byly jim nastaveny celkem 3 úrovně detailů (Obrázek 24.) v *LOD Settings – Number of LODs*. UE automaticky vygeneroval nové úrovně detailů, ale bylo nutné jim ručně přiřadit procentuální snížení detailů a v jaké vzdálenosti od záběru kamery se úroveň detailů bude měnit. LOD 0 představoval nejvyšší úroveň detailů a LOD 2 pak nejnižší (Tabulka 6.).

Tabulka 6. Nastavení LOD pro flóru umístěnou v modelu Zlína

	Stromy		Keře	
Název úrovně	Detaily [%]	Vzdálenost	Detaily [%]	Vzdálenost
LOD 0	22	1,0	22	1,0
LOD 1	11	0,85	11	0,4
LOD 2	2	0,6	2	0,1

Jelikož vzdálenost je dána velikostí objektu na záběru kamery, bylo nutné LOD pro keře nastavit jinak než u stromů, protože se jedná o menší objekty. Při použití stejných hodnot pro keře i stromy se změna úrovně detailů u křovin za běhu aplikace téměř neprojevila – pokud uživatel stál přímo vedle keře, viděl pouze LOD 1, nikoliv LOD 0, a jestliže udělal jen jeden krok pryč od keře, ihned se zobrazilo LOD 2.



Obrázek 24. Různé úrovně detailů stromu

V modelu byla flóra umístěna pouze do centra města a jeho okolí, aby byla aplikace méně náročná. Nebyly doplněny zpět lesy, které se dříve nacházely na okraji modelu, protože se uživatel do těchto míst ani nemůže podívat kvůli hranicím pro teleportaci. Dle dobových fotografií byly navíc doplněny stromy rozmístěné okolo kašny na náměstí. [19]

5.3 Materiálové řešení budov

Mezi nedostatky původní aplikace patřilo materiálové řešení budov, které do období na konci 19. století nepatřilo nebo neodpovídalo historickým fotografiím. Většina těchto materiálů byla proto upravena nahrazením původních textur za nové či vhodnější, které se v modelu již nacházely. Z modelu byly kompletně odstraněny textury cihel i kovových střech a naopak byly přidány nové taškové střechy a omítnuté fasády. Textury, o které byl model rozšířen, jsou volně dostupné ke stažení na internetu. [28] [29]

Materiály byly řešeny také ve více barevných provedeních, aby budovy nebyly pouze v odstínech bílé a šedé jako v původní počítačové aplikaci. Do materiálů pro fasády nebo střechy byl tak přidán nod *Multiply* (příp. *Add*), který do parametru *A* přebírá požadovanou barvu nastavenou přes *Constant3Vector*, do parametru *B* pak samotnou texturu a jeho výstup je napojen do *Base Color*.

Omítky na budovách byly řešeny v pastelových barvách, jaké se v tehdejší době na fasády běžně používaly (např. bílá, žlutá, béžová, šedá apod.). Taškové střechy byly nastaveny do oranžových a červených odstínů.

5.4 Nové detaily

Scéna sice obsahovala celé město Zlín z konce 19. století včetně okolní krajiny, ale stále jí scházely detailní prvky, díky kterým by model působil živěji. Tvorba detailů vycházela z dochovaných fotografií města. [16] [19] [31]

Celý model byl vizuálně zmenšen, protože na uživatele VR působil dojmem, že je jeho okolí oproti němu nepřírozeně obrovské. Nastavení bylo změněno ve *World Settings*, kde byla parametru *World to Meters* přiřazena hodnota 150. Okolí se tak začalo zobrazovat menší. Avšak vyskytl se vedlejší efekt – kromě modelu jsou v aplikaci menší také oba ovladače, a proto působí, že jsou od uživatele ve větší vzdálenosti než ve skutečnosti.

5.4.1 Obchody

Okolo náměstí se již na konci 19. století nacházelo mnoho obchůdků, které byly označeny viditelným nápisem či plaketou. Pro přidání nápisů na budovy bylo v UE v panelu (vlevo nahoře) *Edit – Plugins* povoleno rozšíření *Text 3D*. V okně *Place Actors* se následně objevil objekt *Text 3D*, který se vložil do scény.

