

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STAVEBNÍ

STUDIJNÍ PROGRAM GEODEZIE A KARTOGRAFIE
STUDIJNÍ OBOR GEOMATIKA



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**VIRTUÁLNÍ SKANSEN – PREZENTACE MODELŮ
VENKOVSKÝCH STAVENÍ**

VIRTUAL OPEN-AIR MUSEUM – PRESENTATION OF MODELS
OF RURAL BUILDINGS

Vedoucí práce: Ing. Petr Soukup, Ph.D.
Katedra geomatiky

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

Fakulta stavební

Thákurova 7, 166 29 Praha 6



ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Bc. Frommeltová Jméno: Eva Osobní číslo: 458613
Zadávající katedra: Katedra geomatiky
Studijní program: Geodézie a kartografie
Studijní obor: Geomatika

II. ÚDAJE K DIPLOMOVÉ PRÁCI

Název diplomové práce: Virtuální skansen - prezentace modelů venkovských stavení

Název diplomové práce anglicky: Virtual open-air museum - presentation of models of rural buildings

Pokyny pro vypracování:

S využitím plánové dokumentace vytvořte digitální model objektu Kundratice čp. 60 a v jeho blízkém okolí vymodelujte terén z dat DMR 5G.

Prezentujte vytvořený model formou webových stránek a pomocí nástrojů virtuální reality.

Ověřte možnosti doplnění prezentace modelu o další textové a obrazové informace.

Navržený postup prezentace aplikujte na vybrané digitální modely venkovských stavení.

Seznam doporučené literatury:

LaValle, M. S.: Virtual Reality. Cambridge University Press. [online]. 2015 Dostupné z: <http://lavalle.pl/vr/>
Pflug, R.: Využití virtuální reality při dokumentaci a vizualizaci památkových objektů. Diplomová práce. ČVUT v Praze, FSv, 2020

Technická dokumentace programů SketchUp, Unreal Engine a Lumion

Jméno vedoucího diplomové práce: Ing. Petr Soukup, Ph.D.

Datum zadání diplomové práce: 15. 2. 2021

Termín odevzdání diplomové práce: 16. 5. 2021

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vědoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat diplomovou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v diplomové práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

17. 2. 2021

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma „*Virtuální skansen – prezentace modelů venkovských stavení*“ vypracovala samostatně za použití uvedené literatury a zdrojů.

Dále prohlašuji, že nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne

.....
Bc. Eva Frommeliová

Poděkování

Chtěla bych poděkovat vedoucímu práce Ing. Petru Soukupovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, ochotu a užitečné rady při zpracování diplomové práce. Také bych chtěla poděkovat PhDr. Kateřině Sedlické za odborné rady poskytnuté při modelaci stavení. Dále bych ráda poděkovala své rodině, která mě podporovala po celou dobu mého studia.

Abstrakt

Tato diplomová práce se zabývá vizualizacemi 3D modelů venkovských stavení v prostředí webových stránek a virtuální reality. V rámci práce byl vytvořen digitální model stavení Kundratice č.p. 60 s využitím plánové dokumentace vytvořené v roce 1943 Ing. Vodseďálkem. Digitální model byl vytvořen v programu *SketchUp*. Vizualizace modelu byly vytvořeny prostřednictvím různých platform, které jsou v práci popsány. Dále byl navržen postup pro vizualizaci dalších 3D modelů venkovských stavení.

Klíčová slova

Kundratice, venkovské stavení, 3D modelování, SketchUp, WebGL, Virtuální prohlídka, Virtuální realita, Lumion, Unreal Engine 4

Abstract

This master's thesis is focused on visualizations of 3D models of rural buildings on the website and in virtual reality environment. As part of the thesis, a digital model of the Kundratice 60 was created. Model is based on documentation created by Ing. Vodseďálek in 1943. The digital model was created in *SketchUp* software. Model visualizations were created using various platforms, which are described in the thesis. The procedure was designed for the visualization of other 3D models of rural buildings.

Keywords

Kundratice, rural building, 3D modeling, SketchUp, WebGL, Virtual tour, Virtual reality, Lumion, Unreal Engine 4

Obsah

Úvod.....	8
1 Rešerše.....	10
2 Modelování ve 3D.....	14
<i>2.1 Druhy reprezentace.....</i>	<i>14</i>
2.1.1 Hraniční reprezentace těles	14
2.1.2 Konstruktivní geometrie těles.....	15
2.1.3 Objemová reprezentace těles	16
<i>2.2 Zobrazování prostorových dat</i>	<i>16</i>
2.2.1 Grafická transformace	16
2.2.2 Promítání.....	17
2.2.3 Světlo.....	19
2.2.4 Stínování	20
2.2.5 Řešení viditelnosti	21
2.2.6 Stíny.....	21
2.2.7 Textury	22
2.2.8 Globální zobrazovací metody	23
<i>2.3 Virtuální prohlídka.....</i>	<i>24</i>
3 Virtuální Realita	25
<i>3.1 Definice pojmu.....</i>	<i>25</i>
<i>3.2 Historie</i>	<i>27</i>
<i>3.3 Současná zařízení pro VR</i>	<i>30</i>
<i>3.4 Využití</i>	<i>32</i>
4 Digitální model Kundratice	34
<i>4.1 Vodní mlýn – Kundratice.....</i>	<i>34</i>
4.1.1 Exteriér.....	35
4.1.2 Interiér.....	35
<i>4.2 SketchUp</i>	<i>36</i>
<i>4.3 Modelování v programu SketchUp</i>	<i>38</i>
4.3.1 Stěny	39
4.3.2 Terén a podlahy	41
4.3.3 Střecha a krový	42
4.3.4 Ostatní části modelu.....	44
<i>4.4 Digitální model terénu</i>	<i>45</i>
4.4.1 Digitální model reliéfu ČR 5. generace (DMR 5G).....	46
4.4.2 Tvorba DMR v programu SketchUp	46
4.4.3 Tvorba DMR v programu ArcGIS Pro.....	48

5 Prezentace modelu v prostředí VR	49
<i>5.1 Zařízení HTC Vive.....</i>	<i>49</i>
<i>5.2 VR Sketch</i>	<i>51</i>
<i>5.3 Unreal Engine</i>	<i>52</i>
<i>5.3.1 Založení projektu.....</i>	<i>53</i>
<i>5.3.2 Tvorba krajiny</i>	<i>54</i>
<i>5.3.3 Přidání interaktivního obsahu</i>	<i>56</i>
<i>5.3.4 TerraForm Pro a Datasmith importer.....</i>	<i>59</i>
<i>5.3.5 Export na web.....</i>	<i>59</i>
<i>5.4 SketchUp Viewer pro VR.....</i>	<i>61</i>
<i>5.4.1 SketchUp Mobile Viewer</i>	<i>62</i>
<i>5.5 Lumion</i>	<i>63</i>
6 Prezentace modelu na webu	68
<i>6.1 Prezentace pomocí WebGL.....</i>	<i>68</i>
<i>6.1.1 CopperCube</i>	<i>68</i>
<i>6.1.2 Three.js.....</i>	<i>73</i>
<i>6.1.3 Babylon.js</i>	<i>75</i>
<i>6.2 Virtuální prohlídka.....</i>	<i>78</i>
<i>6.2.1 Lapentor.....</i>	<i>78</i>
<i>6.2.2 Marzipano</i>	<i>80</i>
<i>6.3 Další možnosti</i>	<i>81</i>
<i>6.3.1 3D Warehouse</i>	<i>81</i>
<i>6.3.2 Sketchfab</i>	<i>81</i>
<i>6.3.3 Modelo</i>	<i>82</i>
7 Navržený postup prezentace modelů	83
<i>7.1 Shrnutí pro prostředí VR.....</i>	<i>83</i>
<i>7.2 Shrnutí pro web.....</i>	<i>85</i>
<i>7.3 Navržený postup prezentace</i>	<i>86</i>
<i>7.4 Prezentace dalších modelů.....</i>	<i>88</i>
Závěr	89
Použitá literatura a prameny	91
Seznam zkratek	98
Seznam obrázků	100
Seznam tabulek	102
Seznam příloh	103

Úvod

Diplomová práce byla vytvořena v rámci projektu „*VISKALIA – Virtuální skansen lidové architektury*“ [1]. Cílem projektu je zachránit co možná nejrozsáhlejší fondy plánové, kresebné a fotografické dokumentace lidové architektury v ČR a zpřístupnit je široké veřejnosti. Projekt je realizován s podporou Ministerstva kultury ČR v rámci „*Programu aplikovaného výzkumu a vývoje národní a kulturní identity*“ (NAKI II) v letech 2020 až 2022. Na projektu spolupracují Národní muzeum, Etnologický ústav AV ČR, v. v. i. a Fakulta stavební ČVUT v Praze.

Již zmiňované fondy přinášejí původní převážně etnologická data o podobě, funkci a identitárním významu lidové architektury v době před její transformací v muzejní či památkové objekty. V tomto projektu je snaha inovativně a progresivně zpřístupnit tyto fondy nejširší veřejnosti v rámci jednotné platformy. V prostředí vytvořené platformy by se měly nacházet prezentace kulturního dědictví prostřednictvím nových technologií, zejména 3D modelování. Platforma by mohla sloužit jako pomůcka pro vzdělávání a zároveň přispět k popularizaci lidové architektury.

Především v době pandemie, kdy jsou fyzická muzea a další instituce zavřené pro návštěvníky, je důležité, hledat jiné cesty, jak znalosti o naší historii předat dále. Proto tvorba virtuálních muzeí (skansenů) má obzvláště dnes velký význam. Uživatelé mohou jejich prostřednictvím navštívit různé stavby a expozice z domova. Prezentace lidové architektury pomocí webových stránek a prostřednictvím virtuální reality (VR) mohou být poučné a zároveň i velice zábavné.

Hlavním cílem diplomové práce je především průzkum různých možností prezentací digitálních modelů na webových stránkách a v prostředí virtuální reality. Rovněž na základě tohoto průzkumu navrhnout postup, který by byl optimální pro prezentaci 3D modelů vzniklých v rámci projektu. Dalším cílem práce je vytvoření digitálního modelu stavení Kundratice č. p. 60 na základě plánové dokumentace vzniklé v roce 1943, kterou vytvořil Ing. Vodseďálek. Na tomto modelu budou testovány různé způsoby prezentací. Dále bude ověřena možnost doplňovat digitální modely o další popisná a obrazová data.

První kapitola práce obsahuje rešerši zaměřenou na problematiku týkající se témat práce, jako jsou lidová architektura, vizualizace digitálních modelů a zejména tvorba virtuálních muzeí (virtuálních prohlídek). Druhá kapitola stručně popisuje teorii 3D modelování. Třetí kapitola se zabývá virtuální realitou, konkrétně její definicí, historickým vývojem a zařízeními pro VR. Čtvrtá se věnuje tvorbě modelu v programu *SketchUp*. Další dvě se zaměřují na prezentaci modelu, pátá kapitola na prezentaci ve VR a šestá na prezentaci na webu. Sedmá kapitola obsahuje shrnutí výhod a nevýhod jednotlivých softwarů a návrh postupu prezentace ostatních modelů vzniklých v rámci projektu *VISKALIA*.

1 Rešerše

Pro zorientování se v dané problematice byla provedena rešerše zdrojů zabývajících se dokumentací historických staveb, 3D modelováním a prezentací digitálních modelů na webu. Další část rešerše je věnována využití VR k vizualizaci virtuálních muzeí a tvorbě virtuálních prohlídek.

Před zahájením tvorby modelu bylo nutné nastudovat plánovou dokumentaci stavení. Pro lepší pochopení dobových podkladů byla prostudována literatura *Plošný průzkum lidové architektury a venkovských sídel* [2], *Lidová architektura* [3] a *Nejstarší venkovské domy ve východních Čechách* [4].

Informace o programu *SketchUp* byly čerpány převážně z oficiálních stránek programu [5], na kterých se nachází velké množství instrukcí ohledně modelování v programu a vizualizace digitálních modelů. Na webových stránkách lze také nalézt informace o zobrazení modelů ve virtuální realitě a rozšíření programu pro použití ve VR. Pro vizualizaci je zde doporučován program *Lumion* [6], který byl v této práci využit k prezentaci vytvořeného digitálního modelu.

Dalším cenným zdrojem byly již napsané práce na podobné téma, jako je například diplomová práce Petry Hejdukové s názvem *Tvorba a prezentace modelu venkovského stavení v obci Křešice-Sedlec* [7], zabývající se tvorbou modelu a jeho prezentací pomocí knihoven *Three.js* a *Babylon.js*. Pro představu o možnosti vystavení digitálních modelů na webu byla dále využita práce *Tvorba jednoduchého informačního systému kláštera sv. Anežky České v Praze* [8] od Jana Voříška. Ten se zabýval prezentací modelu vytvořeného v programu *SketchUp* na webu a tvorbou virtuální prohlídky pomocí panoramatických snímků. Diplomové práce *Vizualizace železniční trati Praha – Kralupy nad Vltavou* [9] od Jana Šafránka a *Tvorba a vizualizace 3D modelů vybraných pramenů ve Františkových Lázních* [10] od Zdeňka Lavičky se věnují tvorbě a vizualizaci digitálních modelů. Také byly v těchto textech nalezeny informace o možnosti využití různých pluginů pro *SketchUp*, které mohou ulehčit dlouhý proces modelování.

Problematice prezentací digitálních modelů na webu a doplnění modelů o další obsah se věnuje diplomová práce Pavla Tobiáše – *Využití aplikace SketchUp pro tvorbu jednoduchého informačního systému* [11], který v rámci své práce vytvořil

plugin TIS k programu *SketchUp*, který umožňuje modelům přidat další informace (např. text, obrázky). Také provedl průzkum využití programu *Copper Cube*.

Prezentaci 3D modelů ve virtuální realitě se věnuje diplomová práce *Prezentace 3D modelů a GIS dat v prostředí virtuální reality* [12] od Vojtěcha Ceháka, který využil prostředí *Unreal Engine* pro prezentaci GIS dat, či diplomová práce *Využití virtuální reality při dokumentaci a vizualizaci památkových objektů* [13] od Robina Pfluga, který vytvořil virtuální muzeum, v němž se nacházejí historické objekty, vytvořené fotogrammetrickými metodami. Další zajímavou prací je *Virtuální prohlídka FITu pro Oculus Quest* [14], jejímž autorem je *Michal Janů*. Autor v rámci své práce vytvořil prohlídku areálu VUT FIT v prostředí VR obsahující navigaci po objektu, okamžitý přenos a prohlížení základních informací o místnostech.

Štěpán Guňa se ve své práci *Možnosti Unreal Engine* [15] věnuje využití *UE4* při tvoření aplikací zaměřených na vizualizaci a chování objektů reálného světa. Dále vytvořil pluginy umožňující tvorbu map vizuálního světa a nastavení grafických možností aplikací. Také práce *Zobrazování komplexní vegetace v Unreal engine 4* [16] Kateřiny Švecové se zabývá tvorbou v programu *UE4*. V rámci své práce vytvořila poloautomatický generátor krajiny pro různá roční období.

Publikace *3D Visualization of vistorical buildings: methods, their utility in the tourism industry and beyond* [17], od autorů Pavla Ugwitze, Lukáše Hermana a Zdeňka Stachoně, přináší přehled, jak lze využít virtuální rekonstrukci budov pro regionální rozvoj a další obory. Zdůrazňuje výhody digitálních rekonstrukcí budov oproti reálným rekonstrukcím, které často nejsou ani možné.

Studie *Využití geoinformačních technologií a dat DPZ k tvorbě historického modelu území: 3D rekonstrukce ostrovského kláštera v gotické a románské podobě* [18] od autorů Josefa Laštovičky, Přemysla Štychla a Tomáše Palatého, jejímž hlavním tématem je 3D rekonstrukce zaniklého kláštera sv. Jana Křtitele na Ostrově u Davle, přináší model kláštera. Ten byl vytvořen pomocí spojení současných technologií GIS a DPZ s poznatky archeologů. Byly vytvořeny dva detailní modely a jejich vizualizace zobrazující stav krajiny ve 12. a 14. století. Pro tvorbu terénu byl použit program *AutoCAD Civil 3D*, budovy byly vymodelovány v programu *SketchUp* a vizualizace byla vytvořena v programu *Lumion*. Výsledky projektu jsou součástí stálé expozice Regionálního muzea v Jílové.

