

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA EKONOMICKO-SPRÁVNÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Martin Novák

Univerzita Pardubice
Fakulta Ekonomicko-správní

Kamerový pohyb v 3D objektu

Bakalářská práce

2023

Martin Novák

Univerzita Pardubice
Fakulta ekonomicko-správní
Akademický rok: 2022/2023

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Martin Novák**
Osobní číslo: **E20080**
Studijní program: **B0688A050001 Aplikovaná informatika**
Specializace: **Multimédia ve firemní praxi**
Téma práce: **Kamerový pohyb v 3D objektu**
Zadávací katedra: **Ústav systémového inženýrství a informatiky**

Zásady pro vypracování

Cílem práce je tvorba 3D modelu školního kampusu s možností pohybu pomocí cest a kamer. Dílčím cílem je postup tvorby 3D modelů z různých zdrojů dat a jejich otexturování s následnými možnostmi pohybů v celém 3D modelu.

Osnova práce:

- **Teoretická část:**
 - 3D grafika
 - Využití 3D grafiky v počítačových hrách
- **Praktická část:**
 - Tvorba modelu
 - Vytvoření pohybu v objektu

Rozsah pracovní zprávy:
Rozsah grafických prací:
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

Design Basics: 3D (2013)
3D Modeling, Animation, and Rendering: An Illustrated Lexicon, Color Edition (lexicon) (2010)
Unity Game Development Cookbook: Essentials for Every Game (2019)
Making Videogames (popis průběhu tvorby) (2022)

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Jakub Jech**
Ústav systémového inženýrství a informatiky

Datum zadání bakalářské práce: **1. září 2022**
Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2023**

prof. Ing. Jan Stejskal, Ph.D. v.r.
děkan

L.S.

RNDr. Ing. Oldřich Horák, Ph.D. v.r.
vedoucí ústavu

V Pardubicích dne 1. září 2022

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem Kamerový pohyb v 3D objektu jsem vypracoval samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl jsem seznámen s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne

Martin Novák v.r.

PODĚKOVÁNÍ:

Tímto bych rád poděkoval svému vedoucímu práce, Ing. Jakubu Jechovi, za jeho odbornou pomoc, cenné rady a poskytnuté materiály, které mi pomohly při zpracování bakalářské práce.

ANOTACE

Práce je věnována problematice modelování a texturování 3D objektů a jejich následnému zpracování pro virtuální prohlídku na internetu. Hlavním bodem této práce je modelace 3D objektů a příprava pro jejich využití. Probírá využití ruční modelace a také využití fotogrammetrie pro tvorbu jednotlivých modelů.

KLÍČOVÁ SLOVA

3D grafika, fotogrammetrie, PBR materiály, textury, UV mapa, blender

TITLE

Camera motion in 3D objects

ANNOTATION

The work deals with the issue of modeling and texturing 3D objects and their use in creating virtual tours. Main point of this work is modeling of 3D objects and getting them ready for their subsequent use. It tackles the use of hand modeling and the use of photogrammetry for creating models.

KEYWORDS

3D graphics, photogrammetry, PBR materials, textures, UV wrap, blender

Obsah

TERMINOLOGIE	9
Úvod.....	10
1 3D Grafika	11
1.1 Počítačová grafika.....	11
1.2 Využití 3D grafiky	12
1.2.1 Hry a 3D grafika	13
1.2.2 3D grafika ve filmu.....	14
1.2.3 Produkt design	15
1.2.4 Pomoc v medicíně.....	15
2 3D grafika v herním světě.....	17
2.1 Tvorba herních prvků.....	17
2.1.1 Modelování a animace Postav	18
2.1.2 Texturování herních postav	19
2.1.3 Tvorba herního prostředí a architektury	20
2.2 Způsoby tvorby modelů	21
2.2.1 Co je to fotogrammetrie	21
3 Současný stav 3D grafiky a kam míří.....	23
4 Modelování scény	27
4.1 Výběr softwaru.....	27
4.2 Modelování jednotlivých budov	28
5 Texturování budov.....	31
5.1 Co jsou PBR materiály.....	32
5.1.1 Difuze, průsvitnost a průhlednost	33
6 Vytváření modelů pomocí fotogrammetrie.....	35
6.1 Jak zařídit kvalitní výsledek.....	36
7 Závěr	38

Použitá literatura	40
--------------------------	----

Seznam obrázků

Obrázek 1 porovnání 3D modelu s nízkým rozlišením s generovaným modelem s vysokým rozlišením [8].....	23
Obrázek 2 Mapa Kampusu Univerzity Pardubice	28
Obrázek 3 Ukázka využití nástroje Bevel.....	29
Obrázek 4 Kompletní model kampusu v prostředí aplikace Blender	30
Obrázek 5 Ukázka UV mapy modelu Budova 1.....	31
Obrázek 6 Ukázka propojení uzlů pro texturu Budovy 1	32
Obrázek 7 Ukázka různých PBR materiálů [14]	33
Obrázek 8 Ukázka renderu Chemicko-technologické Fakulty a Menzy	34
Obrázek 9 Ukázka renderu Ekonomicko-správní Fakulty a Dopravní Fakulty.....	34
Obrázek 10 Render pomníku sametové revoluce	35

TERMINOLOGIE

3D – trojrozměrné

2D – dvourozměrné

CGI – computer generated imagery (ang. Překlad – počítačově generované obrazy)

Ray tracing – metoda vykreslování světla (ang. Překlad – Sledování paprsku)

Motion capture – metoda snímání pohybu pomocí kamer a senzorů pro 3D objekty (ang. Překlad – pohybový záznam)

PBR materiály – materiály vytvořené simulací reálných fyzických vlastností materiálu

UI – user interface (ang. Překlad – uživatelské rozhraní)

UI design – tvorba grafického rozhraní pro uživatele zaměřená na orientaci

Nehráčská postava (NPC) – postava v herním světě poháněna umelou inteligencí

Game engine / Herní engine – software pro vývoj her, základní kámen herního vývoje

UAV – bezpilotní dron

CAD – computer aided design (ang. Překlad – počítačově asistovaný design)

CAM – computer aided manufacturing (ang. Překlad – počítačové asistována výroba)

Mesh – jiný název pro 3D Model

Extrude – nástroj pro vytlačení objektu

Bevel – nástroj pro zkosení objektu nebo hrany

Smooth – nástroj pro vyhlazení povrchu nebo ohybu

Draw – nástroj pro vytažení polygonů

Crease – nástroj pro vytvoření rýhy v objektu

Flaten – nástroj pro zarovnání plochy

PBR – physically based rendering (ang. Překlad – renderování založené na fyzice)

UV – reprezentace os „U“ a „V“

Shading – proces vytváření textur a přidávání fyzických vlastností materiálu

Úvod

Pohyb v 3D objektu má mnoho podob jako například počítačové hry, CGI ve filmech nebo virtuální realita a virtuální prohlídky, které za poslední roky získaly na popularitě, díky pandemii. Technologie virtuálních prohlídek se už roky pohybuje po celém internetu, nejznámější asi jsou Google Maps, ale v posledních letech se tato technologie začala využívat architekty a podnikateli na celém světě. Virtuální prohlídky se dají využívat na mnoho věcí od prohlídky návrhů od architekta po prohlídky velkoplošných prostorů, jako je například kampus Univerzity Pardubice.

Cílem práce je ukázka procesu vytváření modelu pro využití ve virtuální prohlídce nebo popřípadě ve virtuální realitě a herním prostředí. Tento proces obsahuje modelaci a úpravu jednotlivých modelů, přidávání textur a barev pro modely. Ukážeme si také využití fotogrammetrie, která bude využita pro tvorbu modelů soch na území školního kampusu. Řekneme si také co je za potřebí zvážit, aby výsledek fotogrammetrie vyšel přesně podle vašich představ.

Řekneme si také jak probíhá vývoj video her a jak do tohoto procesu zapadá 3D grafika. V průběhu se vysvětlí pojmy jako je herní engine, ray tracing, skeletární struktura, a jak vzniká herní postava od pouhého nápadu a střípků příběhu, k náčrtům a vytváření její osobnosti, až po proces modelování a finalizace s vytvářením textur a animací.

Další důležitou částí je teoretické vysvětlení použitých metod a technik při tvorbě a texturování modelů, a také vysvětlení co to jsou PBR materiály využívané pro texturování. V teoretické části se budeme také zabývat porovnáním současného stavu 3D grafiky a jejího vývoje s dobou před 5 lety.

1 3D Grafika

3D grafika je v dnešní době nejrychleji rostoucí odvětví počítačové grafiky. Toto odvětví je v posledních letech nejvíce využívaným, a to převážně díky růstu filmového a herního odvětví, pro tvorbu efektů a realistických postav a budov pro využití v jejich prostředí. Každým rokem se efekty filmů a herní grafika přibližuje víc a víc realitě, což si vyžaduje obrovské náklady do vývoje 3D grafiky a metod jejího využití, a také do výpočetní techniky, které by to vše dokázala zvládnout.

Co vlastně je 3D grafika? Je to věda, která odkazuje na tvorbu objektů ve tří dimenzím prostoru, pro toto na rozdíl od 2D grafiky, která využívá pouze osy X a Y, tak využívá také osu Z, aby dokázala reálně vyobrazit hloubku, šířku a výšku troj rozměrného objektu. Aby takto dokázala vyobrazovat objekty, tak využívá již zmiňovanou trojrozměrnou kartézskou osu, na které se ukládají souřadnice vrcholů, hran a stěn 3D objektu. Čím více těchto vrcholu a ploch generovaný objekt obsahuje, tak se využívá více výpočetní síly a času na zpracování. [1]

Pro vytváření 3D grafiky se využívají speciální aplikace jako Autodesk Maya, Blender, 3ds max a mnoho dalších. Tyto programy mají širokou nabídku nástrojů pro tvorbu modelů. Pomocí těchto programů dokáží grafici a umělci vytvářet cokoli co je napadne od jednoduchého domečku až po obrovské realistické scény využívané ve hrách. Můžete si tam nastavit materiály, odlesky světla a stíny, simulovat gravitaci, vytvářet různé efekty.