Každému nápisu byly nastaveny tyto atributy:

- *Text* – obsahoval název/nápis uvedený na obchodu
- *Extrude* – hloubka objektu: vyšší hodnoty pro nápisy, nižší pro plakety
- *Bevel Type* – typ prostorové úpravy a zaoblení písma: *Linear* pro samostatné nápisy a některé plakety, *Engraved* pro zbylé plakety
- *Bevel* – síla zaoblení: vyšší hodnoty pro typ *Linear*, nižší pro *Engraved*
- *Kerning* – rozestup mezi jednotlivými písmeny v textu

Jelikož rozšíření *Text 3D* bylo dostupné v beta verzi, mohlo způsobit při sestavení aplikace problémy. Oculus Quest jej navíc nepodporuje, proto byly veškeré texty převedeny na *Static Mesh* objekty, které byly následně uloženy do projektu.

Změna typu objektu by vymazala nastavení transformace objektu, a tak byla celková velikost textu a výška písma řešena až po převedení na *Static Mesh*. Toto nastavení bylo provedeno úpravou hodnot *X*, *Y* a *Z* u atributu *Scale*.

Každému nápisu byl přiřazen materiál dřeva, které pro provedení reklamních nápisů do tohoto historického období patří. K jeho tvorbě bylo využito textur, které se v projektu již nacházely, pouze dostaly úpravu barevného řešení přes nod *Multiply* propo-

jující vzorek textury a *Constant3Vector* určující konkrétní barvu. Samostatné nápisy byly řešeny v odstínu dubového dřeva, nápisy na plaketách pak jako borovice.

Pro tvorbu plaket pod nápisy byl využit objekt typu *Cube*, který byl zúžen na tloušťku 0,1. Plaketa tak není jen dvourozměrná, ale při bližším pohledu u budovy je vidět, že je prostorové nejen písmo, ale i jeho podklad (Obrázek 25.). Materiálové řešení plaket bylo stejně jako u nápisů vytvořeno z textury dřeva, která se v modelu nacházela již před převodem na aplikaci pro VR. Textura byla pomocí nodu *Constant3Vector* a *Multiply* obarvena do odstínu ořechového dřeva.

Obsah textu i rozmístění nápisů na budovách byly provedeny dle dobových fotografií náměstí. [16] [19] [31] Model obsahuje celkem 15 různých textů, které dohromady tvoří názvy a nápisy pro 5 obchodů, hostinec a kavárnu.



Obrázek 25. Detail prostorového efektu nápisu na plaketě

5.4.2 Pouliční osvětlení

Projekt byl rozšířen o modely lamp pouličního osvětlení, které byly vytvořeny v programu Blender využitím jednoduchých nástrojů jako *Extrude* a *Insert Faces*, ale také úpravou velikosti a geometrie objektu. Rozdělení objektu na více materiálů bylo nastaveno hned po vymodelování, ale konkrétní nastavení barev a textur bylo řešeno až v UE.

V Blenderu byly vymodelovány 2 modely: nástěnná lampa a klasické pouliční osvětlení umístěné na stojanu. Tvar nástěnné lampy vycházel z dobových fotografií, lampa na stojanu byla částečně upravena improvizací, jelikož na fotografiích byla viditelná pouze horní část lampy. [16] [19] [31] Velikost lamp byla upravena v poměru s měřítkem, ve kterém jsou řešeny budovy města.

Oba modely byly z Blenderu exportovány ve formátu FBX a následně importovány do UE, kde byl také automaticky vytvořen nový materiál dle rozdělení, které bylo objektům přiřazeno již v Blenderu.

Kovové části na lampách dostaly přiřazenou texturu, která je dostupná zdarma ke stažení a použití v uměle vytvořených 3D scénách. [28] Barevné řešení skla bylo vytvořeno obdobně jako rodičovský materiál vody, pouze místo výchozí černé barvy využíval žlutou *EmissiveColor*. Zvýšením hodnoty *Opacity* bylo navíc dosaženo efektu, že lampy působí, jako by skutečně svítily, přestože přidání dalších bodových světel do scény by pro Oculus Quest bylo výkonově příliš náročné.

Nástěnné lampy byly rozmístěny na budovy okolo náměstí s ohledem na dobové fotografie. [16] [19] [31] Pouliční osvětlení na stojanech bylo rozmístěno v ulicích poblíž centra města a také u měšťanské školy a kostela. Scéna obsahuje celkem 83 samostatně stojících lamp a 13 nástěnných světel.

6 VÝSLEDKY PRÁCE

Výsledná verze aplikace má nejen optimalizované nastavení a základní funkcionality pro VR, ale také multiplatformní řešení grafických detailů, na rozdíl od původního počítačového programu.