Článek *Avatars as storytellers: affective narratives in virtual museums* [19] od autorů Stella Sylaiou, Vlasiose Kasapakis a spol. přináší informace ohledně využití avatarů, kteří vypráví příběh sochy Arria at Pætus¹ ve virtuálním muzeu. Autoři popsali, jak působí na uživatele tři různí avataři – kurátor, strážce muzea a návštěvník. Pomocí dotazníků zkoumali úroveň znalosti dějin, ztrátu smyslu pro reálný prostor, ztrátu pojmu o čase a emoční reakci na vyprávění.

Tvorba virtuálního muzea je popsána v článku *Virtual museums. Captured reality and 3D modeling* [20], ve kterém se autoři zabývají tvorbou virtuálního prostředí s cílem šířit kulturní dědictví. Byly vytvořeny dvě virtuální scény. První z nich tzv. *Virtual Collections*, což je počítačově generované prostředí, v němž jsou prezentovány fotogrammetricky vytvořené 3D modely exponátů. Druhá scéna, *Krause*, je vytvořena jako digitalizovaná podoba skutečné výstavy. Projekt kombinuje fotogrammetrické metody s počítačovým 3D modelováním.

V době pandemie má mnoho muzeí a jiných institucí potřebu alespoň virtuálně zpřístupnit své expozice. Virtuální prohlídka vil Augusta a Johanna Hückelů [21], které se nacházejí v Novém Jičíně, vytvořená firmou 3D-port.cz, je jednou z mnoha příkladů virtuální prohlídky na webových stránkách. Uživatelům je zpřístupněn každý kout vily. Prohlídku je dále možné si projít i v „brýlích“ pro virtuální realitu. Prohlídka je vytvořena v americkém softwaru *Matterport*.

Samozřejmě ani muzea ve světě nezůstávají pozadu. Za zmínku určitě stojí francouzský Louvre, který kromě několika virtuálních prohlídek svých expozic, vytvořil i projekt „*Mona Lisa: Beyond the Glass*“ [22]. Projekt používá nejnovější výzkum tvůrčích procesů a malířské techniky díla Leonarda da Vinciho pro vytvoření modelu Mony Lisy v prostředí virtuální reality. Výsledek projektu je možné si stáhnout do chytrého telefonu a prohlédnout. Na projektu se kromě muzea podílely firmy *Emissive* a *Vive*.

Virtuální prohlídky se nemusejí zaměřovat pouze na muzea či historicky zajímavé objekty. Například ČEZ nabízí soubor prohlídek [23], ve kterém umožňuje virtuálně si prohlédnout 16 lokalit s více než 200 zastávkami. Je možné si prohlédnout jadernou elektrárnu Temelín či vodní elektrárnu Štěchovice a mnohé

¹ BARDOU, Benjamin. Arria et Pætus – Louvre Museum
Dostupné z: <https://sketchfab.com/3d-models/arria-et-ptus-louvre-museum-e5dc1871b7654429b883b9e04c8418c4>

další objekty. Prohlídka nepodporuje zařízení pro VR, ale je doplněna velkým množstvím informačních bodů. Virtuální prohlídky realizovala firma Virtual panorama [24] a CDI. Firma Virtual panorama používá pro spojování panoramatických snímků software *PTGui* a pro jejich sférické zobrazení software *Krpano*. Na svých stránkách vystavuje mnoho vytvořených virtuálních prohlídek.

Tvorba virtuálních prohlídek a virtuálních muzeí se velice rychle rozvíjí. V dnešní době existuje mnoho různých softwarů pro jejich tvorbu. Je patrné, že v popředí jsou stále virtuální prohlídky, které tvoří především panoramatické snímky muzeí nebo jiných míst, které mohou disponovat podporou VR. Tyto prohlídky bývají doplněny navigačními prvky a obsahují různé informace (texty, fotografie). Hlavním důvodem jejich hojného užívání je snadná publikace, díky které lze virtuální prohlídku snadno vystavit na webových stránkách a zpřístupnit ji široké veřejnosti.

V poslední době dochází k rozvoji virtuálních muzeí pro VR, které jsou tvořeny generovaným počítačovým prostředím. Výhodou těchto muzeí je to, že přináší plnohodnotný zážitek z VR prostředí. Uživatel se ocitne přímo ve virtuálním světě a často s ním může i interagovat (například se může dotýkat a hýbat s exponáty). Ve virtuálním prostředí lze dále prezentovat stavby nebo celé krajiny, které v reálném světě již neexistují. Nevýhodou je velká pracnost vytvoření těchto prostředí a vysoké nároky na potřebný software a hardware. Jejich publikace je navíc komplikovanější, neboť zařízení pro VR stále nejsou běžnou součástí domácností.

2 Modelování ve 3D

V dnešní době jsou digitální 3D modely hojně využívány ve všech možných oborech. Ať už jsou to modely sloužící pro herní či filmový průmysl nebo modely využívané ve stavebnictví, strojírenství atd. Na rozdíl od dvourozměrného zobrazení lze ve 3D získat lepší informace o prostoru. V počítačové grafice je pojednané 3D modelování chápán jako proces tvarování a vytváření 3D objektu ve třech rozměrech pomocí specifického softwaru. [25]

Většina digitálních objektů v trojrozměrném prostoru má charakter tělesa, které zaujímá určitý objem a je obdobou skutečného hmotného předmětu. Na těleso lze nahlížet jako na množinu bodů v prostoru. Trojrozměrný prostor může být definován souřadnicovými osami x, y, z . Osa x je kolmá na osu y ve vodorovné rovině a na osu z ve svislé rovině. Bod, kde se osy protínají, je nazýván počátkem souřadnicového systému a je dán souřadnicemi $[0,0,0]$. Pak lze určit pozici bodu jako uspořádanou trojici reálných čísel. Každé číslo udává vzdálenost bodu od počátku podél příslušné osy. Takto definovaná soustava se nazývá Kartézská soustava souřadnic. [26]

2.1 Druhy reprezentace

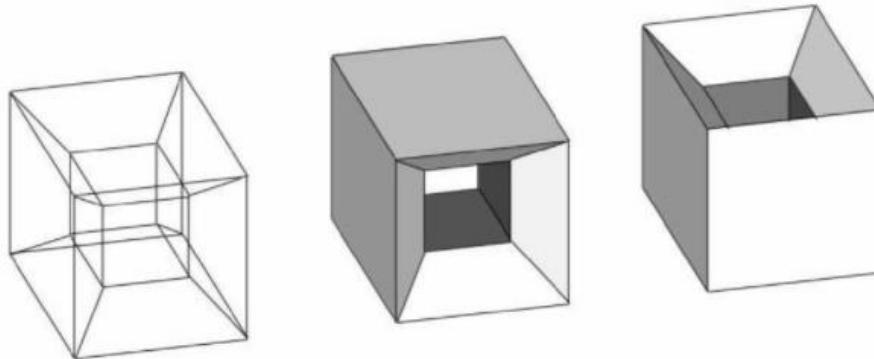
Souřadnice určené trojicí číselných hodnot jsou základem pro mnohé zobrazení geometrického obsahu ve 3D prostoru. Kromě určení polohy tělesa v prostoru je však dále nutné definovat, jak budou tato tělesa reprezentována.

2.1.1 Hraniční reprezentace těles

Jeden z nejběžnějších způsobů reprezentace těles spočívá v popisu jeho hranice (tzv. *hraniční reprezentace*). Těleso je popsáno jako mnohostěn jednoznačně určený svými hranicemi (stěnami, hranami a vrcholy). V hraniční reprezentaci je vytvářena pouze obálka objektu, se kterou lze dále manipulovat (např. přiřazovat textury). Tímto způsobem lze vymodelovat i tělesa, která nelze vyrobit (tzv. non-manifolds).

Hranová reprezentace (také označována jako *drátový model*) je nejjednodušší a nejstarší metodou popisu hranice tělesa. Uchovává hrany objektu a jejich umístění dané souřadnicemi vrcholů. Při implementaci drátového modelu je vytvořen

seznam bodů a seznam hran. Každá položka v seznamu hran má dva ukazatele do seznamu vrcholů. Tato jednoduchá struktura obsahuje pouze minimální množství topologických informací. Může tedy nastat situace, kdy není drátový model možné jednoznačně interpretovat. [27]



Obr.1: Nejednoznačnost hran [27]

Další reprezentace, tzv. *plošková reprezentace*, popisuje hranici tvořenou plochami. Rozšiřuje tak drátový model o vrstvu ploch (stěn). Příkladem může být *VEFS*² model, u kterého je těleso určeno seznamem rovinných polygonálních plošek. Ty bývají tvořeny často trojúhelníky nebo čtyřúhelníky (každá stěna má vždy stejný počet vrcholů) a pokrývají tělesa jako dlaždice.

Nejznámější strukturou ploškové reprezentace je tzv. *okřídlená hrana* (známá též jako *strukturovaná plošková reprezentace*). Kromě geometrické informace obsahuje i podrobnější informaci o topologii tělesa. Každé těleso je tvořeno datovou strukturou tří seznamů. V nejnižší úrovni je seznam vrcholů, pak následuje seznam okřídlených hran a poslední je seznam ploch. Každá hrana obsahuje informaci o koncových bodech a sousedních plochách. Navíc obsahuje informace o dalších čtyřech hranách. Z této struktury lze jednoznačně odvodit například stěny, které sousedí s danou stěnou nebo stěny se společnou hranou apod. [28]

2.1.2 Konstruktivní geometrie těles

V oblasti CAD (*Computer-aided design*, česky počítačem podporované projektování) se tělesa často popisují způsobem, který připomíná postupy konstruktéra při navrhování tvaru těles (mezi CAD systémy se řadí i program

² VEFS je zkratka pro Vertex Edge Face Solid (vrchol, hrana, stěna, těleso).

SketchUp). Metoda nazývaná konstruktivní geometrie těles (*CSG-Constructive Solid Geometry*) je založena na reprezentaci těles stromovou strukturou (tzv. CSG strom), uchovávající historii dílčích konstrukčních kroků. Z jednoduchých geometrických primitiv (kvádr, koule atd.) je pomocí množinových operací a prostorových transformací vytvářen výsledný objekt. [29]

2.1.3 Objemová reprezentace těles

Na rozdíl od předchozích případů definuje objemová reprezentace i vnitřek tělesa, ne pouze jeho plášt'. Pracuje s informací, zda je určitý bod v 3D prostoru součástí daného objektu či nikoliv. Obecně je objemová reprezentace používána spíše v technických oblastech a v medicíně, neboť pro vizualizační účely většinou plně postačí hraniční reprezentace.

Modely jsou definovány souvislou množinou svých objemových bodů (tzv. *voxelů*), které jednoznačně určují prostor vyplněný tělesem. Algoritmy nad objemovými modely dokáží rozlišit, zda je bod uvnitř či vně tělesa. Objekt je popisován základními objemovými primitivy a logickými operacemi nad objekty. Nevhodou této reprezentace je její vysoká náročnost na kapacitu paměti. Proto nejsou objemové modely příliš využívány a bývají nahrazeny sítí trojúhelníků. [27]

2.2 Zobrazování prostorových dat

Zobrazování trojrozměrných scén do 2D obrazu je označováno jako *rendering* (renderování). Pojem renderování označuje proces, při kterém je vytvářen reálný obraz na základě počítačového modelu. Postup zobrazení těles je možné rozdělit do několika na sebe navazujících kroků, a to vytvoření osvětlení, nastavení kamery, řešení viditelnosti, výpočet stínů a doplnění textur. Pro převod trojrozměrných objektů do 2D obrazu je využíváno promítání, což je speciální případ transformace.

2.2.1 Grafická transformace

Pro základní manipulaci s objekty (posunutí, otočení, změna měřítka a zkosení) jsou využívány 3D transformace, při nichž jsou nejčastěji využívány homogenní souřadnice. Důvodem používání homogenních souřadnic je, že umožňují vyjádřit nejčastěji používané lineární transformace pomocí jedné matice. To

v nehomogenních kartézských souřadnicích není možné. Hojně využívanou transformací vyjádřitelnou pomocí matice v homogenních souřadnicích je perspektivní promítání (viz kapitola 2.2.2 Promítání). Při tomto způsobu vyjádření transformací lze pro implementaci využít existujících knihoven, které pracují s maticemi. [27]

Homogenní souřadnice jsou vyjádřeny jako čtveřice souřadnic $[x, y, z, w]$. Vektor $[x, y, z, w]$ tedy představuje homogenní souřadnice bodu P s kartézskými souřadnicemi $[X, Y, Z]$, pokud platí:

$$X = \frac{x}{w}, \quad Y = \frac{y}{w}, \quad Z = \frac{z}{w}, \quad w \neq 0, \quad (2.1)$$

kde w je tzv. váha bodu. Homogenní souřadnice bodu P' s kartézskými souřadnicemi $[X', Y', Z']$ jsou označovány jako $[x', y', z', w']$. Obecná matice 4×4 , která reprezentuje lineární transformaci bodu P na bod P' , je označována písmenem A . Obecná transformace bodu P na P' má tvar:

$$P' = \begin{pmatrix} x' \\ y' \\ z' \\ w' \end{pmatrix} = AP = \begin{pmatrix} a_{11} & a_{12} & a_{13} & a_{14} \\ a_{21} & a_{22} & a_{23} & a_{24} \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ w \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

Matice A je dále upravována pro každý speciální případ transformace (posunutí, rotace atd.). Například posunutí (translace) ve 3D je určeno vektorem $\vec{p}(X_t, Y_t, Z_t)$ a translační maticí T , která je dána vzorcem:

$$T = T(X_t, Y_t, Z_t) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & X_t \\ 0 & 1 & 0 & Y_t \\ 0 & 0 & 1 & Z_t \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

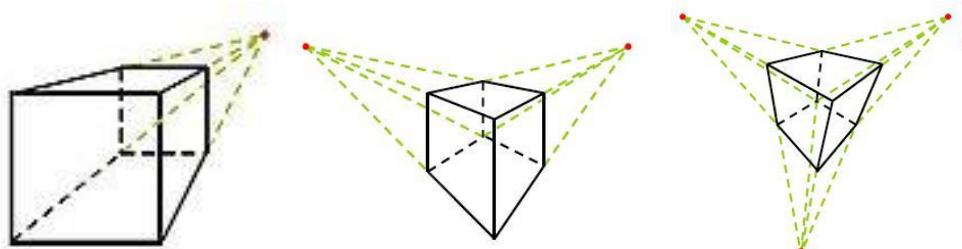
2.2.2 Promítání

Transformace, která převádí trojrozměrný objekt do dvourozměrné reprezentace, se nazývá promítání. Při promítání dochází ke ztrátě prostorové informace, čímž může docházet ke zkreslení vjemu pozorovatele. Z tohoto důvodu

jsou používány různé způsoby promítání, jež jsou doplněny dalšími postupy pro zvýšení reálného vjemu promítaného objektu (např. řešení viditelnosti). [27]

Promítání je rozdělováno na *rovnoběžné (paralelní)* a *středové (perspektivní)*. Rovnoběžné promítání je charakterizováno směrem promítání, všechny promítací paprsky³ mají stejný směr. Oproti tomu středové promítání je určeno středem promítání (promítací paprsky vycházejí z jednoho bodu). Středové promítání odpovídá optickému modelu, který vyjadřuje lidské vidění. Středové promítání je rozděleno na:

- *Jednobodová perspektiva* – průmětna⁴ protíná jedinou souřadnicovou osu a všechny úsečky (kolmé na průmětnu) míří do jediného bodu (tzv. úběžník)
- *Dvoubodová perspektiva* – průmětna protíná dvě ze souřadnicových os a hrany osově orientovaných kvádrů směřující do dvou hlavních úběžníků
- *Trojbodová perspektiva* – průmětna protíná všechny tři souřadnicové osy a protažením hran osově orientovaných kvádrů je možné nalézt tři hlavní úběžníky. [27]



Obr. 2: Jednobodová, dvoubodová a trojbodová perspektiva [30]

Při promítání je nutné nalézt jednu nebo více transformačních matic, které definují transformace souřadnic promítaných bodů dle vztahu:

$$\begin{pmatrix} x_p \\ y_p \\ z_p \\ w_p \end{pmatrix} = T_{proj} \begin{pmatrix} x \\ y \\ z \\ 1 \end{pmatrix}, \quad (2.4)$$

³ Promítací paprsky jsou polopřímky, které vycházejí z promítaného (prostorového) bodu. [27]

⁴ Průmětna je plocha v prostoru, na kterou dopadají promítací paprsky a v místě dopadu vytvářejí průmět (obraz v průmětně). [27]

kde $P_p = [x_p, y_p, z_p, w_p]$ jsou VCS (*Viewing Coordinate System – souřadnicový systém* 2D prostoru) souřadnice promítaného bodu $[x, y, z, 1]$ a T_{proj} je matice 4x4 použitá při transformaci promítání. Základem promítací úlohy je určení místa, kde stojí pozorovatel, vymezení pozice a orientace průmětny a stanovení směru a cíle pozorování. [27]

Program *SketchUp* nabízí tři různá nastavení kamery paralelní projekci, perspektivu (trojbodovou) a dvoubodovou perspektivu.