1.1 Počítačová grafika

Abychom pořádně pochopili 3D grafiku musíme také prvně vědět něco o tom, jak funguje počítačová grafika. Je to více disciplinární věda, kde vědci, matematici, fyzici, inženýři a umělci spojují jejich společný cíl zobrazení jejich výsledků na obrazovce, ať už je to vědecký výpočet nebo nějaká entita, která má vizuální reprezentaci [1]. Do počítačové grafiky se zahrnuje mnoho disciplín jako například modelování, animace, vizualizace, UI design. K tomuto se využívá výpočetní síla počítačových a grafických procesorů, které všechny potřebná data převedou a následně vykreslí.

Počítačová grafika je využívána všude okolo nás ať už to jsou plakáty a billboardy nebo filmy a hry, počítačová grafika ovlivňuje v mnoha směrech naše každodenní životy, aniž bychom si to uvědomovali.

Pojem počítačová grafika vznikla roku 1960, avšak první program, který využíval grafické možnosti počítače byl vytvořen on 3 roky později a nesl název Sketchpad. Tento program byl vytvořen Ivanem Sutherlandem a jako první obsahoval také grafické uživatelské rozhraní. Po vytvoření Sketchpadu se počítačová grafika začala velmi rychle rozvíjet, v 70. letech 20. století se začala rozvíjet také 3D grafika, a to pomocí algoritmů, které dokázaly vytvořit „drátěné“ modely 3D objektů pomocí vrcholů a spojovacích čar. Roku 1972 se objevila počítačová hra PONG, které se přezdívá „Otec počítačových her“, ale úplně první hra Odyssey vytvořena Ralphem Baerem vznikla o 6 let dříve roku 1966. Díky těmto dvou her, jsem se za 50 let posunuli od her, které jsou složeny jen z jednoduché čáry a tečky ke hrám, které jsou k nerozeznání od reality. První počítač podporující barevný displej vznikl roku 1976 s názvem Apple I firmou Apple, byl to ale pouze prototyp první opravdový počítač s barevným displejem vznikl roku 1977 s názvem Apple II. [2]

První plně 3D animované filmy vznikly roku 1986 a vytvořilo je studio Disney [2]. Od tohoto milníku se 3D grafika začala velmi široce spojovat s tvorbou filmů pomocí CGI, ve filmech jako je Star wars, Terminátor a Jurský park.

Díky těmto průlomům ve filmech a počítačových hrách, jsme dosáhly také velkých pokroků v hardwaru výpočetní techniky, díky které můžeme vytvářet složitější a detailnější grafické prvky, dokážeme vytvářet extrémně realistické simulace ať už pro vědecké nebo osobní a herní účely. Dnešní doba pokročila tak moc, že dokážeme vytvářet realistické grafické modely pomalu na čemkoliv ať už je to osobní počítač nebo mobilní telefon.

1.2 Využití 3D grafiky

Díky její flexibilitě a různým možnostem zpracování má 3D grafika široké spektrum využití ať už se chcete bavit nebo potřebujete navrhnout klientovi dům anebo zachraňujete životy, najde se vždy něco ke vám 3D grafika dokáže pomoci.

V dnešní době si nedokážu představit, že bychom byli bez 3D grafiky, díky její pomoci jsme se v technologiích nejen grafických velmi rychle posunuli extrémně daleko to, co kdysi vypadalo jako fantazie nebo sci-fi je v dnešní době naprosto normální a neodmyslitelné. Pokrok v technologiích se zdaleka nezastavil každým dnem se vytvářejí nové technologie a začínají se nové výzkumy pomocí 3D grafiky, které před tím byly nemožné. Díky postupech v technologii 3D mapování můžeme vidět části světa které byly před tím nedostupné pro člověka nebo můžeme mít na stole celý model New Yorku nebo realistický model lidské lebky. Vývoj těchto

technologí nám také umožnil lepší porozumění vesmíru a světu okolo nás, díky sofistikovaným simulacím, které 3D grafika nabízí.

1.2.1 Hry a 3D grafika

V dnešní době si bez 3D grafiky nejde představit herní vývoj, je to kritický nástroj pro tvorbu herního obsahu. 3D grafika poskytuje možnost vytvořit imersní a vzhledově atraktivní prostředí pro hráče.

Pro design prostředí a světa okolo hráče je esenciální využití 3D grafiky pro docílení realistického virtuálního prostředí a imersního zážitku z hraní. Dokážou vytvořit realistické repliky měst nebo kouzelné prostředí jiného světa, do kterého se může hráč ponořit a zažít něco nevídaného. Pomocí 3D grafiky se také vytvářejí textury pro tento svět, pomocí kterých vtáhnou uživatele do dění dané hry.

Největší roli v designu her hraje světlo, stíny a odrazy na površích, toto se vytváří pomocí Ray tracingu, který vytváří světlo a stíny v reálném čase a tím dosahuje extrémně realistických výsledků. Dříve se využívaly vykreslovací metody založené na pozici a textuře daného objektu, aby se vytvořily světelné plochy a stíny. Ray tracing na to jde trochu jinak pro vytvoření světelných cest využívá složité kalkulace prováděné v reálném čase. Sleduje paprsek světla, jak dopadá na určitý objekt a podle jeho vlastností a materiálu se rozhoduje, jak se světlo odráží a ovlivňuje ostatní objekty okolo sebe. Tato metoda je založena na fyzických vlastnostech světelných paprsků díky čemuž dokáže dosáhnout tak realistických výsledků. [3]

Design postav a dalších bytostí se také neobejde bez využití 3D grafiky, začátek designu je sice ve 2D v podobě ilustrací a náčrtů, jak by daná postava mohla vypadat, ale k „životu“ jí přivede teprve 3D grafika, a to za použití technik podobným tradičnímu sochařství. Aby vypadala postava tak jak si designér přeje, tak se musí obrátit ke tradičnímu sochařství v digitální formě. Pro tento proces se využívají speciální programy optimalizované pro tento způsob modelování se širokou nabídkou nástrojů k definování charakteristických znaků postavy. Většinou se začíná s čistým modelem těla bez obličeje a rysů postavy, do kterého se postupně přidává život. Když jsou spokojeni se vzhledem těla a obličeje, tak se potom dodělávají detaily jako jsou vlasy, šperky a různé druhy oblečení. Jakmile jsou spokojeni s celkovým vzhledem postavy tak pokračují v animování těla, proto musí v postavě vytvořit takzvanou kostru, která umožní simulaci reálného pohybu člověka, ale tím to nekončí další část procesu je animace vlasů a oděvu, při které se snaží vytvořit animaci co nejvíc podobnou reálnému chování vlasů nebo dané látky.

Po tvorbě postav se design her posouvá na vytváření vizuálních efektů a fyzikálních simulací, díky kterých dokážou vytvořit vše možné výbuchy, pády předmětů, kouř, srážky mezi předměty nebo i reakce mezi předměty. Kvalitní vizuální efekty přidávají hře další vrstvu imersního prostředí například jako odraz vody od stěny. Pro vytváření vizuálních efektů se využívají částicové systémy, díky kterým dostávají efekty svůj vzhled, fyzikální vlastnosti, velikost, délku působení. Aby efekty vypadaly dobře musí se spojit grafici, animátoři a programátoři, aby dosáhly žádaného výsledku.

1.2.2 3D grafika ve filmu

Podobně jako ve hrách tak i ve filmovém průmyslu hraje 3D grafika klíčovou roli, aby dokázali divákům poskytnout nevídané a okouzující světy. Využití 3D grafiky ve filmu naprosto změnilo celý průmysl, a to díky posunu z pouhých kamerových záběrů s efekty vytvořeny na místě k filmům, které vytvářejí efekty v post-produkci a můžou svou nechat svojí fantazii volnou ruku.

V moderních filmech je hlavní využívanou technologií motion capture, díky které si vytvoří animační kostru pro postavu s reálnými pohyby, na které poté mohou vytvořit postavu pro daný film. Díky této technologii dostávají postava extra vrstvu realismu jak v pohybech těla, tak i výrazech v obličejí. Největší vývoj motion capture zaznamenal při tvorbě filmu Avatar, který vyšel v roce 2009. Před rokem 2009 byl motion capture ještě velmi nekvalitní, jelikož se s ním moc npracovalo. James Cameron režisér filmu Avatar s pomocí jeho týmu vytvořil v té době nejsložitější systém pro motion capture pomocí obrovského množství kamer a senzorů po celé place natáčení, díky čemuž dokázali získat extrémně detailní modely hercova pohybu, které před tím byly nevídané. James Cameron je světově známý jako revolucionář v oblasti motion capture a CGI. [4]

Tak jako je tomu ve hrách ve filmu jsou vizuální efekty extrémně důležité, pro vytvoření imersního a realistického zážitku. Ať už je to tvorba fantastických tvorů nebo tvorba extrémních výbuchů, tak se to bez 3D grafiky neobejde. Pro všechny tyto efekty se využívají speciální simulace a částicové systémy, které jsou díky 3D grafice velmi realistické. Využívají se k tomu podobné metody jako při tvorbě her, akorát ve filmu je za potřebí aby tyto efekty byly mnohem realističtější, aby divákovi dokázaly nabídnout co největší pomoc imersního zážitku ze sledování.

Aby nemuseli filmaři vytvářet obrovské fyzické scény, tak využívají green screen a techniky pro rozšíření filmového setu. Tímto dokážou vytvořit například obrovské pláně kde

by jinak bylo těžké natáčet, nebo fantastické prostředí s obrovskými horami jako tomu bylo například v Pánovi prstenů, který využíval jak reálnou přírodu Nového Zélandu, tak i uměle vytvořené skalní prostory. Tato technika se využívá převážně pro zvýraznění fantastických a dobrodružných prvků ve filmu.

1.2.3 Produkt design

3D grafika se nevyužívá pouze v zábavním průmyslu, ale také v tvorbě nových produktů. Jelikož 3D grafika nabízí práci v extrémních detailech, tak designéři dokáží vytvářet produkty a mechanické části pro stroje ve 3D s extrémní přesností. Pomocí tohoto vznikají produkty, které kdysi nebylo možné vytvořit.

Nejen že dokáží vytvořit prvky které kdysi nebylo možné, ale 3D grafika i velmi ulehčuje prvotní fáze produktového designu, umožňuje designérům jednodušeji vyobrazit produkt ve 3D, díky čemuž dokáží lépe upravovat prvotní design a měnit prvky, které se nehodí.