Uživatel si může historické město ve virtuální realitě projít v centru a jeho nejbližším okolí, prohlédnout si nejen nové či upravené objekty umístěné ve scéně, ale také nové řešení materiálů a oblohy, která v pravidelném cyklu střídá denní procházku s noční scénérií (Obrázek 26.). Aplikace reaguje nejen na pohyby hlavou, ale i celého těla a ovladačů. K posunu skrz model je možné použít teleportaci.



Obrázek 26. Aplikace při finálním sestavení na Oculus Quest

Příliš rychlé pohyby nestíhá aplikace zaznamenávat a obraz se začne trhat. To je způsobeno nejen obsáhlostí modelu, ale také tím, že Oculus Quest je samostatný a již starší typ VR headsetu, který není tolik výkonný jako novější modely.

Využívané klávesové zkratky a nastavení aplikace je řešeno pro Oculus Quest, který byl používán k jejímu testování. Avšak to umožnilo využití funkcí specifických právě pro VR headsety značky Oculus, takže je aplikace rozšířena např. o tzv. tunelové vidění, které zajišťuje ztmavení a rozmazávání obrazu v krajích vykreslovaného pohledu. Tím je dosaženo většího komfortu uživatele.

3D model města je živější a věrohodnější než v původní počítačové aplikaci (Obrázek 27.) i díky úpravám založeným na základě dobových fotografií. [16] [19] [31]



Obrázek 27. Porovnání počítačové aplikace (nahore) a VR řešení (dole)

Aplikaci lze najít na Oculus Questu v *Aplikace – Neznámé zdroje*, kde se ukládá pod názvem *Zlin*. Jakmile ji uživatel spustí, zobrazí se načítání v podobě 3 animovaných teček, které se postupně rozsvěčují a opět zhasínají. Načítání zabere přibližně 30 sekund.

Po spuštění se v aplikaci nezobrazuje žádné hlavní menu, uživatel se objeví přímo ve vizualizaci Zlína. Byla zde zachována možnost náhodného startovního bodu z původní počítačové verze, program tak náhodně vybere ze tří možností:

- Na cestě mezi kostelem a školou.
- V zámeckém parku.
- U kašny na náměstí.

Aplikace je ovládána skutečnými pohyby uživatele, na které program reaguje změnou obrazu. Aby se uživatel nemusel při prohlížení vizualizace Zlína otáčet celým tělem, jsou na levém ovladači nastaveny klávesové zkratky. Posunutím joysticku doleva či doprava lze otáčet pohled kamery ručně.

K prohlídce města může uživatel využívat teleportace, která se spouští stiskem tlačítka *A* či posunem joysticku dopředu – obě tyto klávesové zkratky jsou dostupné na pravém ovladači Oculus Questu. Použitím těchto klávesových zkratk se ve scéně zobrazí duhová čára vedoucí k modrému kolečku určující bod, na který se uživatel teleportuje. Pohybem pravé ruky v prostoru lze upravit umístění, na které se chce uživatel přesunout. Pro aktivaci teleportace je nutné opět uvolnit tlačítko *A* nebo vrátit joystick do původní polohy.

Aplikaci lze kdykoliv restartovat nebo vypnout stisknutím tlačítka *Menu* na levém ovladači. Nad levým ovladačem se zobrazí výběr ze dvou možností (Obrázek 28.):

- Restart – restartuje aplikaci
- Real life – vypne aplikaci

K pohybu v menu pro restart nebo vypnutí programu je využíváno levého joysticku. Aby uživatel potvrdil svůj výběr, musí stisknout tzv. *Trigger* tlačítko, které se nachází na přední části levého ovladače. Výběr z možností zobrazený nad levým ovladačem lze vypnout dalším stisknutím tlačítka *Menu*.



Obrázek 28. Menu pro restart nebo vypnutí aplikace

Finální aplikace včetně všech souborů, které jsou vyžadovány pro spuštění na Oculus Questu, zabírá celkem 1,12 GB místa na disku. Výsledná scéna obsahuje:

- 155 objektů
- 225.934.548 trianglů
- 4.144 hardwarových instancí

Nejnáročnějším objektem ve scéně je krajina *Landscape*, která je kvůli řešení výškového profilu a prolínání různých textur ve vrstvách velmi náročná na výkon. Přestože má v projektu vytvořenou pouze jednu instanci, vyžaduje celkově 814,8 MB místa na disku. Mezi další objekty, jež navyšují počet trianglů ve scéně, patří stromy a keře. V projektu se jich nachází celkem 1.391.