2.2.3 Světlo

Světlo je jednou z nejpropracovanějších oblastí počítačové grafiky a zásadně ovlivňuje vzhled výsledného modelu v prezentaci. Pro nasvícení scény jsou používány světelné zdroje. Světelný zdroj je obecně jakýkoliv objekt vyzařující světelné záření. Existuje několik typů světelných zdrojů:

- *Bodový zdroj* – vyzařuje světlo do všech směrů se stejnou intenzitou
- *Rovnoběžný zdroj* – je popisován jako bodový zdroj světla umístěný v nekonečnu
- *Plošný zdroj* – je určen konečnou plochou a vyzařuje světlo všemi směry
- *Reflektor* – je daný svou polohou a směrem záření
- *Obloha* – je popsána jako zdroj rovnoběžného světla ve tvaru polokoule s nekonečným poloměrem (libovolný bod oblohy září tedy jako zdroj rovnoběžného světla). [28]

Pro tvorbu osvětlení je nutné porozumění interakce světla s materiály a jeho šíření prostorem. Algoritmy a metody, které světlo simulují, jsou založeny na komplikovaných fyzikálních jevech. V počítačové grafice se pro popis světla využívá téměř výhradně geometrická optika, která zavádí následující předpoklady:

- Světlo se šíří přímočaře.
- Rychlosť světla je nekonečná.
- Světlo není ovlivněno gravitací. [27]

Pro výpočet osvětlení se používají tzv. osvětlovací modely. Lokální osvětlovací model je založen na odrazu světla od povrchu tělesa. Lokální se nazývá proto, že vypočítává osvětlení jediného bodu na povrchu objektu pouze podle osvětlovacího zdroje.

Paprsek může reflektovat po dopadu na těleso různými způsoby. Může se zrcadlově odrazit či může být podroben vícenásobnému odrazu a lomu. Intenzita odraženého světla má dvě složky:

- *Zrcadlovou* – Její charakteristická složka je směrovost, která je vyšší u hladších těles.
- *Difúzní* – Ta nezávisí na směru pohledu pozorovatele. Po vícenásobném odrazu a lomu je totiž směr paprsku zcela náhodný. [28]

Skutečné povrchy odrážejí jak zrcadlově, tak difúzně, přičemž jejich poměr závisí na materiálu. Pro lokální osvětlení se používají různé osvětlovací modely. Nejznámějším z nich je *Phongův model*. Jedná se o empirický model pro výpočet odraženého světla. Model rozlišuje tři druhy odrazu od materiálu – zrcadlový, difúzní a ambientní světlo (okolní, všesměrové, světelný šum), ze kterých skládá výsledný obraz. [27]

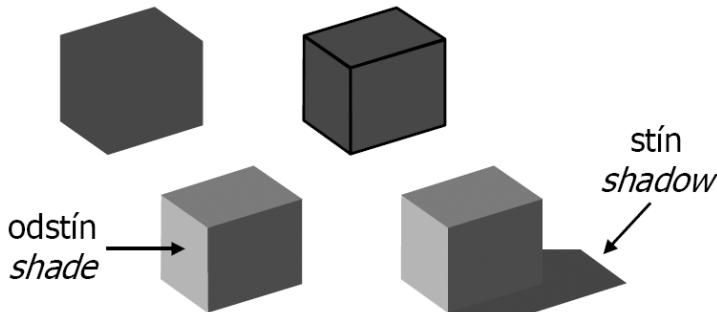
Různé programy přistupují k problematice světla mírně odlišně, avšak principy jsou podobné. V této práci bylo osvětlení scény často řešeno. U každé využité platformy se nachází popis řešení světla a možnosti, jaké daná platforma nabízí.

2.2.4 Stínování

Výpočet osvětlení pro každý bod obrazce je zdlouhavý, proto byly vyvinuty další metody, které umožňují provést výpočet osvětlení jen na několik bodů a odvodit z nich odstíny ostatních. Tyto metody jsou shrnutы pod společným názvem *stínování (shading)*. Je nutné zdůraznit, že stínování není to samé jako stín. Pomocí stínování lze odlišit křivosti a zaoblení ploch, a tak docílit přirozeného vzhledu prostorových objektů. Pro stínování existuje řada postupů, přičemž v této práci budou uvedeny dva z nich:

- *Konstantní stínování* – je to velmi rychlá a jednoduchá metoda, používaná pro zobrazení rovinných ploch, která předpokládá, že každá plocha má jen jednu normálu. Podle normály je vypočítána jedna barva, která je při vykreslení plochy přiřazena všem jejím pixelům.
- *Gouraudovo spojité stínování* – metoda je vhodná pro stínování matných povrchů. Byla navržena zejména pro tělesa, jejichž povrch je approximován množinou rovinných plošek. Z normál několika sousedních

ploch určí normálu v každém vrcholu plochy. Barva vrcholu je určena z normály v daném vrcholu, a to podle daného osvětlovacího modelu. [31]



Obr. 3: Rozdíl mezi vrženým stínem a stínováním [28]

2.2.5 Řešení viditelnosti

Pokud je ve scéně zobrazováno několik objektů najednou, je potřeba se zabývat otázkou jejich vzájemného překrývání tedy řešením viditelnosti. Při řešení viditelnosti se určuje, které objekty budou vykresleny celé a které jen z části. Cílem algoritmů pro řešení viditelnosti je tedy naleznout objekty, které jsou z určitého místa viditelné. Jsou rozlišovány dvě základní metody řešení viditelnosti, a to *liniová* a *rastrová*. U liniové je na výstupu soubor linií představující viditelné hrany. U rastrové metody je na výstupu obraz v rastru, v němž jednotlivé pixely obsahují odpovídající barvu viditelné plochy. [28]

Nejznámější a nejfektivnější rastrové algoritmy pro výpočet viditelnosti využívají metodu nazvanou *paměť hloubky* (*z-buffer*). Hlavní myšlenkou metody je rozdelení obrazu na jednotlivé pixely a určení viditelnosti pro každý pixel samostatně. [27]

2.2.6 Stíny

Stíny hrají důležitou roli v prostorovém vnímání člověka. Pomáhají mu pochopit vzájemné rozmístění objektů a poskytují informaci o vlastnostech a poloze zdrojů světla. Globální zobrazovací metody (viz kapitola 2.2.8 Globální zobrazovací metody) zobrazují scénu již se stíny, jsou však výpočetně náročné. Rychlejší samostatné techniky vykreslování stínů převádějí problém nalezení stínů na problém geometrický, nejčastěji na algoritmus řešení viditelnosti. Výsledný stín

ovlivňuje charakter zdroje světla a jeho polohu. Bodové zdroje vytváří ostré stíny, ty ovšem nepůsobí příliš věrohodně. Věrohodnější stín bývá vytvořen plošnými světelnými zdroji, které tvoří tzv. měkké stíny. Plošné zdroje vytváří stín hlavní a polostín, který vzniká v přechodu mezi stínem a osvětlenou částí. [27]

2.2.7 Textury

Objekty kolem nás nemají dokonale hladký povrch. Jejich optické vlastnosti či tvar se od bodu k bodu liší. K navozování charakteristického vzhledu struktury povrchu a materiálu objektu jsou používány textury. Textura bývá definována jako popis vlastností povrchu (např. struktury a barvy). Aplikace textury vede ke zvýšení vizuální kvality objektu. Proces nanášení textury na povrch tělesa je označován jako mapování textur. Textury lze dělit podle dimenze na:

- *Jednorozměrné* – používají se pro definici opakujících se podélných vzorků
- *Dvourozměrné* – mapují se na povrhy těles
- *Trojrozměrné* – definují hodnoty textur v prostoru
- *Čtyřrozměrné* – používají se pro animaci trojrozměrných textur [28]

Z hlediska způsobu vytváření lze dělit textury na:

- *Rastrové textury* – texturu tvoří rastrový obrázek
- *Procedurální textura* – textura je vytvořena pomocí určité matematické funkce. [28]

Mapování textur je určeno třemi faktory *definicí textury* (kolik má dimenzí), *tvarem tělesa* a *mapovanou veličinou* (např. barva). Nejjednodušší technikou je mapování rovinné textury. *Rovinnou texturu* lze definovat jako funkci $T(u, v)$ přiřazující bodům $[u, v]$ v rovině hodnoty mapované veličiny. Dále je nutné definovat funkci $M(x, y, z)$ přiřazující každému bodu na povrchu tělesa bod z definičního oboru textury T . Funkce M se nazývá *inverzní mapování*, neboť ke známým bodům na povrchu vyhledává informace o textuře. U tělesa, které lze rozvinout do roviny (např. válec), nedochází k deformaci textury. U tělesa, které nelze rozvinout (např. koule), naopak ke zkreslování dochází. Tuto metodu lze přirovnat k polepení tělesa pomalovaným papírem. [27]

Prostorová textura kromě vlastností povrchu zachycuje změny veličin uvnitř tělesa. Metody využívající prostorové textury jsou náročné na paměť. Příkladem takové metody může být *bump texture* (hrbolatá textura), která způsobuje optický dojem hrbolatého povrchu (bez změny geometrie tělesa). Hrbolaté textury vycházejí z osvětlovacího modelu, který využívá normálu k povrchu v místě vyšetřování světelných poměrů. Normálový vektor je při mapování transformován tak, aby změnil směr odrazu světla způsobem, který odpovídá lokálnímu zvrásnění hrbolatého tělesa. [27]

2.2.8 Globální zobrazovací metody

Cílem globálních metod osvětlení je nalezení metody, která bude simulovat všechny optické jevy v reálném čase. Výsledkem metod globálního osvětlení by měly být kvalitní obrazy prostorových scén, které je obtížné odlišit od fotografií skutečného světa. Proto bývají někdy nazývány jako *fotorealistické zobrazování* (*photorealistic rendering*). Dvě nejčastěji využívané metody globálního osvětlení jsou metoda sledování paprsku a metoda radiační (*radiozity*⁵). [27]

Metoda sledování paprsku (*ray-tracing*) je klasickou metodou globálního osvětlení. Zjednodušeně řečeno základní algoritmus metody sleduje paprsek a bez dalších rozlišení pracuje s bodovými zdroji světla, a proto poskytuje pouze ostré stíny bez polostínů. Algoritmus nejprve vypočítá první průsečík paprsku se scénou. Není-li zasažen žádný objekt je určena barva pozadí a výpočet se ukončí. V případě, kdy je objekt zasažen, se vypočítá jeho barva. Je-li materiál průsvitný, vypočítá se lomený paprsek, který jím prochází, a dále se sleduje jeho dráha.

V postupu zobrazování scény pomocí metody *radiozity* jsou zavedeny dva základní pojmy, a to radiozita a odrazivost (difuzní odrazivost plošky v daném bodě). Metodu lze rozdělit na dvě části. V první části se metoda zabývá přenosem energie (světla) ve scéně mezi jednotlivými ploškami. Tím je docíleno kompletního popisu scény z hlediska osvětlení. Ve druhé části je možné použít jakýkoliv algoritmus řešící problém viditelnosti. Takovým algoritmem může být třeba výše zmíněný *ray-tracing*. Výpočet probíhá pomocí tzv. *Radiozitní rovnice*, která je detailně popsána v díle *Moderní počítačová grafika* [27].

⁵ Radiozita $B(x)$ je světelnyý výkon vyzářený v bodě x vztažený na jednotkovou plochu. [27]

2.3 Virtuální prohlídka

Pod pojmem virtuální prohlídka si člověk obvykle představí prezentaci prostoru prostřednictvím panoramatických snímků reálně nasnímaných místností či exteriérů. Avšak panoramatické snímky je možné vytvořit i ve 3D digitálních modelech (jak bylo učiněno v této práci). Virtuální „procházka“ je obvykle složena z více snímků, mezi kterými je možné procházet.

Výhodou virtuálních prohlídek je to, že se velice dobře hodí pro prezentaci na webových stránkách. Existuje mnoho platform, prostřednictvím kterých lze prohlídku vytvořit. Virtuální „procházky“ typicky nabízejí zorný úhel 360° v horizontálním směru a 180° ve vertikálním. Tím je možné získat kvalitní představu o prostoru, který je v rámci prohlídky prezentován.

Panoramatické snímky obvykle zachycují velmi široký zorný úhel. Mohou vzniknout několika způsoby. Prvním z nich je ořezání klasického snímku do podoby širokoúhlé fotografie. Druhým způsobem je použití speciálního vybavení na pořizování panoramatických snímků. Poslední používanou metodou je složení více klasických snímků dohromady a aplikování následného ořezu nahoře i dole, čímž dojde ke složení jednoho širokoúhlého snímku. Nejvíce využívané typy panoramat jsou:

- *Cylindrické panorama*
- *Kulové panorama*
- *Krychlové panorama*

Válcové neboli cylindrické panorama umožňuje zobrazit scénu pozorovateli, který zdánlivě stojí uvnitř válce, na jehož vnitřní stěnu se snímek promítá. Na rozdíl od sférického není doplněn vrchlíkem a podstavou, tedy neumožňuje zobrazit části okolí v zenithu a nadiru. Kulové neboli sférické panorama zobrazuje scénu, ve které jsou zastoupeny všechny úhly pohledu viditelné z místa pořízení. Krychlové neboli kubické panorama je zvláštním typem sférického, skládá se z šesti virtuálních stran krychle. [32]

3 Virtuální Realita

3.1 Definice pojmu

Pojem VR stále nemá jednotnou definici. Určit, zda se jedná či nejedná o VR není jednoduché a jednoznačné. Záleží na vnímání každého jedince. Obecně se dá virtuální realita označit jako počítačem generované vícerozměrné prostředí, které umožnuje uživateli interakci s okolím. Působí na lidské smysly a usiluje o přiblížení počítačového prostředí skutečnosti, tak jak ji vnímají naše smysly. Technologie VR může vytvářet iluzi skutečného světa (letecký trenážér) nebo fiktivního světa (umělé prostředí videoher).

Steven M. LaValle ve své knize *Virtual Reality* [33] definuje VR jako „*Navození cílového chování u organismu pomocí umělé stimulace smyslů, zatímco organismus má malé nebo žádné uvědomění o tomto zásahu.*“ Definice obsahuje čtyři klíčové prvky, které jsou v knize dále vysvětlovány. Prvních z nich je *Targeted behavior* (cílené chování), při kterém organismus prožívá „zážitek“ navržený autorem (např. létání, chůze, sledování filmu atd.). Druhý je prvek *organism* (organismus), kterým může být člověk nebo jiná forma života. Třetím prvkem je *Artificial sensory stimulation* (umělá stimulace smyslů), kdy je pomocí technologie jeden nebo více smyslů organismu nahrazen (alespoň částečně) umělou stimulací. Poslední prvek je *Awareness* (uvědomění), to znamená že, během zážitku nemá organismus vědomí o tomto zásahu, je tedy „oklamán“.