Pomocí 3D grafiky mohou také jednodušeji simulovat funkci produktu a zjistit, jestli konstrukce funguje tak jak by měla nebo musí něco pozměnit. Toto ulehčuje testování finálního produktu, před finálním fyzickým testem, tudíž je tvorba nových produktů levnější a rychlejší, jelikož nemusí vytvářet spousty prototypů a testovat.

Grafiky mohou také vytvářet demo ukázky a marketingové materiály pomocí renderovaných snímků produktu a různých animací. Díky vysoce detailních renderům mohou velmi dobře vyobrazit vlastnosti a funkce nového produktu bez potřeby fyzické kopie.

Mechanické součástky se vytvářejí pomocí softwaru CAD, který umožňuje využití technických náčrtů pro tvorbu součástí pro stroje, které se poté převedou do 3D modelu pomocí funkcí softwaru. Pomocí tohoto softwaru mohou nastavit přesné rozměry a odchylky, aby každá část do sebe přesně zapadla a fungovala tak jak má. Po finalizaci mohou také vytvářet simulace pro testování, jestli všechny parametry sedí přesně nebo je potřeba něco změnit.

1.2.4 Pomoc v medicíně

V medicíně se najde mnoho využití pro 3D grafiku, které umožní lepší péči o pacienty s pomocí nových průlomových technologií, díky kterým dokážeme v dnešní době vytvářet perfektní protézy na míru pacienta nebo dokonce vytvořit nové funkční srdce pomocí 3D tisku a uměle vytvořeného organického materiálu. Můžeme si dovolit ze 3D grafika zachraňuje životy tam kde standartní medicína nemůže zasáhnout.

3D grafika se využívá také v trénování a učení nových doktorů a chirurgů, kteří ve virtuální realitě nebo ve specializovaných programech mohou zkoumat detailně lidské tělo vytvořeno pomocí 3D skenerů. Za pomoci těchto technologií mohou studenti zkoušet operace a testovat svoje znalosti, ale nepomáhá to jen studentů, ale také doktorům s praxí, jelikož mohou simulovat složité zákroky a specifické problémy pacientů, na které se potřebují připravit.

2 3D grafika v herním světě

O herní grafice jsem se již krátce zmiňoval v předchozí kapitole, ale v této kapitole se detailněji podíváme na procesy a metody používané grafickými studii po celém světě. Tento průmysl je jedním z nejrychleji rostoucím v ohledu na 3D grafiku a design, a to hlavně díky Unreal engine, což je herní engine vyvinutý firmou Epic Games, který s jeho poslední verzí Unreal Engine 5 dokáže dokonale napodobit realitu k nerozeznání.

Herní engine nebo také herní motor je softwarové prostředí pro vývoj her a herní grafiky, také se mu někdy přezdívá herní architektura nebo herní struktura, s nastaveními a funkcemi které optimalizují herní vývoj v různých programovacích jazycích. Obsahuje schopnost vyobrazovat 2D a 3D grafiku kompatibilní s různými formáty, fyzikální engine, který simuluje fyzikální vlastnosti objektů podle reálného světa, většinou obsahuje také umělou inteligenci pro ovládání nehráčských postav (NPC) aby reagovaly na akce hráče, zvukový engine, který kontroluje zvukové efekty pro lepší požitek ze hry, a mnoho dalších funkcí, aby herní vývojáři mohli vytvářet co nejlepší hry. [5]

Dříve si studia vytvářely své vlastní herní enginy vždy specificky pro danou hru, kterou vyvíjely. Ale časem se začaly vytvářet enginy ne pro jednu hru, ale pro celé studio pro využití na všech hrách, které budou vytvářet. Tímto si herní studia ulehčila vývoj her, jelikož už pro každou z nich mají ten základní kámen vytvořen, a akorát jej aktualizují a udržují s nejnovějšími technologiemi. [5]

2.1 Tvorba herních prvků

Před tím než se herní postavy a další prvky mohou začít vytvářet musí se určit grafický styl a směr, kterým se hra bude udávat. Toto se většinou vytváří pomocí konceptuální kresby, při které se vytvářejí návrhy postav a jejich oblečení, vytváří se architektura pomocí referencí z dané doby, pokud se hra odehrává v budoucnosti tak se využívá fantazie a společností stanovené představy, jak daný typ budoucnosti by měl vypadat. Dalším krokem je tvorba nákrešů přírody a okolního světa, ve kterém se budeme pohybovat. V této fázi se určuje celkový vzhled a atmosféra, barevná paleta, grafický styl, design postav a vzhled prostředí. Až je toto všechno je splněno tak se může jít dál k modelaci prvků.

Tvorba herních postav nekončí jen u jejich designu, patří do toho také definování archetypu postavy, jejich vlastností, jestli je to strašpytel nebo nebojácný válečník nebo snad zvědavý dobrodruh. Další důležitou věcí je tzv. Backstory postavy, které definuje pozadí jejího charakteru a je důležitou součástí definice vzhledu postavy jaké má speciální rysy, jako jsou

například jizvy nebo tetování, ale také jaké má oblečení a proč se chová tak jak se chová. Toto všechno je nedílnou součástí tvorby postav.

2.1.1 Modelování a animace Postav

Pro modelování postav se využívají techniky tradičního sochařství, pomocí kterých se vytvářejí rysy a základní vzhled dané postavy podle daného konceptu. V počáteční fázi procesu modelování herní postava, se určuje přesnější rozložení obličeje, velikost očí a nosu, tvar hlavy, následně se vytváří stavba těla, jestli se někdo hrbí nebo stojí vzpřímeně. Během další fáze se začínají definovat detaily a specifické rysy pro danou postavu, tyto rysy se hodně odebírají z archetypu postavy a jejího příběhu, jestli má jizvu na obličeji nebo má umělou nohu. Fyzické rysy postav také ukazují na jejich povahu, je to způsob vizuálního vyprávění a popisu postavy, například jestli chodí trochu s „nosem nahoru“, což většinou popisuje povrchní a namyšlené postavy, nebo má jizvy na zádech, které popisují bojovníka nebo otroka.

Základem stavebním prvkem všech her a jejich prvků jsou polygony, které jsou definovány jejich vrcholy (*vertices*) a rovnými čarami mezi nimi (*edges*). Při modelování s polygony se většinou pracuje s trojúhelníky nebo čtyřúhelníky. Tyto polygony se nazývají „face“ a berou se jako vyplněný prostor mezi vrcholy a hranami. [6]

Když máme těchto polygonů více, tak se tomu říká *Mesh*, což je v podstatě jakýkoliv tvar vytvořen z n-počtu polygonů. V dnešní době se před renderováním tyto modely z pravidla převádějí na používání trojúhelníkových polygonů. Většinou má *Mesh* přidružen jeden nebo více materiálů, aby definoval jeho vzhled a vlastnosti jeho povrchu, jako jsou barva, reflektivnost, textura povrchu atd. [7] Aby se dosáhlo co nejlepšího a nejkvalitnějšího výsledku se musí využívat obrovské množství polygonů pro jednotlivý model, čímž se zajistí hladkost celého povrchu, ale zvýší se náročnost pro modelování a renderování modelu.

Pro definování vzhledu *meshe* se využívají speciální nástroje, které umožňují grafikovy upravovat a přidávat polygony podle potřeby pro vytvoření tvaru, který chce. Využívají se k tomu techniky modelování pro přidávání polygonů jako například *extrude*, *bevel*, *smooth*, nebo sochařské techniky pro změnu velikosti a tvaru polygonů jako například *draw*, *crease*, *smooth*, *flatten*.

„Skeletární struktura objektů, je speciální druh *Meshe*, který se řídí vlastnosti kostry člověka“ [7], pro tvorbu hladkých animací těla herní postavy nebo zvířete. Pro vytvoření tohoto typu *Meshe* je zapotřebí, aby herní engine měl v sobě zapsané tyto 3 typy dat:

1. Samotný *mesh* daného objektu
2. Skeletární sktrukturu (názvy kloubů, rodič-dítě vztahy a základní pózu kostry, když byla původně přidána k modelu)
3. Animace specificky vytvořené pro jednotlivé klouby

Animace postav podobně jako modelování závisí na vlastnostech, archetypu postavy a jejímu backstory. Jelikož chceme, aby animace vypadaly co nejpřirozeněji tak je vždy musíme přizpůsobit tomu, jak na hráče působí daná postava, jestli je to normální pracovník nebo je to obrovský podnikatel s chutí ovládnout svět. Díky tomuto dokážeme získat svět, který na nás působí velmi přirozeně a živě, když postavy mají své specifické animace. Toho se dosáhne různými způsoby ať už je to způsob jejich chůze nebo mimika obličeje nebo i jejich neverbální komunikace rukami, tohle vše podporuje to jak chceme, aby daná postava působila.

Animace objektů ve hrách jsou různé, od jednoduchých animací rigidních objektů jako je například fotbalový míč nebo auta k animacím organických objektů jako jsou lidské těla. Pro animaci lidského těla se využívají již zmiňované skeletární struktury, kde se využívají jednotlivé klouby, které se animují podobně jako jiné rigidní objekty, ale využívají mezi sebou předem stanovenou hierarchii a vztahy, aby zajistily plynulý pohyb jednotlivých částí těla, když se například pohne loketní kloub nahoru tak jej bude následovat zápěstí v přirozeném pohybu ruky. Toto vše je podporováno zákonitými vlastnostmi zapsanými v herním enginu.

Předchůdcem všech animací je celuloid animace neboli také ručně kreslená animace. Tato technika se používala u prvních animovaných filmu. Vytváří iluzi pohybu vyobrazováním obrázků neboli snímků v rychle sekvenci za sebou. Real-Time 3D renderování je považováno za elektrickou formu tradiční animace, ve smyslu že sekvence obrázků je divákovi ukazována pořád dokola, aby vytvořila iluzi pohybu.

2.1.2 Texturování herních postav

Vzhled herních postav je dalším klíčem k úspěšné hře a k dopřání imerzního zážitku z hraní. Výběr textur a barev pro postavy se opět obrací na prvotní konceptuální fázi vývoje her. Texturování postav se rozděluje na 2 fáze, a to texturování kůže a vytváření oblečení.