ZÁVĚR

Tato bakalářská práce měla za cíl předělat počítačovou aplikaci s vizualizací Zlína z konce 19. století, [17] která vznikla na základě prací z předchozích let, jež se zabývaly tvorbou 3D modelu, [4] [5] [6] [12] na funkční program pro virtuální realitu. Převod aplikace na VR s sebou přinesl mnoho problémů jak s nefunkčními grafickými detaily řešenými pouze pro počítače, tak s požadavky na výkon, které byly pro Oculus Quest příliš vysoké.

V teoretické části byly popsány použité programy: Blender pro modelování 3D objektů a Unreal Engine pro tvorbu celkové scény a výsledné aplikace. Poté byla rozebrána virtuální realita a její charakteristika.

Praktická část práce se zabývala výchozí aplikací a modelem, včetně nedostatků, z nichž některé byly v rámci této práce opraveny. Následně byla popsána tvorba programu pro virtuální realitu se základní funkcionalitou pro interakci uživatele s okolním prostředím. V další kapitole byly zmíněny veškeré změny, které byly provedeny ve scéně i modelu, aby bylo dosaženo co nejlepšího poměru mezi grafickými detaily a plynulostí aplikace. Nakonec byla rozebrána výsledná aplikace – její funkcionalita, grafické detaily, omezení i nedostatky, včetně porovnání s původní verzí pro počítače.

Virtuální realita byla řešena pro headset Oculus Quest, který byl zapůjčen pro možnost testování funkčnosti programu. V budoucnu by tak bylo vhodné ji rozšířit i na další typy HMD. Jelikož byly grafické detaily řešeny dle omezení, které mají aplikace určené pro mobilní platformu, dala by se aplikace časem udělat dokonce multiplatformní.

Jako další rozšíření by bylo vhodné přidat mapu města s vyznačením významných míst (např. kostel, zámek, náměstí) a také aktuální polohy uživatele, aby se v modelu dalo lépe orientovat.

Aplikace je využitelná ke vzdělávání – ať už historického, architektonického, nebo urbanistického. Dále by ji bylo možné nabídnout městu Zlín a také Státnímu okresnímu archivu Zlín, jelikož představuje historickou podobu města s možností jeho prohlídky, a tak by pomáhala nejen historikům, ale také by si ji mohla prohlížet široká veřejnost, aby se o minulosti města Zlína něco dozvěděla.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] BARNARD, Dom. History of VR - Timeline of Events and Tech Development. *VirtualSpeech* - *virtualspeech.com* [online]. August 06, 2019 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
- [2] BARNARD, Dom. The Complete Guide To Virtual Reality. *VirtualSpeech* - *virtualspeech.com* [online]. March 19, 2021 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/complete-guide-to-virtual-reality#what-is-vr>
- [3] BARNARD, Dom. Virtual Reality (VR) Definition. *VirtualSpeech* - *virtualspeech.com* [online]. March 29, 2021 [cit. 2022-01-21]. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/vr-definition>
- [4] BRÁZDILOVÁ, Michaela. *Inovace 3D modelu Zlína z druhé poloviny 19. století*. Zlín, 2014. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Pavel Pokorný, PhD.
- [5] DOČKALOVÁ, Pavla. *Interaktivní vizualizace Zlína z konce 19. století*. Zlín, 2017. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Pavel Pokorný, PhD.
- [6] DORAZÍNOVÁ, Iva. *3D vizualizace centra Zlína na přelomu 19. a 20. století*. Zlín, 2012. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Pavel Pokorný, PhD.
- [7] DRAKE, Jeff. 20 Great Games That Use The Unreal 4 Game Engine. *The Gamer* - *thegamer.com* [online]. Jun 25, 2021 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.thegamer.com/great-games-use-unreal-4-game-engine/>
- [8] FREY, Shawn. Blender 3.0: The Most Important Changes. *All3DP* - *all3dp.com* [online]. Dec 11, 2021 [cit. 2021-12-31]. Dostupné z: <https://all3dp.com/1/blender-3-0-the-most-important-changes/>
- [9] GRAHAM, Peter. All the Specifications for Oculus Quest 2. *GMW3* - *gmw3.com* [online]. September 16, 2020 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.gmw3.com/2020/09/all-the-specifications-for-oculus-quest-2/>
- [10] GROVE, Ricky. Focus: Unreal Engine - A Brief History of Unreal. *Renderosity Magazine* - *magazine.renderosity.com* [online]. Jul 23, 2019 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://magazine.renderosity.com/article/5330/focus-unreal-engine-a-brief-history-of-unreal>