Jiné klíčové prvky popisují ve své knize *Understanding Virtual Reality: Interface, Application, and Design* [34] autoři W. R. Sherman a A. B. Craig. Ti definují VR pomocí pojmu *virtual world* (Virtuální svět), *immersion* (pohlcení), *sensory feedback* (zpětná vazba senzorů) a *interactivity* (míra interakce), na jejichž kvalitě stojí celkový dojem z VR. Virtuální svět je imaginární svět, který je často prezentován pomocí médií (film, videohra, kniha atd.), může být však pouze v mysli autora tohoto světa. Pocit „přítomnosti“ v tomto virtuálním světě je nazýván pohlcení (*immersion*). Může se jednat o duševní pohlcení (např. v případě filmu či videohry) nebo fyzické pohlcení, při kterém jsou smysly uživatele stimulovány pomocí vnějších vlivů. Pocit pohlcení může být zvýšen pomocí zpětné vazby senzorů (*sensory feedback*). To může být například reakce displeje na pohyb uživatele umožněná systémem VR. Pro vyšší

autenticitu VR by měla být umožněna odezva na akce uživatele neboli interaktivita (*interactivity*). Ta může umožňovat měnit pozici uživatele ve VR nebo měnit samotné VR prostředí. Když v jednom prostředí dochází k interakci více uživatelů, jedná se o kolaborativní prostředí. Uživatelé jsou pak reprezentováni pomocí tzv. avatarů. Pomocí těchto prvků lze pak definovat VR jako médium tvořené interaktivní simulací, které pozoruje pozici a činnost uživatele a upravuje dle toho zpětnou vazbu pro jeden nebo více smyslů, díky čemuž poskytuje pocit pohlcení simulací (virtuálním světem).

Samotný pojem virtuální realita je značně protichůdný. Pod pojmem realita si většina lidí představí něco skutečného, co existuje v okolním světě. Zatímco význam slova virtuální je naopak chápán jako něco neskutečného či zdánlivého. Spojením těchto slov vzniká tedy něco skutečně neskutečného. Svět, na který si „nemůžeme sáhnout“, ale přesto ho naše smysly vnímají. První použití termínu VR je přisuzováno vizionáři Jaronu Lanierovi, který ho v roce 1986 použil v rozhovoru se Scotem Fisherem z NASA. [35]

Cílem virtuální reality je, aby se do ní uživatel co nejvíce ponořil a zapomněl, že se pohybuje v prostředí, které neexistuje. V současné době VR pracuje hlavně s vizuálními vjemy, které se mohou zobrazovat na monitoru PC nebo ve virtuálních brýlích. Avšak jsou známé i simulace, které zapojují i další senzorické vjemy, jako jsou zvuk či hmat. [35]

Systémy virtuální reality je možné rozdělit do tří stupňů podle věrohodnosti jejího prostředí:

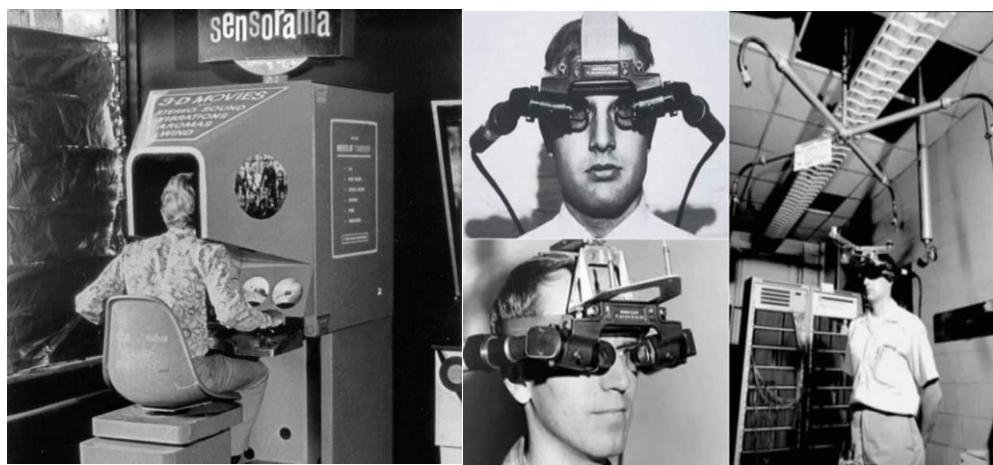
- *Pasivní* – technologie, kde uživatel je pouze pasivním příjemcem virtuálních vjemů. Virtuální okolí je možné pozorovat, poslouchat a případně vnímat hmatem. Příkladem mohou být různá 3D kina
- *Aktivní* – systém aktivní VR je specifický tím, že uživatel může rozhodovat o určitých činnostech. Například dokáže řídit pohyb (chůze, lezení, běh, plavání atd.)
- *Interaktivní* – Interaktivní VR je považována z pohledu uživatele za nejdokonalejší. Kromě předchozích funkcí, nám systém dovoluje prostředí i měnit. Příkladem je možnost uchopit předmět a pracovat s ním [35]

Dalším pojmem úzce souvisejícím s virtuální realitou je rozšířená realita (*Augmented Reality*). Rozšířená realita na rozdíl od VR netvoří celý uměle vytvořený virtuální svět, ale analyzuje skutečný svět a upravuje ho přidáním uměle vytvořených objektů. Jinými slovy jde o zobrazení reality a následné přidání digitálních prvků.

Aplikace pro AR fungují na principu kamery (připojená k PC nebo kamera na mobilním telefonu), která snímá obraz reality. Aplikace detekuje snímanou scénu, eventuálně i umístění a orientaci kamery v prostoru. Na základě provedené detekce umístí do obrazu projektováním na displeji další informace, jako je text či 3D objekt. Vše se děje v reálném čase. Její fungování je tedy o mnoho složitější, neboť je nutné správně analyzovat obraz skutečného světa a z něj vytvořit doplněný obraz. Ten dále musí respektovat skutečné objekty v reálném světě. [36]

3.2 Historie

Jako počátek virtuální reality, jak ji vnímáme dnes, se často považuje vynález tzv. *Sensorama*, který sestavil v roce 1957 Morton Heilig. Zařízení nabízelo různá virtuální prostředí a bylo schopno vytvořit iluzi pomocí 3D filmu. Vytvářelo například iluzi jízdy na motorce po městě, přinášelo uživateli pach města, vibraci sedačky či proudění vzduchu. Pro sestrojení zařízení Heilig vynalezl kamery umožňující záznam 3D obrazu a také patentoval 3D projekci. [37]



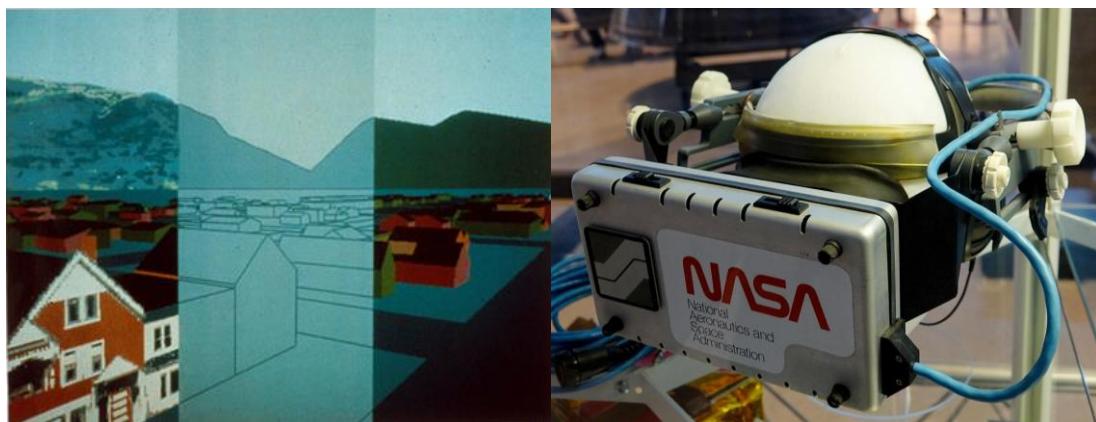
Obr. 4: Sensorama [37]

Obr. 5: Damoklův meč [37]

V roce 1968 sestrojil počítačový inženýr Ivan Sutherland spolu se svým žákem Bobem Sproullem zobrazovací zařízení nositelné na hlavě, které mělo neustálý

kontakt s očima uživatele. Bylo tak těžké, že muselo být zavěšeno na strop, proto získalo označení Damoklův meč. Je považováno za jeden z prvních VR nosičů typu *Head Mounted Display* (zařízení nasazená na hlavě). Zařízení obsahovalo stereoskopický display, přes který byly uživateli promítány jednoduché geometrické tvary.

Na MIT⁶ byla v roce 1978 vytvořena virtuální mapa *Aspen Movie Map*, která umožňovala uživateli procházet ulice Aspenu. Na výběr byly tři módy: léto, zima a polygony. První dva byly založené na fotografiích (tvůrci skutečně nafotografovali každý možný pohyb přes město v obou ročních obdobích) a třetí byl trojrozměrný model města. [37]



Obr. 6: Virtuální mapa Aspenu [37]

Obr. 7: NASA headset Ames z roku 1985 [37]

V roce 1979 vyvinul Eric Howlett optický systém LEEP (*Large Expanse Extra Perspective*). Tento systém vytvořil stereoskopický obraz s dostatečně širokým zorným polem, aby vytvořil přesvědčivý dojem prostoru. Scott Fisher přepracoval pro NASA systém LEEP v roce 1985 na systém VIEW (*Virtual Interactive Environment Workstation*). Zařízení obsahovalo náhlavní soupravu se stereoskopickým displejem a rukavice s detekcí pohybu a sloužilo jako školící simulátor pro astronauty. [37]

V druhé polovině 80. let 20. století zpopularizoval pojem „*Virtuální realita*“ Jaron Lanier, jeden z průkopníků této oblasti. Roku 1985 založil společnost *VPL Research* (*Virtual Programming Language* – virtuální programovací jazyk). Tato

⁶ Massachusettorský technologický institut (Massachusetts Institute of Technology)

společnost přišla s několika přelomovými produkty jako byly *DataGlove* (rukavice s trackováním), *the EyePhone* (VR headset), *AudioSphere* (3D zvuk) a mnoho dalších.

V devadesátých letech již byly VR headsety více dostupné i pro veřejnost. V roce 1991 společnost *Sega* vyvinula první headset pro videohry. Ve stejném roce společnost *Virtuality* vytvořila virtuální svět pro více hráčů a stala se prvním masově vyráběným zábavním systémem VR. Tentýž rok vědec NASA Antonio Medina přišel s návrhem systému VR pro ovládání robotických roverů na Marsu. [38]

V roce 1995 firma *Nintendo* představila herní konzoli *Virtual Boy*. Konzole umožňovala hrát trojrozměrné monochromatické videohry, avšak u uživatelů neměla velký úspěch a stala se nejhůře prodávaným produktem firmy *Nintendo*.



Obr. 8: Virtual Boy [37]



Obr. 9: Google Street View [37]

Společnost *Google* v roce 2007 představila produkt *Street View*. Jedná se o virtuální prohlížení skutečného světa, vytvořeného z panoramatických snímků. Snímkům byla přidána informace o poloze pořízení a produkt *Street View* byl propojen se službou *Google Maps*. V roce 2010 *Google* představil stereoskopický 3D režim pro *Street View*. [37]

V garáži svých rodičů vytvořil Palmer Luckey (jako sedmnáctiletý) v roce 2010 prototyp VR headsetu *Oculus Rift*. Tento headset se jako první mohl pochlubit 90° zorným polem. Luckey pokračoval s dalším vývojem a v roce 2012 založil firmu *Oculus VR*. Jeho produkt *Rift* byl tentýž rok představen na veletrhu her *E3*. V roce 2014 firmu *Oculus VR* odkoupila společnost *Facebook*. Následoval další vývoj komerčních produktů a společnost započala prodej prvních masově prodávaných headsetů. Za pouhých několik let se dokázala vyvinout z garážového projektu na jednoho z největších výrobců VR zařízení.

V roce 2014 společnost Sony oznámila projekt *Morpheus* (jeho kódový název pro *PlayStation VR*) náhlavní soupravu pro virtuální realitu pro herní konzoli *PlayStation 4*. Společnost *Samsung* představila produkt *Samsung Gear VR*, což je náhlavní souprava pro prohlížeč *Samsung Galaxy*. Ani další firmy nezůstaly pozadu a přicházely stále s novými zařízeními. [38]

V roce 2016 společnost HTC vydala první VR headset *HTC Vive*. To přineslo první komerční trackování založené na senzorech, které umožňuje uživateli volný pohyb v definovaném prostoru. [37]

V dnešní době jsou největšími konkurenty na trhu s VR headsety firmy *Oculus* a *HTC* ve spolupráci s *Valve*. Jejich produkty dosahují srovnatelných kvalit. V posledních letech se technologie VR stává stále více populární a narůstá i poptávka po VR zařízeních. Proto lze očekávat, že vývoj této technologie bude pokračovat i v budoucnu.

3.3 Současná zařízení pro VR

V dnešní době je na trhu velké množství zařízení pro VR. V této práci bude uveden jen krátký přehled nejběžnějších zařízení. Současná zařízení pro VR lze rozdělit do tří základních kategorií:

- VR headsety pro mobilní zařízení
- VR headsety pro osobní počítače a herní konzole
- Samostatné VR headsety

Při výběru zařízení je dobré sledovat několik parametrů ovlivňujících prožitek z virtuální reality. První z nich jsou parametry displeje. V případě VR pro mobilní telefony tento parametr není nutné řešit, protože zařízení žádný displej nemá. Avšak u VR headsetů je třeba dbát na několik parametrů, a to rozlišení, obnovovací frekvence a zobrazovací technologii. Pro kvalitní zážitek z VR je důležité, aby byl obraz dostatečně kvalitní a nebylo možné rozlišit jednotlivé pixely. Minimální hodnotou pro ostrý obraz je alespoň Full HD (1 920 x 1 080 px).

Dalším zmíněným parametrem je obnovovací frekvence. To je schopnost monitoru vykreslit určitý počet snímků během jedné vteřiny. Obecně platí, že čím vyšší tím lepší. Vyšší frekvence znamená ostřejší hrany během pohyblivých scén a zároveň menší únavu očí. Jako zobrazovací technologie pro levnější headsety jsou

používány LCD obrazovky, které mají méně výrazné barvy a jsou náročnější na spotřebu energie. U dražších se používají OLED či AMOLED displeje, jež mají věrohodnější barvy a jsou šetrnější na spotřebu.

Dalším důležitým parametrem je zorné pole. Tento parametr indikuje, v jakém úhlu je možné se s brýlemi rozhlížet. Lidské oči mají horizontální zorné pole přibližně 140°. Zařízení by ideálně mělo pokrýt celé zorné pole. Avšak u většiny zařízení dosahuje zorné pole hodnot přibližně 100°. [39]

VR zařízení potřebuje ke svému fungování sledovat polohu uživatele v reálném čase. Pro sledování polohy se využívají dva typy snímačů – externí a interní. Externí využívá dvou či více senzorů rozmístěných na okraji herního prostoru, v němž se uživatel pohybuje. Výhodou je vysoká polohová přesnost, je však vyžadován větší volný prostor. Oproti tomu interní snímač má senzory zabudované přímo v samotném zařízení, vyžaduje menší prostor a není nutné instalovat další zařízení okolo herního prostoru. Avšak dosahuje menší přesnosti. Rozdíly v přesnosti se však s postupným vývojem zmenšují.

Smartphone headsets (headsets pro mobilní zařízení) slouží jako „držák“, do kterého se usadí chytrý telefon a uživatel je schopný prohlížet obsah aplikace či hry ve VR. Headsety mají jednoduchou konstrukci se dvěma čočkami a prostorem pro vložení telefonu. Headsety nejsou vybaveny žádnými senzory, všechno obstarává mobilní telefon. Tato zařízení jsou dostupná v mnoha cenových relacích, přičemž nejlevnější lze pořídit za 100 Kč. Smartphone headsety přinášejí pouze omezený zážitek z VR. Typickými zařízeními tohoto typu jsou headsety Samsung Gear VR, Retrak nebo i CardBoardy složené z kartonového papíru. [39]



Obr. 10: Google Cardboard [39]



Obr. 11: Oculus Quest [39]

VR headsets pro osobní počítače a herní konzole vyžadují ke svému fungování externí zařízení (PC nebo konzoli). VR pro konzole je určena praktiky jen pro zábavu a je omezena na aplikace dané herní konzole. VR headsets pro PC jsou určeny k použití na PC, který obstarává veškerý výpočet a grafické procesy, proto je potřeba mít PC s dostatečnou hardwarovou výbavou. Výhodou headsetů pro PC je to, že přinášejí virtuální svět v plném rozsahu zorného pole a snímají pohyb pomocí celé řady senzorů a kamer. Typickým zástupcem těchto zařízení jsou HTC Vive nebo Oculus Rift.