Při vytváření textury kůže se vytváří barva pokožky spolu s dalšími detaily jako jsou například pihy nebo znaménka. Přidávají se ale také tetování a jizvy podle toho, jestli je daný charakter má, při tvorbě tetování se vytvářejí samostatné nákresy, které se poté implementují do textury pokožky. Jizvy se vytvářejí trochu jinak, a to už v modelovací fázi se vytvoří v pokožce místa, které reprezentují jizvy, ať už to jsou hojící se jizvy, které jsou ještě vystouplé,

nebo staré zahojené jizvy. Tyto místa se potom při texturování barevně upravují pomocí speciálních štětců. Vytváří se vždy několik variací, které obsahují různé modifikace jako například špína, když se postava prodírá nějakým špinavým prostředím, nebo krev, pokud se postava nachází v souboji. Na rozdíl od texturování nebo vybarvování 2D postav, se pro 3D postavy nemusí vytvářet stíny, jelikož o to se postará herní engine pomocí světelných simulací.

Textury oblečení jsou o něco složitější, jelikož musí napodobit vzhled materiálů, který známe z reálného světa. Během texturování oblečení se musí brát ohled na vlastnosti materiálu, jak odráží světlo a jak většinou daná látka vypadá z blízka. Při vytváření těchto textur, tak se musí dbát pozor na to, jak na sebe části daného kusu oblečení navazují, aby například vlákna látky nešly špatným směrem, nebo jak oblečení navazuje na knoflík nebo zips. Pokud daná textura má nějaký vzor, tak se musí hlídat, aby nebyla špatně uříznutá nebo aby nebyla natočena jinak než na další části daného kusu oblečení. Při texturování se také mohou přidávat různé trhance nebo díry v oblečení, aby signalizovaly opotřebenost nebo stáří oblečení. Podobně jako je tomu u textur pokožky, tak i u oblečení se vytváří více variant, které se využívají podle potřeby, zda je oblečení špinavé nebo ne. Pokud se jedná například o brnění, tak se vytváří varianty například s rzí mezi spoji plátů zbroje.

Pro texturování se využívá metody UV unwrap, které v podstatě vezme 3D model a rozloží jej do 2D prostoru, a chová se jako náčrt podle, kterého se přidává textura na jednotlivé části modelu. K tomuto se využívají UV body, které korespondují s daným vertexem. Některé aplikace vytvářejí UV mapu automaticky, která se poté musí manuálně upravit, aby správně korespondovala s 3D objektem a plochy se nepřekrývaly. Když je UV mapa upravena tak se můžou začít přidávat textury a další vlastnosti vybraného materiálu, pomocí shaderů jako třeba odlesky, hrubost, hrbolatost, průhlednost atd. Shadery můžeme také míchat, abychom dosáhli žádaného vzhledu materiálu.

2.1.3 Tvorba herního prostředí a architektury

Herní prostředí a budovy se vytvářejí na základě stejných pravidel jako herní postavy, akorát za využití jiných modelovacích technik a metod. Vzhled prostředí a budov závisí stejně jako postavy na konceptuální fázi vývoje, a to zejména na stylu a období v jakém se hra odehrává a jestli se odehrává s naším světem nebo ve fantazy světě.

Herní prostředí je většinou velmi inspirováno přírodou a městy našeho světa, které se poté modifikují podle potřeb do stylu hry. Tedy pokud se nejedná o hru, která se odehrává

například ve Francii za doby renesance, tak se grafici snaží vytvořit co nejvíce podobný model dané oblasti kde se hra odehrává.

Při vývoji prostředí hraje hlavní roli zejména světlo a poté materiály. Díky dobrého využití světla herní vývojáři dokáží hráče naprosto vtáhnout do děje, pomocí atmosféry, kterou tímto vytvoří, světlo je nejsilnější pomůcka, kterou mají. Další důležitý bod jsou materiály, které využijí pro okolní budovy a přírodu. Kvalitnější materiály napomáhají zapojit hráče vizuálně ještě víc.

Dalším důležitým prvkem prostředí jsou malé detaily, které zároveň se světlem vytvářejí atmosféru oblasti kde se hráč nachází. Můžou to být například květiny a ovoce, když chtějí, aby se hráč cítil vřele, nebo to můžou být rozbité okna a špinavé stěny, pokud se hráč blíží do nebezpečné oblasti.

2.2 Způsoby tvorby modelů

Prvním a základním způsobem je již zmiňovaná modelace při, které umělci vytvářejí vysoce detailní modely a dávají jim iluzi života pomocí animací.

Dalším způsobem je fotogrammetrie, která se využívá pro vytvoření fotorealistických modelů pro hry, jejímž cílem je se co nejvíce podobat realitě

2.2.1 Co je to fotogrammetrie

Proces fotogrammetrie se může lišit, ale obecně se jedná o shromažďování informací o objektu z jeho fotografií. Fotografie se pořizují z různých míst a úhlů, aby bylo možné provést přesné výpočty, které analytikům pomohou získat hledaná data. Ke shromažďování měření obvykle využívají například interpretaci fotografií a geometrické vztahy. Pomocí dat získaných z fotogrammetrie můžeme vytvářet mapy a 3D modely reálných scén. [15]

Tato technologie existuje již dlouho a v minulém století byla důležitou součástí nejrůznějších výzkumů. Její principy sahají až k výzkumu perspektivy Leonarda da Vinciho v roce 1480. Po vynálezu létání a druhé světové válce se fotogrammetrická technologie skutečně rozšířila díky výkonným konstrukcím kamer a novým letadlům konstruovaným speciálně pro letecké snímkování a lepšímu polohování kamer. Díky všem novým vynálezům se fotogrammetrie dostala i na Měsíc, aby zmapovala jeho povrch během misí Apollo. [15]

Fotogrammetrie se dá rozdělit do několika kategorií, ale standartní metodou rozdělení je podle toho kde se kamera nachází. Podle tohoto rozdělení máme leteckou fotogrammetrii a pozemní nebo krátko vzdálenostní fotogrammetrii [16]

Při letecké fotogrammetrii, jak už název vypovídá je kamera přimontovaná k letadlu a míří vertikálně na zem. Toto letadlo během své cesty vytvoří několik překrývajících se fotografií země pod ním. Tradičně se jednalo o pilotovaná letadla s pevnými křídly, ale mnoho projektů se nyní realizuje pomocí dronů a bezpilotních letadel (*UAV*). Kdysi se tyto snímky zpracovávaly pomocí stereoplotteru, což je přístroj, který umožňoval zobrazení dvou fotografií ve stereo pohledu, ale nyní se všechny snímky zpracovávají pomocí automatizovaných systémů na výpočetní technice. [16]

Pozemní nebo krátko vzdálenostní fotogrammetrie má kameru umístěnou na zemi přimontovanou k tripodu nebo drženou v ruce. Tento styl fotogrammetrie není topologický, což znamená že se z něj nevytváří modely terénu nebo topologické mapy, ale místo toho se to zaměřuje na specifické objekty a rozměry. Pro tuto metodu se využívají normální každodenní fotoaparáty nebo kamery, aby zaznamenaly rozměry budov, míst nehod, archeologické nálezy, filmové sety a další různorodé objekty, které se dají na nějakou podstavu a vyfotí. Tento typ fotogrammetrie se také nazývá Image-based modeling. [16]

Tento proces může být složitý, ale vše se odvíjí od konceptu triangulace. Triangulace zahrnuje pořízení snímků minimálně ze dvou různých míst. Tyto snímky vytvářejí zorné linie, které vedou z každého fotoaparátu do konkrétních bodů na fotografovaném objektu. Průsečík těchto linií se promítá do matematických výpočtů, které pomáhají získat 3D souřadnice zadaných bodů. [15]

Proces triangulace je velmi podobný tomu, jak naše oči zpracovávají okolí a vytvářejí hloubku. K vnímání hloubky dochází, když se na objekt díváme z jiných úhlů, přičemž tyto úhly vycházejí z každého z našich očí. Následně náš mozek zpracovává tyto 2 obrazy a vytvoří z nich jediný obraz, který dokážeme pochopit, pomocí procesu stereopse. [15]

3 Současný stav 3D grafiky a kam míří

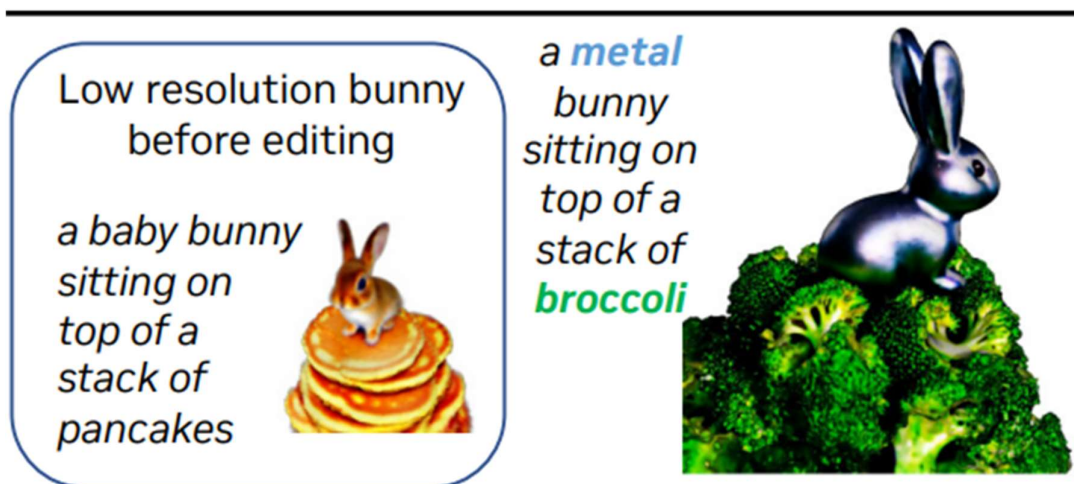
Magic3D: High resolution text to 3D content creation

Překlad: Magic3D: Vysoce kvalitní Text do 3D tvůrce

V tomto výzkumu autoři hovoří od tvorbě 3D modelů za pomoci umělé inteligence, která využívá funkci *NeRF* (Neural Radiance Fields). Přesněji se hovoří od programu DreamFusion, který vytváří 3D objekty pomocí 2D obrazu, které vyhovují textovému zadání. Ovšem tento produkt má své mouchy, jako je velmi pomalá optimalizace funkce *NeRF* a nízká kvalita obrazů využívaných, a proto také nízká kvalita následného modelu s dlouhým časem pro zpracování. [8]