- [11] HEANEY, David. So Just How Powerful Is Oculus Quest 2, Really? *UploadVR - uploadvr.com* [online]. October 23, 2020 [cit. 2022-03-26]. Dostupné z: <https://uploadvr.com/oculus-quest-2-benchmarks/>
- [12] HUSÁK, Martin. *Inovace modelu Zlína na konci 19. století*. Zlín, 2016. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Pavel Pokorný, PhD.
- [13] LANG, Ben. HTC Announces Vive Focus 3 Specs, Price and Release Date. *Road to VR - roadtovr.com* [online]. May 11, 2021 [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.roadtovr.com/htc-vive-focus-3-specs-price-release-date-announcement/>
- [14] LOEFFLER, John. The History and Science of Virtual Reality Headsets. *Interesting Engineering - interestingengineering.com* [online]. Feb 28, 2019 [cit. 2022-01-30]. Dostupné z: <https://interestingengineering.com/the-history-and-science-of-virtual-reality-headsets>
- [15] MCCAFFREY, Mitch. *Unreal engine VR cookbook: Developing Virtual Reality with UE4*. United States: Pearson Education, 2017. ISBN 978-0-13-464917-7.
- [16] NEČASOVÁ, Kamila a David VALŮŠEK. *Tomáš Garrigue Masaryk a Zlín*. Zlín: Statutární město Zlín, odbor kultury a památkové péče, 2018. ISBN 978-80-87766-14-9
- [17] NGUYEN, Nhu Trung. *Vizualizace Zlína z konce 19. století v Unreal Engine*. Zlín, 2021. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Fakulta aplikované informatiky. Vedoucí práce Ing. Pavel Pokorný, PhD.
- [18] NISHINO, Hideaki. PlayStation VR2 and PlayStation VR2 Sense controller: the next generation of VR gaming on PS5. *PlayStation.Blog - blog.playstation.com* [online]. January 4, 2022 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://blog.playstation.com/2022/01/04/playstation-vr2-and-playstation-vr2-sense-controller-the-next-generation-of-vr-gaming-on-ps5/>
- [19] NOVÁČEK, Stanislav a Zdeněk POKLUDA. *Zlín ve fotografii: (1890-1950)*. Zlín: Esprint Zlín, 2008. ISBN 978-80-254-3144-3.
- [20] PÁNEK, Jan. Unreal Engine a postupný vývoj. *Svět hardware - svethardware.cz* [online]. 12. 11. 2015 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/unreal-engine-a-postupny-vyvoj/41366>

- [21] PLECHÁČEK, David. Milénium: Unreal (1998). *Hrej - hrej.cz* [online]. 10. 8. 2017 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://hrej.cz/article/milenium-unreal-1998>
- [22] RATUSHNYI, Yevhenii. Why You Should Give Up on PC VR and Focus on Standalone VR Apps. *Visartech - visartech.com* [online]. [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.visartech.com/blog/advantages-of-standalone-vr-over-pc-vr/>
- [23] ŠLIK, Jáchym. VR headset pro Xbox Series X/S? Microsoft prý nic takového nechystá. *Svět hardware - svethardware.cz* [online]. 17. 3. 2021 [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://www.svethardware.cz/vr-headset-pro-xbox-series-x-s-microsoft-pry-nic-takoveho-nechysta/54540>
- [24] WILLINGS, Adrian. Oculus Quest 2 vs Oculus Quest: What's the difference between these VR headsets? *Pocket-lint - pocket-lint.com* [online]. 24 March 2021 [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.pocket-lint.com/ar-vr/buyers-guides/oculus-rift/153716-oculus-quest-2-vs-oculus-quest-whats-the-difference>
- [25] ACN SIGGRAPH. *ACN SIGGRAPH - siggraph.org* [online]. ACN SIGGRAPH [cit. 2021-12-27]. Dostupné z: <https://www.siggraph.org/>
- [26] ARK: Survival Evolved. Interface In Game - *interfaceingame.com* [online]. Copyright © [cit. 2022-02-25]. Dostupné z: <https://interfaceingame.com/games/ark-survival-evolved/>
- [27] Blender 3.0 Reference Manual - Blender Manual. *Blender Documentation - blender.org* [online]. Copyright © [cit. 2021-12-4]. Dostupné z: <https://docs.blender.org/manual/en/latest/index.html>
- [28] Categories on ambientCG. *AmbientCG - ambientcg.com* [online]. Lennart Demes [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://ambientcg.com/categories>
- [29] Delicate Gray Plaster Texture. *Free Stock Textures - freestocktextures.com* [online]. Free Stock Textures [cit. 2022-05-11]. Dostupné z: <https://freestocktextures.com/texture/delicate-gray-plaster,1301.html>
- [30] Historie studia Epic Games. *Konzolista - konzolista.cz* [online]. 27. 7. 2010 [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://konzolista.tiscali.cz/articles/onearticle?link=historie-studia-epic-games-55>
- [31] Historie Zlína. *Starý Zlín - staryzlin.cz* [online]. Copyright © [cit. 2021-9-28]. Dostupné z: <https://www.staryzlin.cz/index.php>