Samotný VR headset (*stand-alone*) obsahuje veškerá elektronická zařízení, která u smartphone headsetů zprostředkovával mobilní telefon. Ty jsou pevnou součástí headsetu a mají vlastní procesní jednotku přímo integrovanou do headsetu. Výhodou je, že k jejich fungování není nutné kabelové připojení. Typickými zástupci jsou například Oculus Quest či HTC Vive Focus. [39]

3.4 Využití

Virtuální realita má předpoklady pro využití v řadě různých oborů. V dnešní době je nejvíce patrný rozvoj v oblasti zábavního průmyslu. Nicméně důležitou roli získává technologie VR i ve stavebním průmyslu, vojenství, automobilovém průmyslu, zdravotnictví, vzdělávání atd. Díky lepší dostupnosti výkonných PC a rozvoji dalších technologií, se i technologie VR stala dostupnější pro větší množství lidí a lze tedy očekávat, že v blízké době se VR bude více zařazovat do našeho každodenního života. S ohledem na téma této práce zde bude zmíněno jen využití technologie VR v oborech blízkých zaměření diplomové práce, jako jsou stavebnictví, kultura a vzdělávání.

Kulturní zážitek, at' už z muzea nebo z nějaké jiné akce, je spojený s fyzickou návštěvou, při které je možné si exponáty prohlédnou z různé vzdálenosti a různých úhlů. Pomocí klasických fotografií se dá zachytit podoba exponátů, ale nepřináší ten správný prostorový zážitek, což technologie VR umožňuje. Další výhodou VR je, že se zde dají procházet například modely historicky významných staveb, které již reálně nestojí nebo byly přestavěny, takže jejich návštěva není možná.

Příkladem může být projekt KHUFU VR [40], který umožňuje uživatelům stát se členem expedice a procházet se kolem i uvnitř Chufuovy pyramidy. Zpřístupňuje

i jinak nedostupné části. VR prohlídku nabízí i *The British Museum* [41], které část svých prostor zpřístupnilo v podobě sférických snímků z interiéru. Procházku obohatilo interaktivními prvky, které obsahují informace o exponátech. Některé exponáty je dokonce možné si otevřít v texturovaných 3D modelech. Jiné pojetí bylo zvoleno na katedře geomatiky ČVUT v Praze, kde bylo vytvořeno virtuální muzeum [42]. To tvoří smyšlená budova, ve které jsou umístěny jako exponáty různé 3D modely. Po virtuálním muzeu je možné se zcela volně pohybovat, brát exponáty do rukou a volně je přemisťovat.

Kromě muzeí se dají virtuálně navštívit i různá místa po světě, a to díky aplikacím jako je například *Google Earth VR* [43], která umožňuje vychutnat si východ slunce na Mount Everestu nebo rozhled po Riu de Janeiru. Dalším příkladem může být aplikace *Prague Histories* [44] od firmy *VR Musashi*. V tomto případě se nejedná přímo o virtuální cestování, ale o aplikaci využívající mimo jiné i rozšířenou realitu, která provede uživatele zajímavými místy po Praze. Na jednotlivých zastávkách pak seznamuje účastníka s významnými historickými událostmi. Na vybraných místech dále prezentuje i 3D modely v životních velikostech.

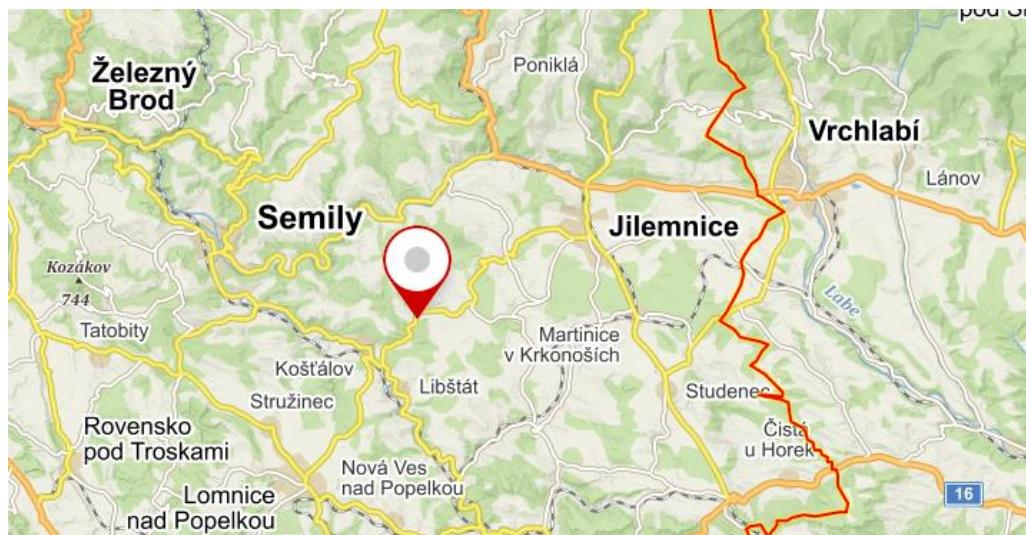
Ve stavebnictví se dá technologie VR dobré využít k prezentaci výsledných řešení staveb, kdy klient může získat mnohem lepší představu o prostorovém řešení stavby. Může si stavbu projít a prostřednictvím softwaru s ní i interagovat. Virtuální inspekce projektu umožňuje odhalit řadu chyb ještě před zahájením stavby, a tím značně ušetřit zdroje. Stavební firmy mohou dále VR využívat pro školení svých zaměstnanců. Díky 3D simulátorům mohou školení probíhat například bez rizik, že dojde k poškození zařízení. Další využití může být tvorba VR prostředí, ve kterém je testována požární bezpečnost budovy.

S rozšiřováním kvalitního obsahu a zlevňováním potřebného hardwaru se technologie VR začala dostávat i do škol, kde VR může být dobrým nástrojem, který bezpochyby děti zaujme a zapojí aktivně do výuky. Při vyučování si děti mohou prohlédnou lidské tělo ve 3D nebo například projekci sluneční soustavy. Příkladem může být slovenský projekt *Virtual Medicine* [45], který pomáhá studentům medicíny s anatomií. Projekt během vlastního studia vytvořili Tomáš Brngál (medicína) a Miloš Svrček (technologie), propojili své obory a vytvořili virtuální anatomický atlas a učebnici. V projektu je zobrazena struktura lidského těla, kterou je možné rozebírat. Všechny části jsou pojmenovány a popsány.

4 Digitální model Kundratice

4.1 Vodní mlýn – Kundratice

V rámci projektu bylo vybráno několik stavení pro tvorbu digitálních modelů za účelem vytvoření virtuálního skansenu lidové architektury. Jedním z objektů je i vodní mlýn, který se nachází v Kundraticích č.p. 60, který je součástí i této diplomové práce. Vesnice Kundratice je částí obce Košťálov a leží v okrese Semily. [46]



Obr. 12: Poloha Kundratic (mapy.cz)

Objekt roubeného mlýnu je situován do písmene L. Skládá se z přízemního hlavního stavení orientovaného štítovou stranou k východu a patrového hospodářského stavení orientovaného štítovou stranou k jihu. Podoba mlýnu vyobrazená v plánech patrně pochází dle datace na překladu vstupu do chléva z roku 1783. Objekt je památkově chráněn od 3. 5. 1958. [47]

Dobová podoba mlýnu byla vymodelována díky dokumentaci, kterou vytvořil Ing. Antonín Vodseďálek v roce 1943. Dále byl využit Evidenční list nemovité kulturní památky pořadové číslo 2652. K dispozici bylo také několik dobových fotografií.

Ing. Antonín Vodseďálek se narodil 2. 11. roku 1905 ve Vysokém Mýtě nad Jizerou. Vystudoval na ČVUT v Praze obor architektury a pozemního stavitelství. Mezi jeho významnější práce patří spolupráce se sochařem Dr. K. Kramářem na rodném domě ve Vysokém Mýtě a na kašně před bývalým parlamentem v Praze. [48]



Obr. 13: Dobový snímek mlýnu (archiv Etnologického ústavu)

4.1.1 Exteriér

Stavení je tvořeno zděnou a roubenou částí. Na východním průčelí domu se nacházejí tři okna do roubené světnice. Dále je zde jedno zamřížované okno do zděné komory. Na tuto stranu domu je umístěna lomenice⁷, která je horizontálně dělená do čtyř částí.

Na jižním průčelí domu se opět nacházejí tři okna do světnice. Vedle nich je umístěn masivní dřevěný portál hlavního vstupu do stavení. Dveře jsou kosočtvercově pobíjené a zápraží je dlážděno pískovcovými plotnami.

Východní průčelí hospodářské budovy je tvořeno v přízemí zděnou stěnou s dřevěnými dveřmi do chlévů a oknem vedoucím do většího chléva. První patro je roubené s pavlačí, která má bedněné zábradlí. Jižní průčelí stavení je tvořeno zděnou stěnou a první patro je opět roubené a obklopené pavlačí. Západní průčelí je tvořeno roubenou a zděnou částí hospodářského stavení, dále stěnou hlavního stavení s lomenicí, která je dělena do dvou polí.

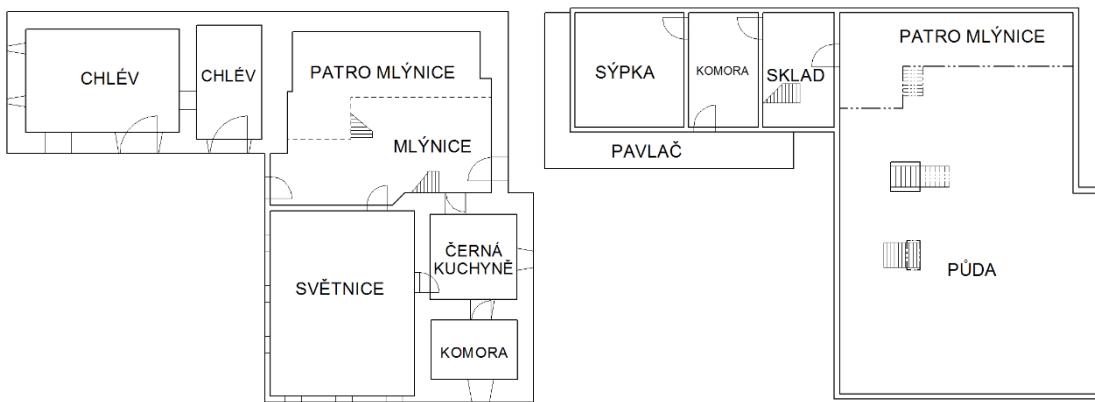
4.1.2 Interiér

Hlavní část stavení obsahuje světnici, černou kuchyni, komoru a mlýnici (viz Obr. 14). Po dřevěných schodech se lze z mlýnice dostat na půdu, ze které vedou další schody do prvního patra půdy.

⁷ Lomenice je trojúhelníkový (lichoběžníkový) štít z různě skládaných prken. [3]

Z mlýnice je vstup do prostorné světnice, která má povalový strop (viz kapitola 4.3.4 Ostatní části modelu). Ze světnice vedou dveře do černé kuchyně, která je zaklenutá pravděpodobně křížovou klenbou. Z kuchyně je vstup do komory. V mlýnici se nachází další patro, ze kterého je přístup do prvního patra hospodářské budovy. V mlýnici, černé kuchyni a komoře se na podlaze nachází hrubě opracovaný pískovec.

V přízemí hospodářských budov se nacházejí dva chlévy, které jsou valeně klenuté s výsečemi. Na podlahách chlévu se nacházejí tzv. tesy (viz kapitola 4.3.2 Terén a podlahy). V prvním patře se nachází sklad, komora a sýpka. [47]



Obr. 14: Schematický plánek přízemí a prvního patra stavění

4.2 SketchUp

Pro tvorbu modelu mlýnu byl použit software *SketchUp*. Ten byl vyvinut společností *@Last Software* v roce 1999. V roce 2006 byl program odkoupen společností *Google* a dále vyvíjen jako plugin pro *Google Earth*. Od roku 2012 software vlastní a vyvíjí společnost *Trimble*. *SketchUp* je určen k tvorbě 3D modelů. Je navržen pro využití v mnoha oborech, především ve stavebnictví. Program *SketchUp* slouží k intuitivní práci přímo v 3D prostoru, kde umožňuje rychlou tvorbu modelů a jejich prezentaci. [5]

Plnou verzi programu (tedy *SketchUp Pro*) je nutné zakoupit či je možné využít tříctidenní zkušební (trial) verzi, která je přístupná po registraci. K zakoupené licenci nebo pro zkušební verzi jsou také dostupné další programy jako je například *SketchUp Viewer VR*, který umožňuje vytvořené modely prohlížet ve VR. Firma

Trimble nabízí volně dostupnou online verzi programu, ta však má jen částečnou funkci. Hlavními nástroji programu jsou:

- *Select* – výběr
- *Eraser* – mazání
- *Lines* – kresba linií
- *Arches* – kresba oblouků
- *Shape* – kresba tvarů
- *Push/Pull* – tažení ploch
- *Offset* – zdvojí obrys vybraného objektu (lze změnit velikost a polohu)
- *Move* – posun
- *Rotate* – rotace
- *Scale* – změna měřítka.

Další zajímavý nástroj je *Follow Me*, který umožňuje libovolné ploše sledovat linii. Je to velice praktický nástroj například při tvorbě potrubí nebo krovů.



Obr. 15: Základní panel nástrojů programu SketchUp

Součástí programu je webová databáze *3D Warehouse*, která umožňuje uživatelům přístup k již vytvořeným komponentům (modelům) z celého světa a nabízí možnost prezentovat na webu jejich vlastní modely. Komponenty často mohou usnadnit práci na modelech.

Zmíněný software nabízí také velké množství pluginů, které obsahují další nástroje nebo usnadňují modelování. Některé pluginy lze instalovat přímo z programu pomocí *Extension Warehouse* (databáze pluginů). V diplomové práci byly použity pluginy *CleanUp*³ (autor Thomas Thomassen) [49], *RoundCorner* (autor Fredo 6) [50], *glTF Exporter* (autor Evan P.) [51] a *TopoShaper* [52] (popis pluginu viz kapitola 4.4.2 Tvorba DMR v programu SketchUp).

Plugin *CleanUp*³ slouží k vyčištění modelu například od zbytečných hran. Obsahuje poměrně široké nastavení toho, co se má v modelu vyčistit. *RoundCorner* slouží k zaoblení hran rohů 3D objektů. Umožňuje vytvořit kulaté, ostré či zkosené rohy. Plugin *glTF Exporter* umožnuje export do formátů glTF a glf, který byl využit pro

import modelu do rozhraní *Babylon.js*. *SketchUp* dále umožňuje exportovat vytvořené modely do dalších formátů, jako jsou:

- COLLADA File (COLLAborative Design Activity) – přípona DAE
- AutoCAD DWG File – formát souborů programu AutoCAD
- AutoCAD DXF File – formát souborů programu AutoCAD
- FBX File (Filmbox)
- IFC File (Industry Foundation Classes)
- Google Earth File
- OBJ File (3D Wavefront object File)
- STL File (Standard Triangle Language)
- VRML File (Virtual Reality Modeling Language)
- XSI File (SoftImage XSI 3D image files)

Dále byl v práci využit formát *Unreal Datasmith*, který je určen pro export modelů z programu *SketchUp* do programu *Unreal Engine 4 (UE4)*. Plugin je možné stáhnout přímo z oficiálních stránek *UE4*.

4.3 Modelování v programu SketchUp

Digitální model mlýnu byl vytvořen z poskytnutých podkladů, které obsahují půdorys přízemí, půdorys krovu a patra špýcharu⁸, zobrazení přední strany stavení (kde je naznačeno roubení a struktura lomenice), podélný řez, zobrazení východní a severní strany stavení. Tvorba modelu byla průběžně konzultována s odborníky z Etnologického ústavu v Praze, aby byla co nejlépe vystižena dobová podoba mlýnu.