Poptávka po generativním obsahu je obrovská, takže díky tomu se objevují pořád nové programy, které využívají umělou inteligenci pro vytváření obsahu z textu. Autor se dále zmiňuje, že toto odvětví grafiky udělalo obrovsky postup v před, především díky rozsáhlým datovým sadám obsahujícím miliardy vzorů a díky síly moderních počítačových komponentů. Kontrastně generativní 3D obsah se vyvíjí mnohem pomaleji. Již existující modely generující 3D obsah jsou většinou kategorizované, tudíž použití je velmi limitované a není připravené pro uměleckou tvorbu. Toto je hlavně z důvodu nedostatečného množství různorodých rozsáhlých 3D datových setů. [8]

Po výsledcích, jaké předvedla metoda DreamFusion, tak se rozhodli vytvořit svůj vlastní model s názvem Magic3D, který je schopen vytvořit kvalitnější modely mnohem rychleji. Magic3D dokáže, jak vytvářet vysoce kvalitní 3D modely, ale dokáže také upravovat nízko rozlišené modely, do vysoko rozlišených s pomocí editace na základě textového vstupu. [8]



Obrázek 1 porovnání 3D modelu s nízkým rozlišením s generovaným modelem s vysokým rozlišením [8]

3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery

Překlad: 3D modelování, implantáty na míru a jeho budoucnost v lebečních a obličejových operacích

Tento článek se zabývá problematikou vytváření implantátů pro opravu defektů lebky za pomoci 3D grafiky. Postup vytváření implantátů na míru v posledních letech získal velkou podporu, díky tomu že dokáže ušetřit spoustu času na sále a lepších kosmetických úprav. Použití 3D modelování v lebeční a obličejové chirurgii mění způsob, jakým chirurgové plánují operace a grafici navrhují implantáty na míru. Pokrok ve výrobních procesech a zavedení aditivní výroby pro přímou výrobu implantátů odstranil omezení týkající se tvaru, velikosti a vnitřní struktury a mechanických vlastností, což umožňuje výrobu implantátů, které odpovídají fyzikálním a mechanickým požadavkům oblasti implantace. [9]

„Vývoj systémů počítačem podporovaného navrhování (CAD) a počítačem podporované výroby (CAM), které se přizpůsobují potřebám chirurgů, vyústil v celou škálu arzenálu pro počítačem podporovanou chirurgii. Tyto systémy se konkrétně zaměřují na zdokonalené vizualizační nástroje – 3D modelování nebo lépe označované jako virtuální realita a dávají chirurgovi možnost přesného předoperačního plánování a provádění virtuálních kostních resekcí a předoperačního navrhování implantátů specifických pro pacienta.“ Zmiňuje autor Dr. Jayanthi Parthasarathy [9]

Towards real-time photorealistic 3D holography with deep neural networks

Překlad: Na cestě k fotorealistické 3D holografii v reálném čase pomocí hlubokých neuronových sítí

Schopnost prezentovat trojrozměrné scény s neustálým dojmem hloubky má zásadní dopad na virtuální a rozšířenou realitu, interakci člověka s počítačem, vzdělávání a školení. Počítačem generovaná holografie (CGH) umožňuje 3D projekci s vysokým úhlovým rozlišením prostřednictvím numerické simulace difrakce a interference. Stávající fyzikálně založené metody však nedokážou vytvářet hologramy s kontrolou ohniska na pixel a přesnou okluzí. Výpočetně náročná simulace Fresnelovy difrakce navíc klade jednoznačný kompromis mezi kvalitou obrazu a dobou běhu, což činí dynamickou holografii nepraktickou. [10]

Autor zde demonstruje sestavu CGH založenou na metodě Deep-learning, která je schopna syntetizovat fotorealistický barevný 3D hologram z jediného obrazu s hloubkou RGB

v reálném čase. Za pomoci jejich konvoluční neuronové sítě (CNN), která běží na nízko příkonových procesorech telefonů, při využití pouhých 620KB paměti, což slibuje výkon v reálném čase v mobilních náhlavních soupravách budoucí generace pro virtuální a rozšířenou realitu. Tento postup je umožněn zavedením rozsáhlé datové sady CGH (MIT-CGH-4K) se 4 000 páry snímků s hloubkou RGB a odpovídajícími 3D hologramy. [10]

Plausible 3D Face Wrinkle Generation Using Variational Autoencoders

Překlad: Věrohodné 3D generování obličejových vrásek pomocí variačních autoenkodérů

Tento článek se zabývá tematikou realistického modelování a animace obličejů, které začínají být populárnější v mnoha grafických a animačních aplikacích a ve využití pro Virtuální realitu. Generování realistických jemných vrásek na 3D obličejích je stále náročný problém, který potřebuje řešení. [11]

Autor navrhuje řešení tohoto problému pomocí komplexního systému pro automatické doplňování 3D obličejů v hrubém měřítku pomocí jemných syntetizovaných geometrických vrásek. Formulováním problému generování vrásek jako úlohy pod dohledem, tato metoda implicitně modeluje spojitý prostor vrásek obličeje prostřednictvím kompaktního generativního modelu tak, aby bylo možné generovat věrohodné vrásky obličeje pomocí efektivního vzorkování a interpolace v tomto prostoru. [11]

Autor také vytvořil kompletní postup pro přenos syntetizovaných vrásek mezi tvářemi různých tvarů a topologií. Prostřednictvím mnoha experimentů ukazují, jak tato metoda dokáže kvalitně vytvářet věrohodné jemné vrásky na různých 3D obličejích s různými výrazy. [11]

Accessible Maps for the Blind: Comparing 3D Printed Models with Tactile Graphics

Překlad: Přístupné mapy pro nevidomé: Srovnání 3D tištěných modelů s hmatovou grafikou

V tomto článku se autor zabývá využitím hmatových map pro nácvik orientace a mobility pro nevidomé a těžce zrakově postižené osoby a využitím 3D grafiky pro alternativní využití namísto tradičních hmatových map, ale není zcela jasné, zda 3D modely nabízejí nějakou výhodu oproti tradičním 2D mapám. [12]

Autoři provedli kontrolovanou studii s 16 hmatovými čtenáři, při které zjistili ze 3D mapy byly preferovány, jelikož umožňují snáze použitelné ikony, umožňují lepší krátkodobé

zapamatování a snadnější pochopení relativní výšky prvku mapy. Z analýzy pohybu rukou odhalily nové strategie pro systematické skenování 3D modelů a získání informací z mapy. Jako poslední krok zkoušeli nahradit nepraktické popisky v podobě Braillova písma, zvukovými popisky, které měly pozitivní výsledek. [12]

4 Modelování scény

4.1 Výběr softwaru

Dřív, než jsem mohl začít modelovat musel jsem vzít v úvahu různé softwary pro tvorbu 3D modelů, abych vybral ten, který mi nejvíce vyhovuje a budu v něm schopen vytvořit kvalitní model našeho školního kampusu.

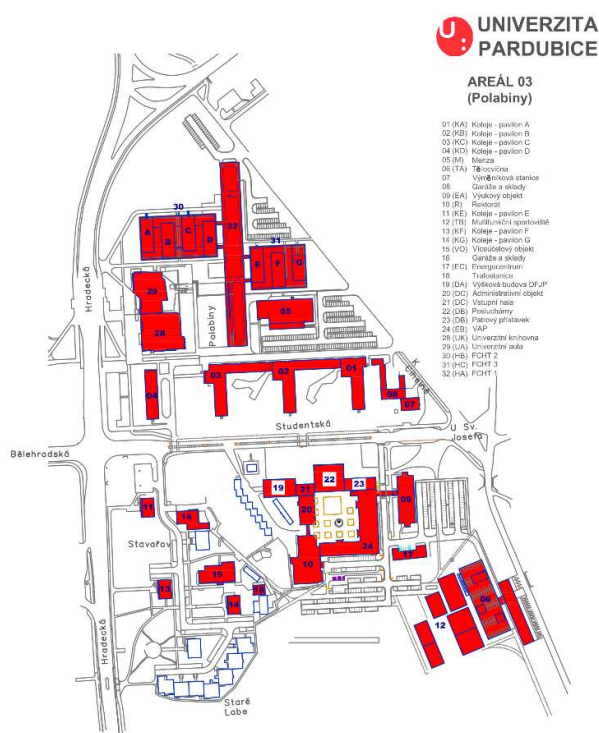
Existuje velké množství softwarových řešení pro tvorbu obrovských scén jedno z nejjednodušších je asi aplikace SketchUp, která je velmi dobrá pro tvorbu budov a umožňuje vcelku jednoduché řešení tohoto problému, ale má neplacenou webovou aplikaci s omezenými funkcemi, které by mi nestačily pro vytvoření celé práce, tudíž bych musel jít placenou cestou pro desktopovou aplikaci. Další z možností byla aplikace Autocad Maya, jelikož s tou jsem se seznámil během svého studia, ale tady jsem také narazil na stejný problém jako u SketchUpu, a to že je to placená aplikace a neměl jsem s ní dostatečné zkušenosti, abych dokázal vytvořit kvalitní výstup.

Jako poslední možnost byla aplikace Blender, která je zdarma a měl jsem v ní již předešlé zkušenosti s modelováním ze střední školy. Blender nabízí širokou škálu nástrojů pro detailní modelaci objektů v trojrozměrném prostoru, a také pro texturování pomocí shaderů a UV mapy. Tím pádem výběr aplikace Blender byl jednoznačný, jelikož nabízel všechny nástroje a techniky, které jsem potřeboval pro zpracování této práce.

Existuje ale mnoho dalších aplikací pro tvorbu 3D modelů a scén, jako například Zbrush, který je vytvořen speciálně pro tvorbu postav pomocí nástrojů, které jsem podobné tradičnímu sochařství, další populární program je 3ds max od firmy Autodesk, tento program je mířen spíše na profesionály s velkou knihovnou funkcí vytvořenou jeho komunitou, tento program je také placený, a to docela draze za \$225 měsíčně nebo \$1,785 ročně, v přepočtu 4 875 Kč měsíčně a 38 700 Kč ročně. Jako další máme aplikace Cinema 4D, která je známá především díky uživatelskému rozhraní, které je velmi přátelské pro začátečníky, ale je více zaměřená na tvorbu vysoce kvalitních fotorealistických animací.