- [32] Home of the Blender project. *Blender - blender.org* [online]. Copyright © [cit. 2021-12-04]. Dostupné z: <https://www.blender.org/>
- [33] Introducing the new standard in VR: HP Reverb G2. *Microsoft - microsoft.com* [online]. Microsoft [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://www.microsoft.com/en-us/mixed-reality/windows-mixed-reality>
- [34] Oculus Documentation | Oculus Developers. *Oculus Documentation - oculus.com* [online]. Facebook Technologies [cit. 2021-11-21]. Dostupné z: <https://developer.oculus.com/documentation/>
- [35] Oculus Quest 2. *Meta Quest - oculus.com* [online]. Meta Quest [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: https://www.oculus.com/quest-2/?locale=cs_CZ
- [36] Plant Models Vol 60. *Maxtree - maxtree.org* [online]. Maxtree [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://maxtree.org/product-category/free/>
- [37] PlayStation VR. *PlayStation - playstation.com* [online]. Sony Interactive Entertainment [cit. 2022-02-03]. Dostupné z: <https://www.playstation.com/cs-cz/ps-vr/>
- [38] Samsung Gear VR with Controller. *The Official Samsung Galaxy Site - samsung.com* [online]. Samsung Electronics [cit. 2022-02-01]. Dostupné z: <https://www.samsung.com/global/galaxy/gear-vr/>
- [39] Splash Screen. *Techopedia - techopedia.com* [online]. November 11, 2016 [cit. 2022-01-08]. Dostupné z: <https://www.techopedia.com/definition/9505/splash-screen>
- [40] The most important differences between the Oculus Quest 1 and 2. *VR Expert - vr-expert.com* [online]. [cit. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://vr-expert.com/news/the-most-important-differences-between-the-oculus-quest-1-and-2/>
- [41] The most powerful real-time 3D creation tool. *Unreal Engine - unrealengine.com* [online]. Epic Games [cit. 2022-01-18]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/>
- [42] UNEASY Games: GOOD SKY. *UE Marketplace - unrealengine.com* [online]. Epic Games, Mar 4, 2018 [cit. 2022-05-10]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/marketplace/en-US/product/good-sky>

- [43] Unreal Engine 4 Documentation. *Unreal Engine Documentation - unrealengine.com* [online]. Epic Games [cit. 2021-9-27]. Dostupné z: <https://docs.unrealengine.com/4.27/en-US/>
- [44] Virtuální realita – historie a současnost. *VR Education - vreducation.cz* [online]. VR Education [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://vreducation.cz/virtualni-realita-historie-a-soucasnost/>
- [45] VIVE Focus 3. *Vive - vive.com* [online]. HTC Corporation [cit. 2022-02-05]. Dostupné z: <https://www.vive.com/us/product/vive-focus3/overview/>
- [46] What is mixed reality? *Microsoft - microsoft.com* [online]. 12/13/2021 [cit. 2022-02-04]. Dostupné z: <https://docs.microsoft.com/en-us/windows/mixed-reality/discover/mixed-reality>
- [47] What is virtual reality. *Strate School Of Design - strate.education* [online]. Strate School Of Design [cit. 2022-01-24]. Dostupné z: <https://www.strate.education/gallery/news/vr-definition>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SW	Software (sada instrukcí, dat či programů pro obsluhu počítače).
3D	Trojrozměrný, trojdimenzionální (prostor, který lze popsat pomocí tří rozměrů).
API	Application Programming Interface (SW zprostředkovatel pro komunikaci mezi dvěma aplikacemi).
NaN	Not a Number (dceřiná firma společnosti NeoGeo zabývající se vývojem programu Blender).
GNU	GNU's Not Unix! (operační systém podobný Unixu).
GPL	GNU General Public Licence (SW licence garantující uživatelům možnost SW zdarma používat, sdílet i modifikovat).
2D	Dvourozměrný, dvoudimenzionální (prostor, který lze popsat pomocí dvou rozměrů).
GPU	Graphics Processing Unit (grafický procesor pro výpočty, změnu obsahu videopaměti a její zobrazení na monitoru).
UE	Unreal Engine (vývojové prostředí pro tvorbu 3D modelů, her, animací,...).
FPS	First-person shooter (herní žánr, střílečka z pohledu první osoby).
LOD	Level of Detail (úroveň zobrazených detailů modelů umístěných ve scéně v závislosti na jejich vzdálenosti od pohledu kamery).
RVT	Runtime Virtual Textures (vytváří texturu modelu na požadavek s využitím GPU v reálném čase).
SVT	Streaming Virtual Texture (alternativní přenos textur modelu z disku bez nutnosti vytížení GPU).
VR	Virtuální realita (umělé prostředí vytvářející iluzi skutečného světa).
HMD	Head-mounted display (zařízení, které se nasadí na hlavu a obsahuje displej pro přenos obrazu).
AR	Augmented/artificial reality (rozšířená realita, přidává uměle vytvořené 3D modely do skutečného světa pomocí zařízení, které je přenáší a zobrazuje).
MIT	Massachusetts Institute of Technology (výzkumný ústav a univerzita v USA).