Model obsahuje exteriér a části interiéru stavení (např. pec). Na většinu ploch modelu byla aplikována textura. Textury byly použity buď defaultní, které nabízí přímo program *SketchUp*, nebo byly nalezeny na webu. Byla využita především stránka *textures.com* [53], která umožňuje stažení několika textur po registraci zdarma.

⁸ Špýchar neboli sýpka je stavba (prostor) určená k uskladnění vymláceného obilí. [3]



Obr. 16: Ukázka modelu

Digitální model mlýnu byl rozdělen do vrstev:

- Krytiny
- Krovy
- Komín
- Podlaha 1. patra půdy
- Podlaha půdy
- Podlaha 1. patra
- Strop světnice
- Pavlač
- Obvodové stěny
- Vnitřní stěny
- Stěny 1. patra
- Schodiště
- Okna
- Dveře
- Pec
- Patro mlýnice
- Podlaha v přízemí
- Terén

4.3.1 Stěny

Tvorba digitálního modelu mlýnu byla rozdělena do několika etap. Nejprve byl vykreslen půdorys, z něhož byly pomocí funkce *Pull/Push* vytvořeny obvodové a vnitřní stěny. Část stěn objektu je kamenná a část roubená. V modelu byla tato skutečnost naznačena pomocí textur. Podle stavební dokumentace byla na kamenné obvodové zdi chléva naznačena loupající se omítka. U zbývajících zdí, u kterých není informace o stavu omítky, byla zed' pokrytá pouze texturou omítky.

Vrstva *Vnitřní stěny* obsahuje vnitřní stěny stavení (roubené i zděné části). Dále obsahuje klenby uvnitř černé kuchyně, komory a chlévů. Klenby jsou umístěny do této vrstvy, aby při vypnutí obvodových stěn byly vidět (viz Obr. 17). Byly vytvořeny

nakreslením dvou oblouků nad sebe, aby byla naznačena tloušťka klenby (podle plánu cca 15 cm). Mezi oblouky vznikla plocha, která byla dále vytažena do prostoru místnosti pomocí funkce *Pull/Push*. Oblouky byly nakresleny ve stejné výšce, aby se při vytažení uprostřed protály, a tím vznikl model křížové klenby. Takto byla vytvořena klenba v černé kuchyni a komoře.



Obr. 17: Klenba v komoře a černé kuchyni

Pro klenby ve chlévech bylo nutné zvolit jiný postup. Stejně jako v předchozím případě byly nejprve nakresleny dva oblouky nad sebe, vzniklá plocha byla vytažena přes celou místnost, a to ve směru delší stěny v místnosti. Další čtyři menší dvojice oblouků byly vykresleny na delší stěny chlévu, vždy dvě naproti sobě (viz Obr. 18). Menší oblouky byly následně vytaženy do prostoru, čímž vznikly výseče v klenbě. Nakonec byly smazány přebytečné plochy.



Obr. 18: Klenba v chlévech

Vrstva *Stěny 1. patra* obsahuje vymodelované obvodové a vnitřní stěny 1. patra hospodářské budovy. Celé první patro hospodářské budovy je roubené. Vrstva *Pavlač* obsahuje model pavlače s bedněným zábradlím. Aby zábradlí opravdu vypadalo jako bedněné, byly na něj naneseny obdélníky, které následně byly pomocí funkce *Pull/Push* vytaženy nepatrн do prostoru (viz Obr. 19).



Obr. 19: První patro a pavlač

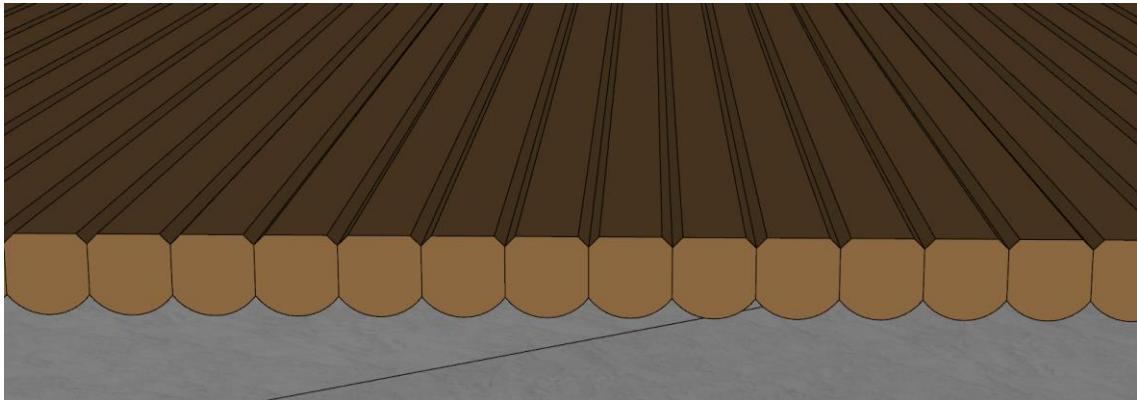
4.3.2 Terén a podlahy

Vymodelování výškového rozložení stavení bylo ztíženo tím, že se objekt nachází v mírném svahu. Podlahy v přízemí hospodářské a hlavní části stavení nejsou ve stejně výšce a stavební dokumentace obsahuje pouze jeden řez s výškami, na kterém tento rozdíl není vyznačen. Proto vrstva podlahy přízemí, která obsahuje podlahy v přízemní části stavení a základy domu, byla přizpůsobena tak, aby model vhodně přiléhal k terénu.

Terén, který obklopuje mlýn, byl vytvořen z „moderních“ dat. Je tedy pravděpodobné, že zcela neodpovídá historické podobě terénu. K historické části mlýnu byla také dostavěna další část. Jelikož má terén jen vizualizační účel, nebyla tato skutečnost brána v úvahu.

Vrstva *Podlaha přízemí* obsahuje podlahu ve světnici, která byla pravděpodobně dřevěná. Tato skutečnost byla vyobrazena texturou. Dále se ve vrstvě nachází

podlahy ostatních místností v hlavní části stavení, které jsou pokryty kamennou texturou. Podlaha chléva je tvořena tzv. tesy (viz Obr. 20). Jedná se o dřevěné trámy, které jsou z části opracované, aby se po nich dalo chodit. V půdorysu chlévu jsou dále naznačena koryta. Pro ně byla použita komponenta vany z *3D Warehouse*, u které byl upraven rozměr a barva (viz Obr. 18).



Obr. 20: Tesy

Před chlévy je umístěn chodník, který vede k hlavním dveřím. Hlavní část domu je vymodelována na kamenné podezdívce a obsahuje kamenné zápraží. Zápraží bylo zaobleno pomocí pluginu *RoundCorner*. Na zápraží u vchodu do hlavní části budovy vedou kamenné schody. Ty jsou reprezentovány pomocí modelu kamene, který byl stažen z *3D Warehouse*. Ostatní podlahy v modelu (podlaha prvního patra a podlaha půd) byly vymodelovány jako jednoduché desky.

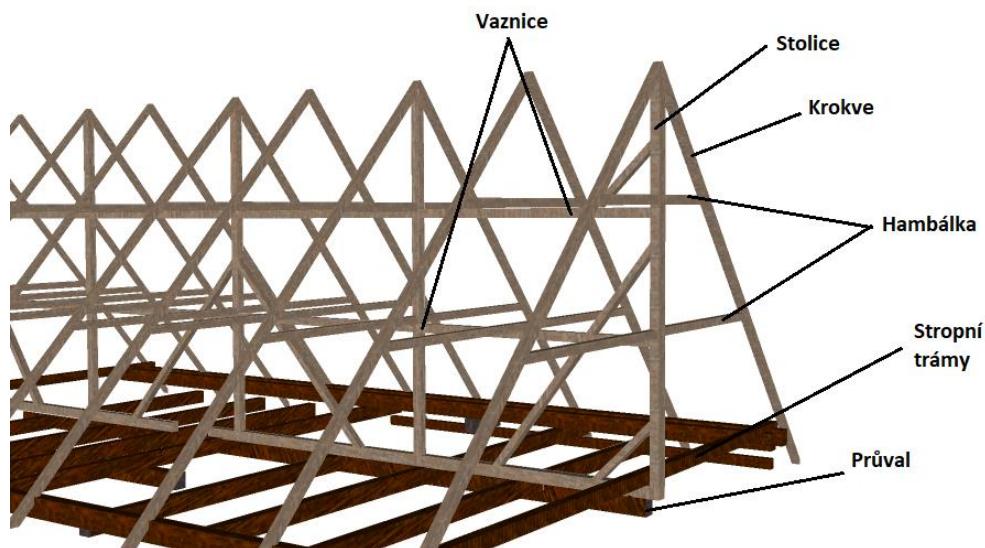
4.3.3 Střecha a krovny

Vrstva *Krytiny* obsahuje lomenice a krytiny hlavní i hospodářské části budovy. Jednotlivé části lomenice byly pomocí funkce *Push/Pull* vytaženy do prostoru. Dále byly různé části obarveny mírně odlišným odstínem hnědé, aby vyniklo rozdělení a zdobení lomenic (viz Obr. 21). Textura krytin byla stažena ze stránek *textures.com*.



Obr. 21: Hlavní část stavení – lomenice

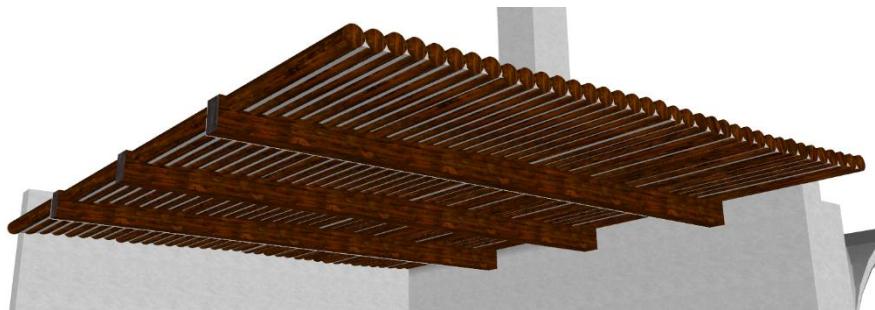
Jelikož plány obsahují jen jeden řez, bylo obtížné si krov a ostatní prvky vrstvy představit a přenést do prostoru. Vrstva *Krov* obsahuje průvlaky, vaznice, stolice, krokve a hambálky (viz obr. 22), které byly vymodelovány podle půdorysů a již zmíněného řezu. Nejprve byl vymodelován svislý trám a k němu krokve. Z nich byla vytvořena komponenta, která byla dále použita pro ostatní části. Na vrstvu byly aplikovány dvě různé textury, a to světlejší a tmavší odstín hnědé, aby bylo možné jednotlivé části vrstvy od sebe odlišit.



Obr. 22: Popis částí krovů

4.3.4 Ostatní části modelu

Strop světnice obsahuje stropní trámy světnice a na nich umístěný povalový strop. Povalový strop je tvořen z povalů⁹, které jsou umístěny vedle sebe po celé délce světnice. Drobné mezery mezi povaly byly vymodelovány tak, aby vypadaly jako vyzděná spára.

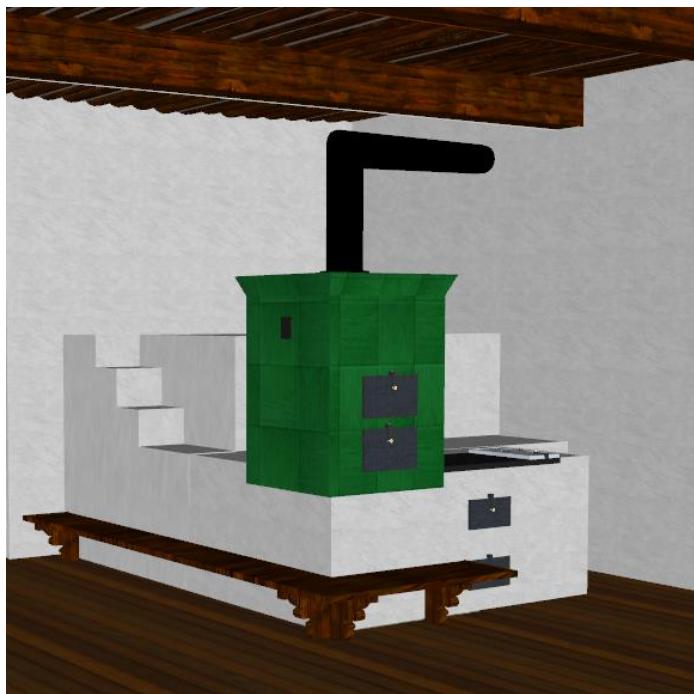


Obr. 23: Strop světnice

Pro tvorbu oken byla použita komponenta z *3D Warehouse*, která byla upravena tak, aby odpovídala vzhledu a velikosti oken mlýnu. Vrstva *Dveře* obsahuje dveře, které jsou součástí exteriéru.

Vrstva *Pec* obsahuje pec ve světnici, lavičku u pece a také zařízení černé kuchyně. V plánech je pec zobrazena v půdorysu a dále je naznačena v řezu. Přesná podoba pece však v plánech není. Proto byla pec vymodelována podle fotografií pecí pocházejících z podobných stavení. Pec obsahuje kopku (troubu) a sporák, jehož součástí je i kamenec, což je nádoba na ohřev vody. Ve stavení se nacházejí kamence dva. Jeden jako součást pece a jeden jako součást vybavení černé kuchyně. Kouřovod, který vede z pece do komínu, byl vytvořen pomocí funkce *Follow me* tak, že byl nakreslen kruh a linie, která vedla ze středu kruhu až do komína a určovala kudy kouřovod povede (viz obr. 24).

⁹ Poval je odkorněný a zhruba opracovaný kmen nebo trám podélně rozřezaný na polovinu a přitesaný. [3]



Obr. 24: Pec

Pro tvorbu schodiště byla využita komponenta z 3D Warehouse a upravena dle potřeby. Z mlýnice na půdu hlavní hospodářské budovy bylo na schodišti vymodelováno bednění, které je patrné z půdorysu. Schodiště není celé dřevěné, ale první schod je kamenný.

Jako další část interiéru bylo vymodelované i patro mlýnice, které slouží jako propojení mezi hlavní a hospodářskou částí stavení (viz Obr. 14).

Komín byl vymodelován od vrchu klenby černé kuchyně, kde byl rozšířen. Ve skutečnosti komín plynule navazuje na klenbu černé kuchyně a není možné určit, kde začíná a končí. Tato skutečnost byla právě naznačena rozšířením komínu.

4.4 Digitální model terénu

Při práci s prostorovými modely vztaženými k zemskému povrchu jsou rozlišovány následující pojmy:

- **Digitální model terénu/reliéfu** (*Digital Terrain Model*) - „*digitální reprezentace zemského povrchu v paměti počítače, složená z dat a interpolačního algoritmu, který umožňuje mj. odvozovat výšky mezilehlých bodů*“ [54]

- **Digitální model povrchu** (*Digital Surface Model*) - „zvláštní případ digitálního modelu reliéfu konstruovaného zpravidla s využitím automatických prostředků (např. obrazové korelace ve fotogrammetrii) tak, že zobrazuje povrch terénu a vrchní plochy všech objektů na něm (střechy, koruny stromů apod.)“ [54]
- **Digitální výškový model** (*Digital Elevation Model*) – „1: digitální model reliéfu pracující výhradně s nadmořskými výškami bodů, 2: datová sada výškových hodnot, které jsou algoritmicky přiřazeny k 2rozměrným souřadnicím, 3: v USA soubor nadmořských výšek ve vrcholech mříže vytvořené v pravidelných intervalech souřadnic x a y národního referenčního souřadnicového systému“ [54]

4.4.1 Digitální model reliéfu ČR 5. generace (DMR 5G)

Pro vytvoření DMT pro prezentaci digitálního modelu mlýnu byla využita data DMR 5G. DMR 5G je „*Digitální model reliéfu České republiky 5. generace (DMR 5G)* představuje zobrazení přirozeného nebo lidskou činností upraveného zemského povrchu v digitálním tvaru ve formě výšek diskrétních bodů v nepravidelné trojúhelníkové síti (TIN) bodů o souřadnicích X, Y, H , kde H reprezentuje nadmořskou výšku ve výškovém referenčním systému *Balt* po vyrovnání (*Bpv*) s úplnou střední chybou výšky 0,18 m v odkrytém terénu a 0,3 m v zalesněném terénu.“ [55]

DMR 5G je určen k analýzám terénních poměrů lokálního charakteru a rozsahu, například při projektování pozemkových úprav, plánování a projektování dopravních, vodohospodářských a pozemních staveb, modelování přírodních jevů lokálního charakteru apod. Je základní zdrojovou databází pro tvorbu vrstevnic určených pro mapy velkých měřítka a digitální vizualizace výškopisu. Zpracování dat z leteckého laserového skenování pro tento model probíhalo v letech 2010 až 2016. Od roku 2013 je postupně aktualizován. DMR 5G je poskytován ve formátu TXT v souřadnicovém systému S-JTSK. [55]

4.4.2 Tvorba DMR v programu SketchUp

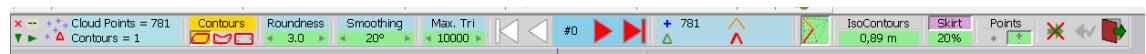
Data DMR 5G obsahující dané území byla nahrána pomocí funkce *Add Data-XY Point Data* do programu *ArcGIS Pro*, kde bylo provedeno oříznutí požadované oblasti

na nejbližší okolí mlýnu (viz Obr. 25). Data byla dále exportována do formátu DXF, který je možné importovat do programu *SketchUp*. Pro exportování vrstvy z programu *ArcGIS Pro* byla využita funkce *Export to CAD*. Při importu dat do programu *SketchUp* je nutné nastavit jednotky na metry.