4.2 Modelování jednotlivých budov

Na začátku modelování jsem obdržel mapu školního kampusu ve formě PNG a DWG, což byl zprvu problém, jelikož program Blender nepodporuje formát DWG, ale díky komunitě se mi povedlo najít dodatečnou funkci, která dokáže zpracovat a vložit tento soubor do scény. Na začátku plánování scény jsem si vytvořil jednoduché kostky, které reprezentovaly jednotlivé budovy, podle hranic budov na mapě, kterou jsem obdržel.



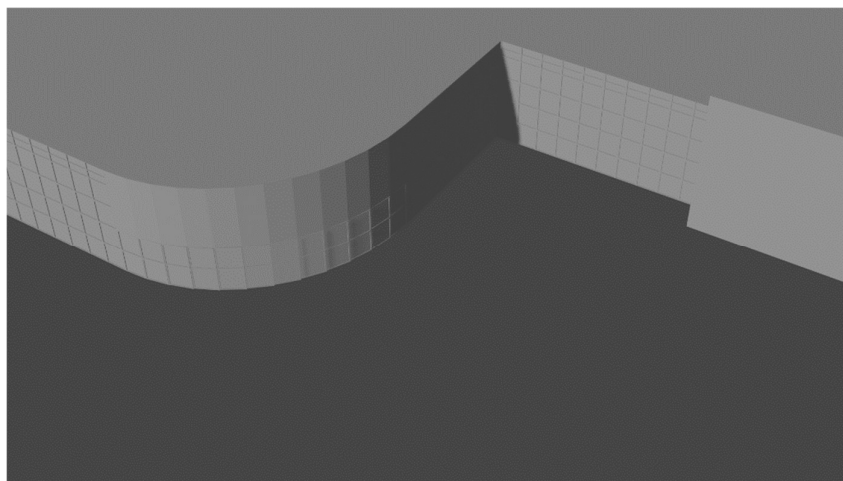
Obrázek 2 Mapa Kampusu Univerzity Pardubice

Před modelováním jsem se ještě rozhodoval, kterou metodu využiju a rozhodl jsem vy využít svou vlastní metodu, při které se vytvoří jedno patro za pomoci funkce *loop cut* a nastavení přesných parametrů toho daného patra, které se následně kopíruje pro vytvoření dalších. V průběhu modelování jsem ale zjistil že toto není úplně optimální řešení mého problému, a změnil jsem pro další budovy metodu modelování pomocí funkce *Extrude* pro vytvoření dalších pater a funkce *loop cut*, pro vytvoření dalších potřebných hran pro vytvoření otvorů pro okna a dveře. Druhá metoda se ukázala mnohem rychlejší než vytváření pouze jednoho patra, jelikož jsem vytvářel všechno zároveň, toto se ukázalo i později v texturování jako lepší řešení, jelikož textury na budovách vytvořených pomocí první metody nevypadají tak dobře jako na ostatních. Při porovnání první a druhé metody modelování jsem zjistil,

že druhá metoda vytváří více optimalizované výstupy, a to díky tomu, že má menší počet jednotlivých prvků, které daný model vytváří.

Hlavní problém při modelování byl nedostatek informací, a to především v rozměrech budov, toto jsem musel vyřešit za pomoci využití orientačních kostek, které jsem si předem vytvořil a využíval nástroj metr pro získání jejich rozměrů, ale tyto kostky neměly také přesné rozměry, tudíž jsem to spojil s využitím Google map, pomocí kterých jsem upravoval většinou odhadem šířku a délku, aby budovy odpovídaly co nejvíce realitě. Výšku jsem vyřešil stanovením základní velikostí jednoho patra, které je většinou 3 metry, tuto výšku jsem poté upravoval pro budovy, které měly pouze jedno patro, ale byly vyšší než 3 metry.

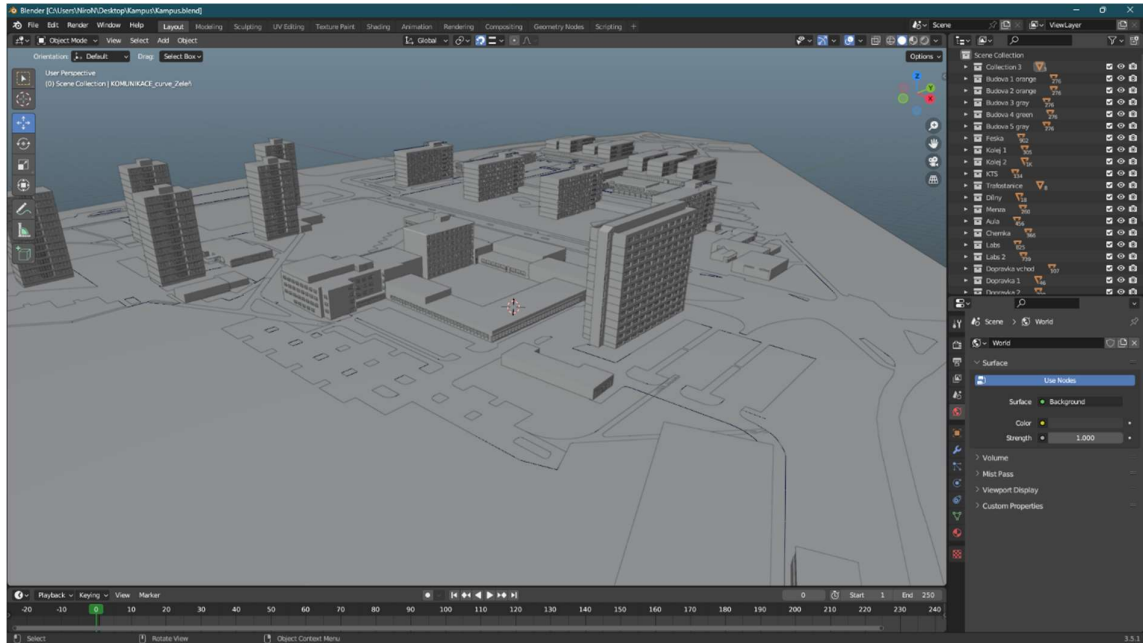
Při modelování jednotlivých budov jsem si většinou vystačil s využitím 2 nástrojů *extrude* a *loop cut*, pomocí kterých jsem dokázal vytvořit všechny tvary budov. Vždy jsem začal se základní krychlí, kterou jsem pomocí nástroje *extrude* rozšířil do rozměrů, které byly potřeba a přidával další části budovy, které vystupovaly ze základního čtvercového tvaru. Pomocí funkce *loop cut* jsem rozdělil velké plochy modelu na menší části podle potřeby, tyto části mi poté umožnily přidat další geometrii modelům pomocí funkce *extrude* a vytvořit otvory pro umístění oken a dveří. Při tvoření modelu Auly, jsem využil ještě dodatečnou funkci *bevel*, která mi umožnila vytvořit z jednoho rohu několik nových ploch pro vytvoření zakulaceného rohu



Obrázek 3 Ukázka využití nástroje Bevel

Při modelování jsem také využíval veřejně dostupných knihoven prvků pro modely, specificky jsem je využil pro prvky jako jsou okna a dveře. Knihoven takových prvků je mnoho od placených po volně použitelných, díky těmto knihovnám se dá částečně ušetřit trochu

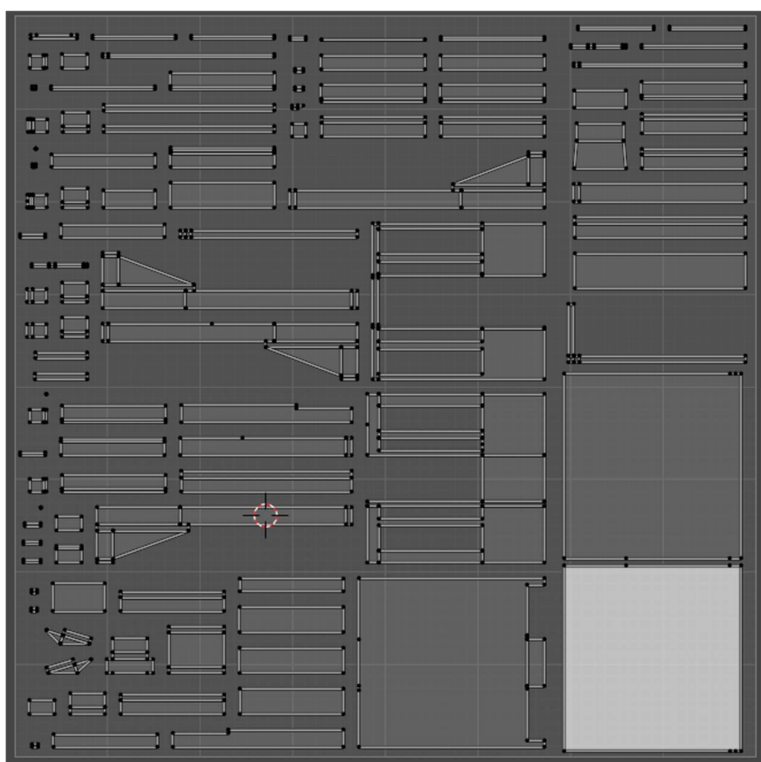
času. U těchto modelů jsem vytvářel menší modifikace atributů a *meshe*, abych docílil žádaného výsledku podle skutečného vzhledu budov.