LEEP	Large Expanse Extra Perspective (širokoúhlé zobrazení pomocí stereoskopu).
SDK	Software development kit (sada vývojových nástrojů pro tvorbu aplikací).
NASA	National Aeronautics and Space Administration (americká vládní agentura zabývající se vesmírem, letectvím a vývojem technologií pro objevování vesmíru).
PC	Personal computer (zařízení/výpočetní technika, která zpracovává data pomocí předem vytvořeného programu).
FPS	Frames per second (frekvence snímků za sekundu, udává rychlost vykreslování obrazu ve videu, hře nebo simulaci).
BOZP	Bezpečnost a ochrana zdraví při práci (mezivědní obor zabývající se ochranou zdraví při práci).
PO	Požární ochrana (souhrn opatření pro zamezení vzniku požáru a minimalizaci jeho ničivých důsledků).
VFX	Visual effects (vizuální efekty obrazu s využitím triků, filtrů a korekcí).
UI	User Interface (uživatelské rozhraní, tvoří prostředníka mezi komunikací uživatele a programu).
NPC	Non-playable character (postava ve hře, kterou neovládá člověk, ale počítač).
LED	Elektroluminiscenční dioda (dioda, která emituje světlo, případně infračervené nebo ultrafialové záření).
OLED	Organic light-emitting diode (technologie, která využívá elektroluminiscenci procházející organickým materiálem).
LCD	Liquid Crystal Display (displej z tekutých krystalů, jedná se o technologii používanou pro výrobu zobrazovacích zařízení, např. monitorů).
SoC	System-on-chip (integrovaný obvod zahrnující všechny součásti počítače nebo elektronického systému do jednoho čipu).
RAM	Random Access Memory (operační paměť uchovávající data, která jsou právě zpracovávána).
TFLOP	Tera Floating-point Operations Per Second (měřítko výpočetního výkonu).

UV map	UV mapping (proces, při kterém dochází k promítání 2D obrazu na povrch 3D objektu pro mapování textury).
OS	Operační systém (software, který umožňuje komunikaci a obsluhu uživatele a konkrétního elektronického zařízení, např. počítač, mobilní telefon atd.).
JDK	Java Development Kit (soubor základních nástrojů pro vývoj aplikací v programovacím jazyce Java).
NDK	Native Development Kit (soubor nástrojů umožňujících využití programovacích jazyků C a C++ pro Android aplikace).
MSAA	Multisample anti-aliasing (technika využívaná v počítačové grafice, která slouží k vyhlazení rozostřených hran objektů).
HDR	High Dynamic Range (technologie umožňující zobrazení velmi vysokých detailů i na světlých a tmavých místech).
ADB	Android Debug Bridge (nástroj pro příkazový řádek umožňující komunikaci počítače se zařízením Android).
APK	Android Application Package (formát souboru balíčku pro OS Android).
FFR	Fixed Foveated Rendering (technologie využívaná VR headsety Oculus, která upravuje rozlišení obrazu tak, aby byl GPU vytížen co nejefektivněji).
MF	Material function (pokročilé materiálové nastavení v programu Unreal Engine, které umožňuje např. prolínání několika textur tak, aby se příliš neopakovaly).
BP	Blueprint (systém vizuální tvorby skriptů v UE).
MI	Material instance (pokročilé materiálové nastavení v UE, které dědí od rodičovského materiálu a může upravit jeho parametry, aniž by se změnil sám rodič).
FBX	Filmbox (formát souboru používaný pro export a import mezi grafickými programy, např. z Blenderu do UE).