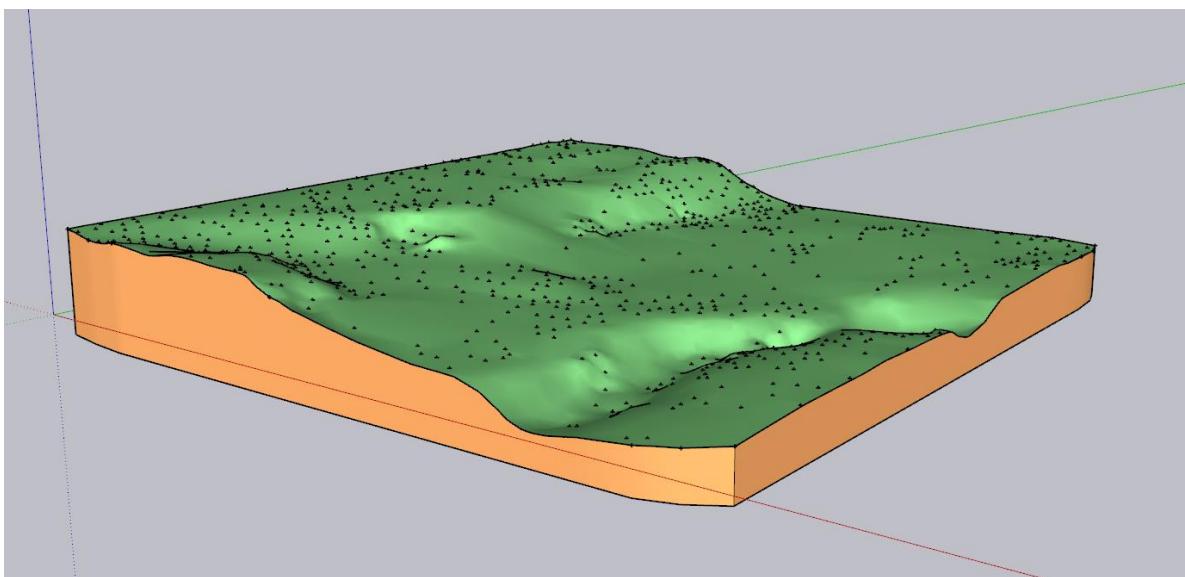
Obr. 25: Oříznuté území

Pro samotnou tvorbu DMR v programu *SketchUp* byl použit plugin *TopoShaper* (autor Fredo 6), který umožňuje generovat terén z vrstevnic nebo z mračna bodů. V práci byla použita možnost vytvoření terénu z mračna bodů.



Obr. 26: Ovládací panel pluginu TopoShaper

Terén pomocí pluginu *TopoShaper* je generován jako trojúhelníková síť, přičemž hustota bodů se mění s nadmořskou výškou. Plugin využívá Delaunayho triangulaci. Algoritmus vylepšuje triangulaci, dokud terén není dostatečně hladký. Úhel vyhlazení lze nastavit. [52]



Obr. 27: Ukázka terénu v programu *SketchUp*

4.4.3 Tvorba DMR v programu ArcGIS Pro

Stejně jako v předchozí kapitole byla k tvorbě DMT použita data DMR 5G, která byla oříznuta jen na požadovanou oblast. Dále byl v programu *ArcGIS Pro* z těchto bodů vytvořen TIN (*triangulated irregular network*) pomocí funkce *create TIN*. Ten byl následně uložen do rastru pomocí funkce *TIN To Raster*. Výsledný rastr byl exportován do formátu *GeoTIFF*, aby mohl být načten pomocí pluginu *TerraForm* do programu *UE4* (viz kapitola 5.3.4 TerraForm Pro a Datasmith importer).

5 Prezentace modelu v prostředí VR

V této kapitole budou popsány postupy použité při tvorbě výstupů do prostředí VR. Dále je zde uveden popis zařízení, které bylo pro VR využito.

5.1 Zařízení HTC Vive

Pro prohlížení digitálního modelu mlýnu v prostředí VR bylo použito zařízení HTC Vive. Jedná se o soupravu pro virtuální realitu vyvinutou společností HTC a Vive. Souprava se skládá ze čtyř hlavních částí:

- *Náhlavní Headset*
- *Base stations* (základové stanice)
- *Controllers* (ovladače)
- *Link Box* (zařízení pro propojení headsetu a PC) [56]



Obr. 28 : Zařízení HTC Vive [57]

HTC Vive disponuje HMD (*Head Mounted Display*) o rozlišení 2160x1200. Dále jsou na headsetu umístěna další zařízení (kamera, pohybové senzory, vypínač s kontrolkou aktivity a otočný knoflík nastavení vzdálenosti optických čoček). Dvě základové stanice slouží k emitování IR laserových paprsků, které střídavě vertikálně a horizontálně vyplňují herní prostor. Tyto paprsky jsou následně zachycovány snímači (fotodiody) umístěnými v těle headsetu a ovladačích (*Controllers*). Jejich poloha je pak určována ve vztahu k těmto zdrojům světla.

Dva ovladače, které mají ve svém těle umístěné senzory pohybu, slouží k ovládání několika tlačítek:

- Trackpad
- Menu
- System
- Grip
- Trigger

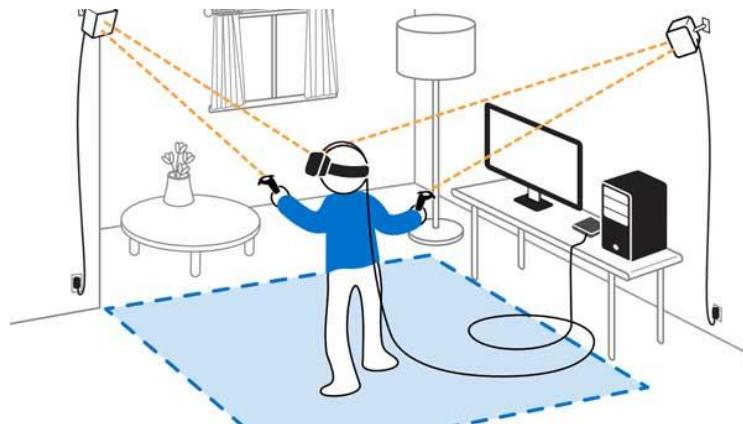
Funkce tlačítek jsou programovatelné a liší se pro každý systém. [56]



Obr. 29: Popis tlačítek na ovladačích [57]

Poslední z hlavních částí setu je tzv. *Link Box*, který slouží k propojení headsetu s počítačem. Na jedné straně jsou umístěny konektory USB, MiniDP a HDMI, které jsou určeny pro napojení počítače. Na druhé straně se nacházejí konektory HDMI, USB a Audio, do kterých se zapojuje kabel headsetu.

Pro používání HTC Vive headsetu je nutné zvolit „herní hřiště“, tedy prostor, ve kterém se bude uživatel se zařízením pohybovat. Herní prostor by neměl být menší než $2 \times 1,6$ m a větší než $4,5 \times 4,5$ m. Stanice musí být umístěny do úhlopříčných rohů herního prostoru ve výšce 180-200 cm. [56]



Obr. 30: Správné rozmístění zařízení [56]

HTC Vive se instaluje pomocí aplikace *Steam*, která sama detekuje přítomnost VR a nainstaluje příslušné ovladače pro ovládání setu. Pro testování prostředí VR v rámci diplomové práce byl HTC Vive set sestaven v laboratoři Cs-112, kde se nachází výkonný počítač.

5.2 VR Sketch

VR Sketch je rozšíření pro program *SketchUp*, které umožňuje uživateli prohlížet, upravovat a vytvářet modely v prostředí VR. Rozšíření je placené, nicméně existuje bezplatná studentská licence, která byla využita v rámci diplomové práce. *VR Sketch* je kompatibilní s různými zařízeními pro VR (*Oculus Rift*, *HTC Vive*, *Valve Index*, *Quest* and *Quest 2*). [58]

Ovládací panel obsahuje pět ikon. První umožňuje uživateli spustit prohlížení modelu ve VR. Druhá ikona je pro uživatele, kteří mají zařízení *Oculus Quest*. Třetí ikona je pro sdílení mezi více uživateli. Čtvrtá slouží ke komunikaci s VR, například lze nastavit, kam do modelu se má uživatel přenést. Pátá ikona obsahuje nastavení pro VR, jako je povolení teleportu, povolení pohybu modelu a změny velikosti či rotace atd.



Obr. 31 : Ovládací panel *VR Sketch*

Samotné používání pluginu je velmi jednoduché. Stačí do programu *SketchUp* načíst model, který má být zobrazen ve VR, stisknout první ikonu na panelu *VR Sketch*, nasadit si headset a zbytek ovládání je již dostupný v prostředí VR. Při prvním spuštění se zobrazí tutoriál, který postupně uživatele seznámí s ovládáním jednotlivých funkcí a umožňuje mu dané nástroje rovnou vyzkoušet. V tutoriu je také vysvětleno používání jednotlivých tlačítek na ovladačích.

Pomocí ovladačů lze přepínat jednotlivé nástroje. Praktické je, že každý ovladač může mít ve stejnou chvíli nastavenou jinou funkci. Například je možné pomocí jedné ruky používat teleport a pomocí druhé měnit textury. Základní panel nástrojů obsahuje velmi podobné nástroje jako panel v programu *SketchUp*.

Obsah panelu:

- *Select* – výběr
- *Eraser* – mazání
- *Draw lines* – kresba linií
- *Rectangle* – kresba tvarů
- *Move/copy, rotate, scale* – pohyb, kopírování, rotace a změna měřítka
- *Measurement tools* – nástroje pro měření
- *Paint* – nastavení materiálů (viz Obr. 32)
- *Note* – pomocí nástroje lze kreslit nebo psát poznámky
- *Teleport* – aktivuje nástroj teleportu
- *Settings* – aktivuje panel s nastavením, který obsahuje několik záložek, (nastavení renderingu, nastavení mikrofonu atd). Také umožňuje přístup ke komponentám a modelům z *3D Warehouse*. Zajímavou možností je záložka *Layers*, která umožňuje vypínat a zapínat jednotlivé vrstvy modelu.
- *Photo Camera* – umožňuje pořizovat snímky



Obr. 32: Ovladače v pluginu *VR Sketch*

5.3 Unreal Engine

Unreal Engine 4 (UE4) je vysoce kvalitní herní engine, který je vyvíjen firmou *Epic Games*. Program je volně dostupný a k jeho použití stačí pouze registrace pomocí emailové adresy. Jádro je napsáno v programovacím jazyce C++. Podporuje velké množství různých platform a umožňuje uživateli skriptováním vytvořit vlastní obsah.

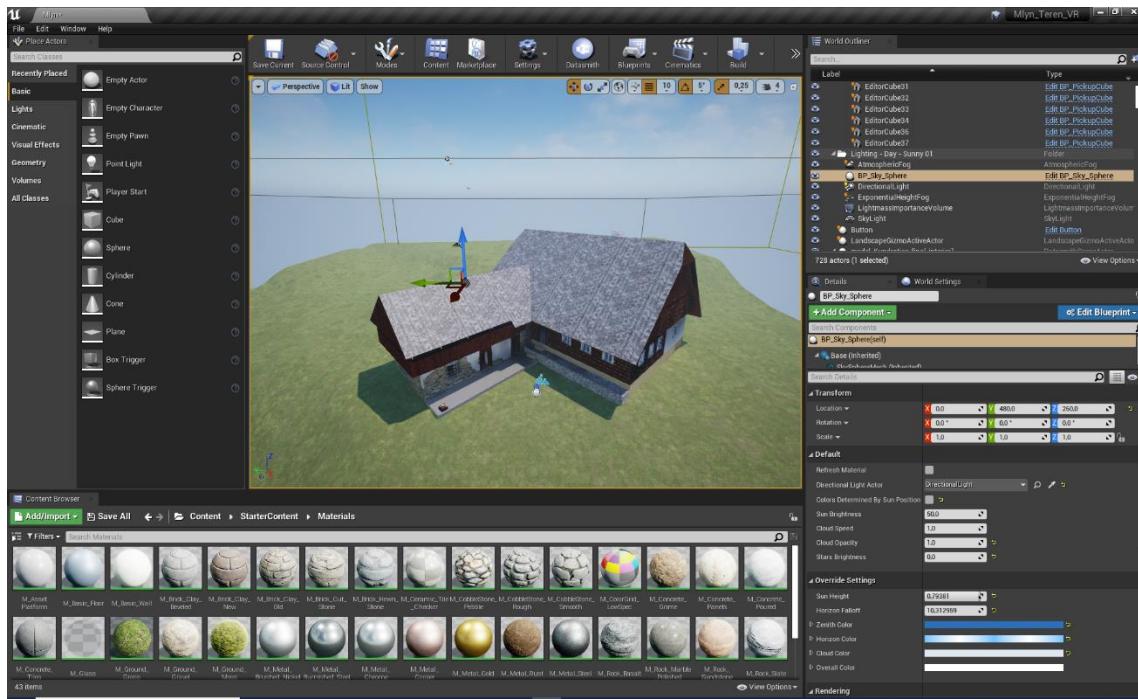
Pro tvorbu obsahu lze použít jazyk C++ nebo jazyk *Blueprint Blueprint Visual Scripting* je vizuální skriptovací systém založený na konceptu použití uzlového rozhraní k vytváření herních prvků z aplikace *Unreal Editor*. Umožňuje návrhářům používat celou škálu konceptů a nástrojů bez psaní kódu. [59]

Tvorba virtuálního prostředí v *UE4* je velice komplexní. Je nutné nastavit a vytvořit mnoho různých částí virtuálního světa (osvětlení, animace, kolize) tak, aby prostředí vypadalo reálně. V této diplomové práci bylo záměrem vyzkoušet software a zhodnotit, jestli je použitelný pro prezentaci modelů z programu *SketchUp*.