Obrázek 4 Kompletní model kampusu v prostředí aplikace Blender

5 Texturování budov

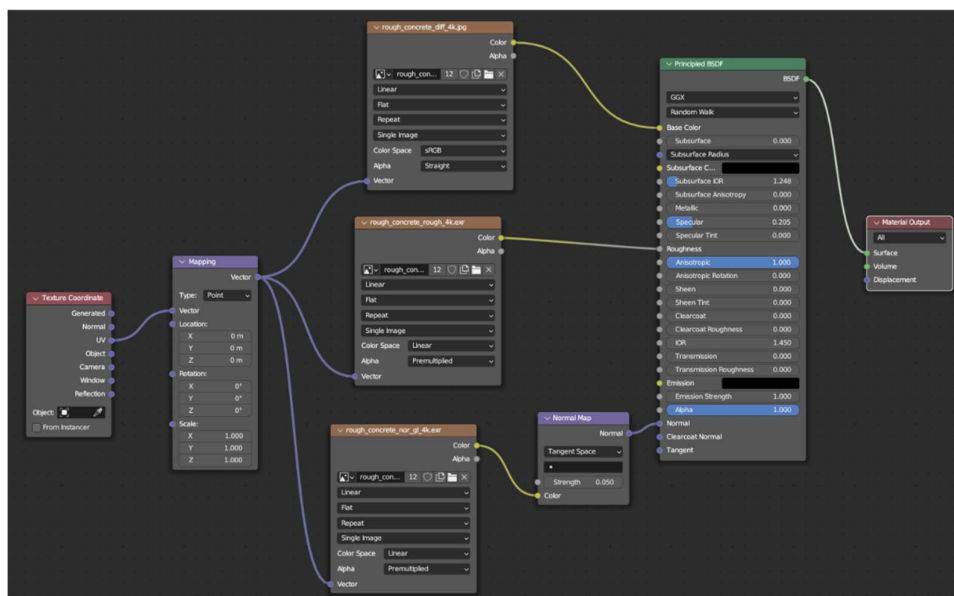
Pro texturování budov jsem využíval tradičních metod UV mapování, kdy jsem převedl objekt do dvourozměrného prostředí kde se následně pomocí bodů, které reprezentují jednotlivé vertexy aplikuje textura na daný objekt. Proces UV mapování spočívá na matematických kalkulacích, které převádějí jednotlivé trojrozměrné souřadnice na osách XYZ do dvourozměrného prostoru na osách UV. Pro převádění svých modelů jsem využíval funkci Smart UV, která se snaží automaticky rozložit plochu modelu podél virtuálních švů, které rozdělí celou plochu modelu a umožní rozložení plochy, aby byla co nejoptimálnější a dala se jednoduše upravovat.



Obrázek 5 Ukázka UV mapy modelu Budova 1

Po úspěšném vytvoření UV mapy objektu je další krok vytvoření textur modelu, pomocí funkce *Shading*, které pomocí uzlů vytváří výstupy barev, vektorů, vlastností materiálu a shaderů. Za využitím této funkce jsem byl schopen vytvořit vlastnosti materiálu jako je třeba reflektivnost nebo hrubost a přidat pomocí uzlů textury pro dané objekty. Prvním krokem bylo vždy propojit UV souřadnice modelu s vektory shaderů, které se následně propojovaly se základní texturou modelu, texturou určující drsnost materiálu, které následně určuje difúzní a odleskové vlastnosti, posledně s obrázkem reprezentujícím normály, které určovaly hrbolatost daného materiálu, a to, jak se na něm odráží světlo. Při tvorbě oken a dveří jsem ještě

využíval atributu *metallic*, který simuluje zrcadlový povrch materiálu, čímž jsem dosáhl lehkých odlesků na povrchu oken, toto se dá také využít při tvorbě zábradlí, pokud chceme, aby bylo lesklé a můžeme to doplnit o nastavení drsnosti, abychom docílili žádaného výsledku, jelikož žádný povrch není perfektně hladký.



Obrázek 6 Ukázka propojení uzlů pro texturu Budovy 1

Pro tvorbu textur jsem využíval jak své vlastní obrázky, které byly jen plochá barva, jelikož byly využité pro texturování oken a dveří, tak i textury z volně dostupných zdrojů, textur je po celém internetu obrovské množství, ale já jsem se rozhodl pro využití specifických PBR materiálů, které se od normálních textur liší způsobem zpracování. Hlavní důvod, proč jsem se rozhodl využívat PBR je ten, že tyto materiály vypadají jednoduše a nejde poznat kde je jeho přelom v případě jeho opakování. Z tohoto důvodu jsem se rozhodl pro využití 4K textur v rozlišení 4096x4096, abych docílil vyšší kvality finální textury, ale tento postup sebou bere jisté limitace v podobně potřeby obrovského množství výpočetní techniky.

5.1 Co jsou PBR materiály

Fyzikálně založené vykreslování (PBR), někdy označované jako fyzikálně založené stínování (PBS), je metoda stínování a vykreslování, která poskytuje přesnější reprezentaci interakce světla s vlastnostmi materiálu. [13]

Fyzikálně založené vykreslování se dokáže zbavit veškerých nepřesností při vytváření atributů povrchu, protože jeho metodika a algoritmy jsou založeny na fyzikálně přesných vzorcích, díky čemuž se takto vytvořené datové zdroje podobají reálným materiálům. Při modelování 3D objektů může být obtížné zajistit, aby za všech světelných podmínek

vypadaly přesně podle vašich představ. [13] PBR tento proces usnadňuje tím, že definuje základní materiály pro různé typy povrchů a pak nechá počítač vypočítat, jak budou vypadat v závislosti na světelných podmínkách. Použitím těchto materiálů bude vaše postava realističtější a zlepší se vizuální kvalita vaší práce. [14]

Fyzikálně založené vykreslování je široce rozšířený pracovní postup pro vytváření konzistentní grafiky, který používá řada umělců. „PBR zkracuje dobu produkce,“ říká Wes McDermott, kreativní producent ve společnosti Adobe, „takže se můžete více soustředit na kreativní stránku věci než na to, jak dosáhnout kýženého výsledku.“ [13]

Díky standardizovanému formátu je lze snadno sdílet mezi aplikacemi (Unreal Engine, Unity, Blender atd.). Dobrá sada textur vám umožní ušetřit čas jejich opakovaným použitím v různých scénách. [14]



Obrázek 7 Ukázka různých PBR materiálů [14]

5.1.1 Difuze, průsvitnost a průhlednost

„Zrcadlový odraz“ je pojem, který se týká světla, jež se odrazilo od povrchu. Světelný paprsek putuje po odrazu od povrchu jiným směrem. Toto se řídí zákonem, který říká, že na dokonalém povrchu se úhel odrazu rovná úhlu dopadu. Většina povrchu je, avšak nepravidelná a směr odrazu se mění v závislosti na drsnosti povrchu. Tím se mění směr světla, ale jeho intenzita zůstává stejná. Drsnější povrchy mohou díky tomuto jevu vypadat matnější. U

hladších povrchu bude zrcadlový odraz soustředěný a při pohledu ze správného úhlu se budou pozorovateli zdát jasnější nebo intenzivněji osvětlené. [13]

Pojmy difúze, rozptýlené světlo a podpovrchový rozptyl popisují efekt světla, které bylo pohlceno nebo rozptýleno uvnitř objektu. Při rozptylu světla se směr paprsku mění náhodně. Velikost odchylky závisí na drsnosti povrchu materiálu. Materiály s vysokým rozptylem a zároveň s nízkou absorpcí se někdy označují jako média podílející se na přenosu světla nebo jako průsvitné materiály. Příkladem takových materiálů jsou kouř, mléko, kůže, nefrit, mramor. [13]



Obrázek 8 Ukázka renderu Chemicko-technologické Fakulty a Menzy



Obrázek 9 Ukázka renderu Ekonomicko-správní Fakulty a Dopravní Fakulty

6 Vytváření modelů pomocí fotogrammetrie

Pro tvorbu modelů soch na školním kampusu jsem se rozhodl využít fotogrammetrii, a to z velmi prostého důvodu, pomocí fotogrammetrie jsme schopni jednoduše vytvořit velmi precizní modely objektů pouze z fotek, které se vyfotí z různých pozic a úhlů pro co největší pokrytí povrchu daného objektu, který chceme nechat složit.

Pomocí této technologie jsem se pokusil vytvořit 3 sochy které se nachází u nás na kampusu, a to památník na sametovou revoluci vedle Auly, sochu chemika vedle vstupu do Chemicko-technologické fakulty a posledně sochu ležící ženy za Ekonomicko-správní fakultou.

Pro získání materiálů jsem se rozhodl využít 3 způsoby, v prvním jsem využil pouze snímky pořízené dronem, v druhém byly použity snímky získané pomocí chytrého telefonu a třetí metoda byla mix předešlých 2 metod, kdy se využily jak snímky z dronu, které zachytily horní část sochy kam jsem se s telefonem, a snímky z telefonu, které zachytily spodní část sochy kam se z bezpečnostních důvodů nešlo dostat s dronem.



Obrázek 10 Render pomníku sametové revoluce

Abych byl schopen z těchto fotek vytvořit 3D model musel jsem využít speciální software zaměřen na výpočet rozměrů a souřadnic z fotografií. Rozhodl jsem se využít program Meshroom, se kterým jsem měl již předchozí zkušenosti a je relativně jednoduchý na

pochopení, jak se v něm pracuje pro nováčky. Meshroom nabízí široké množství nástrojů pro vylepšení výstupů a nastavení pro zachycení nechtěných prvků při generaci meshe.

Model památníku byl vytvořen pomocí snímků z telefonu. Při tvorbě z telefonu, jelikož telefon většinou neukládá tak důkladné souřadnice polohy, ze které byla fotka pořízena, tak se vyžaduje větší množství fotografií, čímž se úměrně zvyšuje i čas zpracování. Při porovnání s tvorbou modelů za pomoci snímků z dronu, kdy bylo využito jen 7 snímků, se dosáhlo ještě kvalitnějšího výsledku mnohem rychleji než při skladbě z telefonu. Díky tomu že dron v sobě ukládá detailnější informace o poloze jednotlivých snímků. Spojení těchto dvou metod by vyneslo pravděpodobně stejné výsledky, jako využití pouze dronu, bohužel výsledek této metody nedokážu posoudit, jelikož výstup nevyšel podle očekávání z důvodu špatných světelných podmínek ve spojení s velmi tmavým podnětem.

6.1 Jak zařídit kvalitní výsledek

Pro kvalitní výsledek fotogrammetrie není zapotřebí nějaký extrémně drahé studio a vybavení. Základem pro kvalitní výstup je světlo, pokud chcete vytvořit model objektu, který se nachází ve venkovním prostředí, tak je výběr počasí a času pro získání materiálu klíčový. Když půjdete v pravé poledne za slunečného dne získáte lepší výsledky, než když půjdete za slunečného dne k večeru nebo brzy ráno, jelikož vámi vybraný objekt nebude dostatečně nasvícen nebo slunce bude vrhat stíny špatným směrem což zabráni pořízení kvalitních fotografií. Když vám výběr počasí nevyjde, tak není ještě vše ztraceno stále se dají pořídit dostačující snímky, jestli že je zrovna lehce zataženo, ale stále jde velmi dobře vidět, tak pravděpodobně budete mít kvalitní fotografie s pomocí lehké úpravy fotoaparátu, který pro snímky používáte. Je zde však jedno pravidlo, jestliže objekt, který chcete vyfotit má velmi tmavou barvu, tak je lepší si počkat na výborné počasí a dostatek světla, jinak vámi vybraný software nebude schopen rozeznat klíčové prvky a výstupem bude model bez detailů anebo něco co se danému objektu ani nepodobá.