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Splash screen již dříve spuštěného programu Blender 3.0.....	13
Obrázek 2. Výchozí uživatelské prostředí aplikace Blender 3.0 s Dark Theme	14
Obrázek 3. Výchozí uživatelské prostředí aplikace Unreal Engine 4.27.....	20
Obrázek 4. Podokna pro Level Editor dostupná v Unreal Engine 4.27.....	21
Obrázek 5. Uživatelské rozhraní hry ARK: Survival Evolved vytvořené v UE [26].....	24
Obrázek 6. První stereoskop vytvořený Charlesem Wheatstonem [1].....	25
Obrázek 7. Schéma konstrukce Telesphere Mask [14].....	26
Obrázek 8. Porovnání výkonu procesoru Oculus Quest 1 a Oculus Quest 2 [11].....	38
Obrázek 9. Ukázka výchozí počítačové aplikace	42
Obrázek 10. Zdeformovaná textura dveří	43
Obrázek 11. Průhledné dveře v důsledku opačně otočených normál	44
Obrázek 12. Porovnání geometrie hostince v modelu s dobovou fotografií [16].....	44
Obrázek 13. Kovová střecha na měšťanském domě.....	45
Obrázek 14. Nepřirozené výškové řešení cesty k náměstí.....	45
Obrázek 15. Aplikace po prvním sestavení na Oculus Quest.....	48
Obrázek 16. Původní (vlevo) a nové (vpravo) nastavení World Settings	49
Obrázek 17. Nastavení ovladačů pro Action Mappings	50
Obrázek 18. Nastavení ovladačů pro Axis Mappings.....	51
Obrázek 19. Pohled shora na model se zvýrazněním hranic pro teleportaci	53
Obrázek 20. Fáze denní doby na obloze	57
Obrázek 21. Povrch krajiny s Macro Variation maskou.....	59
Obrázek 22. Nastavení nodů v materiálu vody.....	60
Obrázek 23. Bod vložení posunutý mimo objekt	62
Obrázek 24. Různé úrovně detailů stromu.....	63
Obrázek 25. Detail prostorového efektu nápisu na plaketě	65
Obrázek 26. Aplikace při finálním sestavení na Oculus Quest	67
Obrázek 27. Porovnání počítačové aplikace (nahore) a VR řešení (dole).....	68
Obrázek 28. Menu pro restart nebo vypnutí aplikace.....	70

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Specifikace soupravy Samsung Gear VR [38]	33
Tabulka 2. Specifikace soupravy Sony PlayStation VR [37]	34
Tabulka 3. Specifikace soupravy HP Reverb G2 [33]	35
Tabulka 4. Porovnání HMD řady Oculus Quest [9] [11] [24] [35] [40]	37
Tabulka 5. Specifikace soupravy HTC Vive Focus 3 [13] [45]	39
Tabulka 6. Nastavení LOD pro flóru umístěnou v modelu Zlína	62

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P I: Obsah přiloženého DVD

Příloha P II: Jihovýchodní strana náměstí Míru

Příloha P III: Měšťanská škola a kostel sv. Filipa a Jakuba

Příloha P IV: Zámecký park z ptačí perspektivy

PŘÍLOHA P I: OBSAH PŘILOŽENÉHO DVD

Přiložené DVD obsahuje následující soubory a adresáře:

- Soubor **fulltext.pdf** obsahuje elektronickou verzi práce ve formátu PDF/A
- Adresář **Aplikace_OculusQuest** obsahuje aplikaci spustitelnou na headsetu Oculus Quest, včetně všech zdrojových souborů, které program pro jeho správnou funkčnost vyžaduje
- Adresář **ProjektoveSoubory.zip** obsahuje projektové soubory programu Unreal Engine, včetně všech 3D modelů a textur
- Soubor **VideoUkazka.mp4** obsahuje ukázkové video natočené v aplikaci spuštěné na VR headsetu Oculus Quest

PŘÍLOHA P II: JIHOVÝCHODNÍ STRANA NÁMĚSTÍ MÍRU



PŘÍLOHA P III: MĚŠŤANSKÁ ŠKOLA A KOSTEL SV. FILIPA A JAKUBA



PŘÍLOHA P IV: ZÁMECKÝ PARK Z PTAČÍ PERSPEKTIVY