Dalším faktorem pro kvalitní výstup je fotoaparát, který používáte. Nepotřebujete zrovna nejdražší hračku na trhu, většinu času vám postačí i váš osobní telefon, s alespoň trochu decentním fotoaparátem, který dokáže fotit alespoň do FullHD kvality, nejlépe do kvality 4K, díky které bude váš software schopen vytáhnout co nejvíce detailů. Hlavní je, aby kamera nebo fotoaparát, který jste si vybrali byl dobře kalibrován.

Dostatečný překryv fotek a jejich ostrost, je dalším klíčovým bodem pro zajištění kvalitního výstupu. Překryv se většinou doporučuje minimálně 60% mezi 2 fotkami, což vám zajistí nejlepší spojování prvků objektu a přesnější triangulaci. Ostrost a kvalita fotografií je asi jedním z nejdůležitějších bodů pro zajištění výsledku jaký si přejete. Musíte zajistit, že vaše fotky mají dostatečnou expozici a hloubku ostrosti, aby váš objekt, který chcete vytvořit byl stále zaostřený. Špatně zaostřené fotky mohou zničit celý proces vykreslování objektu.

Jestliže máte v plánu pro získání fotek využít dron, tak si musíte velmi pečlivě naplánovat trasu po, které bude dron sbírat snímky. Před tím než se, ale rozhodnete využít dron musíte si zajistit, že na místě, kde se váš objekt nachází bude dostatečné místo pro jeho let a trasu, abyste se vyhnuly zbytečným nebezpečným situacím. Navíc ještě musíte dávat pozor na sílu větru, jestli váš dron má dost silné rotory, aby se dokázal stabilizovat ve větru a pořídit ostrý snímek.

7 Závěr

V této práci jsme si ukázali vznik počítačové grafiky a její vývoj k pokročilé 3D grafice, která se dnes využívá. Seznámili jsme se s pár odvětvími průmyslu, kde se 3D grafika využívá nejvíc a díky kterým se neustále posunuje v před, kvůli její žádanosti a potřebě při tvorbě nových technologií.

Podívali jsme se pod pokličku tvorby video her od základu až po finální prostředí, vysvětlili jsme si pojmy Herní engine a co všechno do něj spadá jako například umělá inteligence, algoritmy fyzikálních vlastností atd. Probrali jsme vývoj herních postav od prvotního nápadu až po finální model s animacemi a jak probíhá tvorba herního prostředí.

Seznámili jsme se také s tématy, které se v dnešní době řeší ve spojení s 3D grafikou a tím kam se může ještě posunout. Dozvěděli jsme se, že pomocí umělé inteligence lze vytvářet nejen 2D obrázky pomocí textu, ale už se vyvíjejí nové metody pro vytváření 3D objektů pomocí textových vstupů.

Poznali jsme svět medicíny, kde dokáže 3D grafika pomáhat chirurgům a plastickým chirurgům při opravách lebečních defektů ať už vrozených nebo po operaci. Toto je možné díky využití systému CAD a CAM, které dodali chirurgům mnoho nástrojů pro lepší výsledky.

Pomocí 3D grafiky a umělé inteligenci jsme se také přiblížili ke tvorbě fotorealistických hologramům, za pomoci konvoluční neuronové sítě (CNN), která dokáže běžet na nízko příkonových procesorech telefonů a je poháněna rozsáhlou datovou sadou se 4 000 snímky ve vysoké kvalitě.

Podívali jsme se na metodu vytváření jemných vrásek na 3D obličejích pomocí speciální generativní metody, které za využití algoritmů dokáže vytvořit spojitý prostor vrásek obličeje, aby bylo možné generovat věrohodné vrásky obličeje pomocí efektivního vzorkování a interpolace v tomto prostoru.

Ukázali jsme si, ale také jak může 3D grafika pomáhat v životě slepých nebo těžce zrakově postižených osob. Díky využití speciálních 3D map se tito lidé dokáží lépe naučit orientaci a mobilitu v daném prostoru, závěr této studie došel k výsledku, že většina nevidomých lidí preferovala 3D mapu proti tradiční 2D hmatové mapě používané doted'.

V praktické části jsem se zaměřil na tvorbu 3D modelu školního kampusu, který bude dále využit pro virtuální prohlídky. Prvním krokem tohoto procesu bylo jaký software si vybrat pro tvorbu tohoto modelu a po zvážení všech možných variant jsem se rozhodl pro Blender.

Po vybrání softwaru jsem se pustil do modelování jednotlivých budov za využití dvou různých metod, abych zjistil, která z nich byla lepší. První metoda byla zbytečně složitá, jelikož jsem vytvářel pouze jedno patro, které jsem poté musel kopírovat a upravovat podle potřeby, přičemž druhá metoda byla mnohem jednodušší a rychlejší než první, jelikož jsem vytvářel všechno zároveň tak jsem měl lepší kontrolu nad výsledkem finálního modelu.

Pro texturování jsem se rozhodl jít tradiční cestou, kdy jsem využíval UV mapping pro tvorbu textur jednotlivých budov za pomoci využití PBR materiálů a jejich vlastností, jako je drsnost, difúze, průsvitnost, železnost, které jsem upravoval abych docílil co nejlepších výsledků.

Během texturování jsem došel k závěru, že pro využívání PBR materiálů ve vysoké kvalitě je zapotřebí vlastnit velmi silný stroj s velkým množstvím výpočetní techniky a paměti RAM. Jelikož jsem pro texturování využíval materiály v 4K kvalitě, tak jsem při zobrazování celého modelu narazil na problém se stabilitou mnou využívaného softwaru z důvodu nedostatečné paměti RAM.

Některé modely jsem také vytvářel pomocí fotogrammetrie, kde jsem vyzkoušel využití 2 zdrojů materiálu, a to dron a mobilní telefon, které jsem potom porovnával mezi sebou na základě kvality jednotlivých složených modelů. Jak se dalo předpokládat, tak pomocí dronu byl finální výsledek kvalitnější, a ještě k tomu využíval menší množství materiálu, a tudíž byl složen mnohem rychleji.

Použitá literatura

- [1] GANOVELI, Fabio, Massimiliano CORISINI, Sumanta PATTANIK a Marco Di BENEDETO. *Introduction to Computer Graphics: A practical learning approach*. London: Chapman & Hall, 2014. ISBN 978-1439852798
- [2] History of computer graphics. *TutorialandExample* [online]. Indie: TutorialandExample.com, 2019, 2019-12-11 [cit. 2023-06-22]. Dostupné z: <https://www.tutorialandexample.com/history-of-computer-graphics>
- [3] AKENINE MÖLLER, Thomas, Eric HAINES, Naty HOFFMAN, Angelo PRESCE, Michał IWANICKI a Sébastien HILAIRE. *Real-Time Rendering*. 4th ed. Florida: CRC Press, 2018. ISBN 9780429225406
- [4] *Avatar: A Technological Masterpiece that Changed the Face of Cinema* [online]. Ci-Lovers, 2022 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://cilovers.com/avatar-a-technological-masterpiece-that-changed-the-face-of-cinema/#:~:text=The%20motion%20capture%20system%20used,actors%27%20performances%20in%20great%20detail>
- [5] *Gaming Engines* [online]. Cambridge: Arm, c1995-2023 [cit. 2023-06-23]. Dostupné z: <https://www.arm.com/glossary/gaming-engines>
- [6] GREGORY, Jason. *Game Engine Architecture*. 3rd ed. Florida: CRC Press, 2018. ISBN 9781351974271
- [7] RUSSO, Mario. *Polygonal Modeling: Basic and Advanced Techniques*. Massachusetts: Jones & Bartlett, 2005. ISBN 9781598220070.
- [8] CHEN-HSUAN, Lin, Gao JUN, Tang LUMING, et al. Magic3D: High-Resolution Text-to-3D Content Creation. *In Proceedings of the IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition* [online]. 2023, 25 Mar 2023, **2023**, 300-309 [cit. 2023-06-25]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.48550/arXiv.2211.10440>
- [9] PARTHASARATHY, Jayanthi. 3D modeling, custom implants and its future perspectives in craniofacial surgery. *Annals of Maxillofacial Surgery* [online]. 2014, 2014, **4**(1), 9-18 [cit. 2023-06-25]. Dostupné z: doi: 10.4103/2231-0746.133065
- [10] SHI, Liang, Beichen LI, Changil KIM, Petr KELLNHOFER a Wojciech MATUSIK. Towards real-time photorealistic 3D holography with deep neural

- networks. *Nature* [online]. 2021, 2021, **591**, 234-239 [cit. 2023-06-25]. ISSN 1476-4687. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1038/s41586-020-03152-0>
- [11] DENG, Q., A. JIN, H. BI, B. H. LE a Z. DENG. Plausible 3D Face Wrinkle Generation Using Variational Autoencoders. *Transactions on Visualization and Computer Graphics* [online]. IEEE, 2022, **28**(9), 3113-3125 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: doi: 10.1109/TVCG.2021.3051251
- [12] HOLLOWAY, Leona, Kim MARRIOTT a Matthew BUTLER. Maps for the Blind: Comparing 3D Printed Models with Tactile Graphics. In *Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems* [online]. 2018, **2018**(198), 1-13 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: doi: <https://doi.org/10.1145/3173574.3173772>
- [13] Vše, co jste chtěli vědět o fyzikálně založeném vykreslování. *Adobe* [online]. San Jose: Adobe, c2023 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.adobe.com/cz/products/substance3d/discover/pbr.html>
- [14] What are PBR materials? Learn more about PBR material. *Visao* [online]. Québec: Visao, c2023 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://visao.ca/what-are-pbr-materials/>
- [15] WHAT IS PHOTOGRAMMETRY?. *TOPS: take-off professionals* [online]. Mesa (Arizona): TOPS marketing, 2020 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.takeoffpros.com/2020/06/16/what-is-photogrammetry/>
- [16] What is Photogrammetry?. *Photogrammetry* [online]. Kanada: Alan Walford, c2007-2017 [cit. 2023-06-26]. Dostupné z: <https://www.photogrammetry.com>