5.3.1 Založení projektu

Po spuštění programu je možné založit nový projekt nebo pokračovat v práci na již rozpracovaném projektu. Při zakládání projektu je potřeba si zvolit jednu ze čtyř kategorií – *Games, Film, Television and Live Events, Architektury, Engineering and Construction, Automotive*. V diplomové práci byla zvolena kategorie *Games*, ta nabízí dále na výběr z různých šablon. Šablony obsahují již základní nastavení a mohou značně urychlit práci. Pro tvorbu virtuální prohlídky stavení byla zvolena šablona *Virtual Reality*, která již obsahuje nastavení základních ovládacích prvků pro VR (např. nastavení teleportu). Dále je možné nastavit použití základního obsahu (*With Starter Content/No starter Content*). Po založení projektu se spustí *Level Editor* (úrovňový editor). V *UE4* je *Level* (úroveň) tvořený souborem všech objektů, světel, nastavení atd. Tento soubor prvků vytváří herní prostředí, ve kterém se poté pohybuje hráč. *Level Editor* obsahuje veškerá okna s dalšími nastaveními. Základní okna jsou:

- *World Outliner* – obsahuje seznam objektů v prostředí
- *Details* – obsahuje nastavení právě vybraného objektu
- *Content Browser* – průzkumník obsahu
- *Place Actors* – panel s objekty připravenými k umístění do levelu



Obr. 33: Editační okno levelu v UE4

Pro tvorbu virtuální prezentace modelu mlýnu byl použit jeden ze základních levelů (úrovně) šablony pro VR, a to *MotionControllerMap*. Ten obsahuje již připravené základní prvky osvětlení, atmosféry atd. Dále již má funkční nastavení teleportu a také obsahuje kostky, které je možné uchopit pomocí virtuální ruky. Další prvky (podlaha, překážky atd.) byly odstraněny a nahrazeny vlastním obsahem.

5.3.2 Tvorba krajiny

Do šablony byl importován terén pomocí pluginu *TerraForm* [60] (popis pluginu viz 5.3.4 TerraForm Pro a Datasmith importer), který umožňuje import terénu ve formátu GeoTIFF. Plugin byl aktivován a následně bylo zvoleno *Models - TerraForm*. Ovládání pluginu se nachází v postranní liště, kde bylo vybráno *Import DMT as Landscape*. Po zvolení příslušného souboru obsahujícího terén se otevře okno s nastavením importu, kde byla ponechána výchozí volba. Terén byl importován jako komponenta 2 x 2.

Terén byl do programu *UE4* importován zvlášť, aby bylo možné využívat funkce pro úpravu terénu. Pokud se načte terén jako součást modelu z programu *SketchUp*, *UE4* ho vyhodnotí jako objekt (*StaticMesh*), ne jako terén (*Landscape*). Díky samostatnému načtení terénu nemusely být řešeny kolize terénu a nastavení

teleportu. Kolize slouží k vymezení neprůchodných (pevných) částí objektu. Nastavení kolizí v projektu je popsáno níže v části týkající se importu modelu stavení.

Pro úpravu terénu slouží funkce *Landscape*. Ta obsahuje tři záložky: *Manage*, *Sculpt* a *Paint*. Nástroje sdružené pod názvem *Manage* obsahují možnosti importu, vytvoření a nastavení krajiny. Krajina je v *UE4* rozdělena na části v pravidelné čtvercové síti. Tyto části bere *UE4* jako základní jednotky pro vykreslování, výpočet viditelnosti a kolize. Druhá záložka, *Sculpt*, obsahuje sadu nástrojů pro editaci tvaru a zbarvení krajiny. Třetí záložka, *Paint*, umožňuje upravovat vzhled krajiny pomocí nanášení vrstev materiálu na části krajiny.

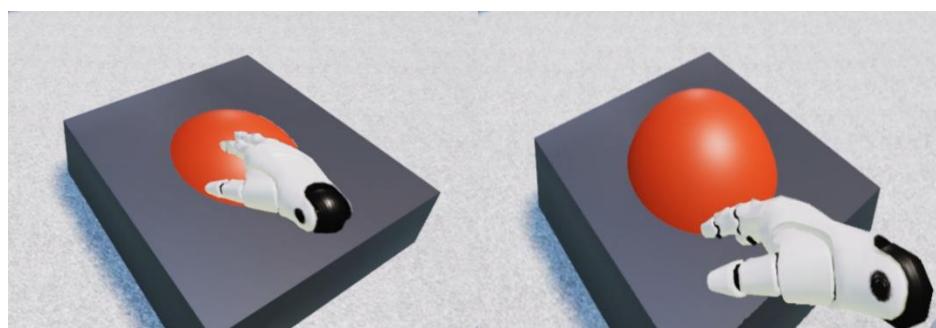
Terén nebylo nutné nijak výrazně upravovat. Bylo provedeno pouze drobné vyhlazení terénu na okrajích. Po importu nemá terén přiřazen žádný materiál. Tvorba materiálové sítě je v *UE4* komplexní záležitost. Materiály mohou obsahovat definice barev, hrubosti, průhlednosti atd. Materiál také slouží k výpočtu interakce dopadajícího světla s daným povrchem. Vytvořit realisticky vypadající materiál vyžaduje mnoho času a zkušeností. Proto bylo přistoupeno k využití materiálu ze základního balíčku. Krajina tedy byla pokryta materiélem *M_Ground_Grass*, který je pro potřeby práce dostačující.

Následně byl pomocí pluginu *Datasmith importer* do projektu importován model mlýnu. Nastavení importu bylo ponecháno defaultní. V dalším kroku bylo nutné vyřešit kolize. Model po importu žádné nastavené kolize neobsahoval. Kolize byly automaticky vygenerovány, nicméně byly zjištěny problémy s průchodností v některých částech objektu. Proto byla v nastavení projektu změněna defaultní možnost *Simple and Complex* na možnost *Use Complex Collision As Simple*. S tímto nastavením je možné projít všechny části objektu. V *UE4* jsou dva hlavní typy kolizí (kolizních boxů), a to *simple* (jednoduché) a *complex* (komplexní). Jednoduché kolize jsou tvořeny primitivy (jako jsou krychle, koule apod.). Složité kolize jsou tvořeny trojúhelníkovými sítěmi, které obklopují daný objekt. Dále je možné zvolit z možností *Use Simple Collision As Complex* nebo *Use Complex Collision As Simple*. *Use Simple Collision As Complex* znamená, že jsou ignorovány komplexní kolize. To přispívá ke snížení potřebné operační paměti a zmenšuje nároky na výpočet. Opakem je *Use Complex Collision As Simple*, toto nastavení prakticky ignoruje jednoduché kolize. [59]

Dále bylo nutné provést nastavení osvětlení. K tomu byl využit volně dostupný nástroj s názvem *UE4 Lighting Presets 3 Pack* [61], určený pro tvorbu denního osvětlení a atmosféry. Lze ho volně stáhnout ze stránky *Gumroad.com*. Balíček obsahuje tři složky s vytvořenými prvky osvětlení, které je možné vložit do vlastního projektu. Jak aplikovat nastavení na vlastní projekt je vysvětleno ve videu *Unreal Engine 4 Lighting tutorial* [62]. Z důvodů špatných světelných podmínek v interiéru byly použity ještě další osvětlovací prvky. Pro nasvícení pece ve světnici bylo použito *Spot Light* (vyzařuje světlo z jednoho bodu ve tvaru kuželev). Ostatní místnosti byly nasvíceny pomocí *Point Light* (vyzařuje světlo z jednoho bodu všemi směry).

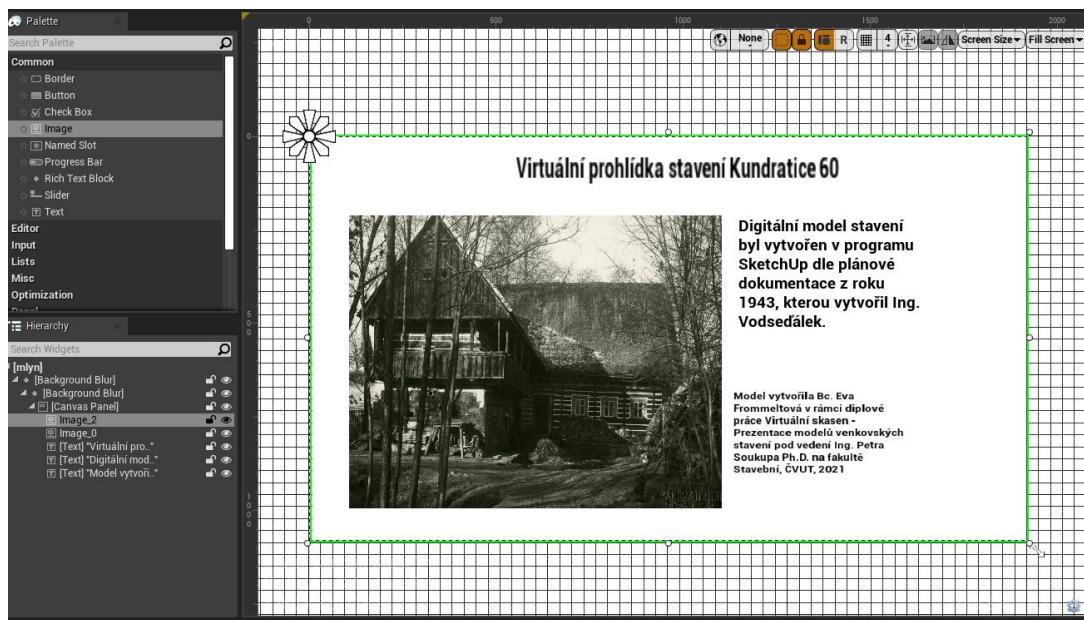
5.3.3 Přidání interaktivního obsahu

Stejně jako u ostatních výstupů diplomové práce byla i v *UE4* snaha přidat do scény další obsah (text nebo obrázek). Za tímto účelem bylo vytvořeno jednoduché tlačítko, které má snadnou funkci. Po stisknutí tlačítka pomocí virtuální ruky se objeví okno s dobovým snímkem mlýnu a textem. Zároveň bylo nastaveno tak, aby simulovalo stisk reálného tlačítka. To znamená, aby se vrchní část tlačítka posunula nejprve dolů a následně se vrátila zpět do původní polohy (viz Obr. 34). Při druhém zmáčknutí tlačítka okno zmizí.



Obr. 34: Tlačítko v *UE4*

Okno s obrázkem a textem bylo vytvořeno pomocí třídy *Widget Blueprint*. V editačním okně widgetu byl přidán objekt *Image*, do kterého byl vložen dobový snímek stavení a tři pole s textem.

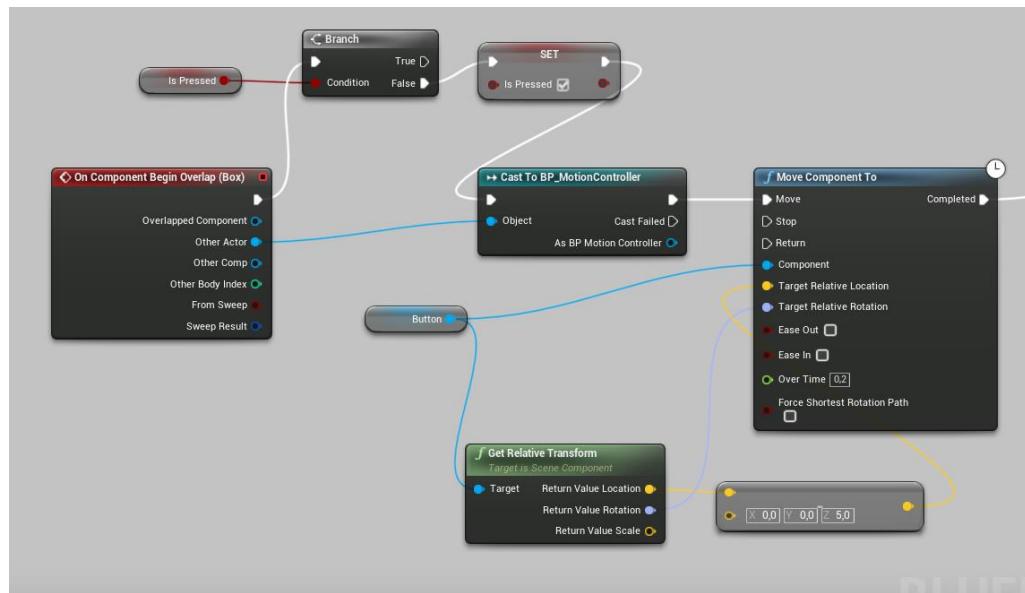


Obr. 35: Editační okno – Widget v UE4

Samotné tlačítko bylo vytvořeno jako nová třída (s rodičovskou třídou *Actor*). V editačním okně byly přidány komponenty krychle (spodek tlačítka) a koule (vršek tlačítka). Nad horní část tlačítka byl umístěn *Box Collision*, který slouží k detekování virtuální ruky. V detailech kolizního boxu byla v části *Events* zvolena funkce *Begin Overlap* („začátek překrývání“). Editor sám přepne okna a přesune uživatele do části *Event Graph*, kde byla vytvořena funkce tlačítka pomocí jazyka *Blueprint*. Dále bylo potřeba propojit tlačítko s ovladačem pro VR. Jelikož je využita šablona VR, není nutné funkčnost ovladače zvlášť nastavovat. Stačí využít funkci *Cast to BP_MotionController* a propojení je zajištěno.

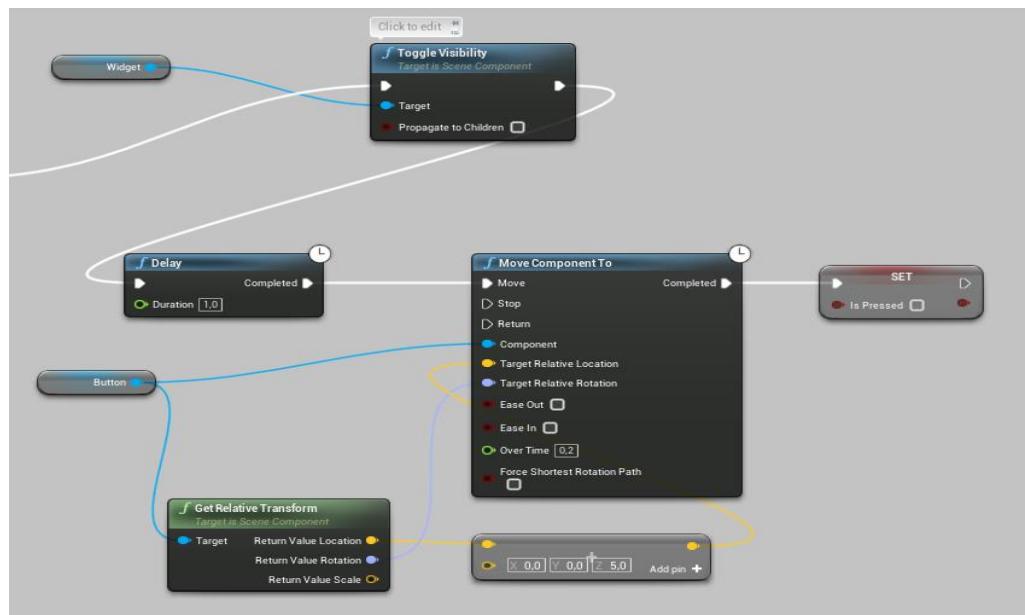
Aby bylo možné opětovné použití tlačítka a nebylo možné stlačit již stlačené tlačítko, byla vytvořena proměnná s názvem „*Is pressed*“ a byl jí nastaven typ *Boolean*. Ten může nabývat dvou hodnot, a to *True* a *False*. Po překrytí kolizního boxu je vznesen dotaz, jestli je tlačítko již stlačeno (viz Obr. 36). Pokud je, nestane se nic, pokud není, skript pokračuje dál.

Dále byla připojena funkce *Move component To*, která zajišťuje pohyb tlačítka. Bylo nutné nastavit cílovou lokaci a rotaci (*Target Relative Location*, *Target Relative Rotation*), k tomu byl využit nástroj *Get Relative Transform*. Následně byl přidán nástroj *vector minus vector*, kde bylo v ose Z nastaveno o kolik se má vrchní část tlačítka posunout dolů.



Obr. 36: První část skriptu v UE4

Z nástroje *Move component To* skript pokračuje do funkce *Toggle Visibility*, která mění viditelnost třídy *Widget* (okno se snímkem a textem), ve výchozím nastavení je třída neviditelná. Následně byl vložen nástroj *Delay*, který určuje zpoždění, s jakým se tlačítko vrátí do původní polohy. Znovu byla použita část skriptu s nástroji sloužící pro pohyb tlačítka dolů a změněna funkce *vector minus vector* na *vector plus vector*. Tím se docílí vrácení tlačítka do původní polohy. Na konci byla proměnná *Is pressed* nastavena na *false*, aby mohlo být tlačítko znovu použito.



Obr. 37: Druhá část skriptu v UE4

Při tvorbě tlačítka byl využit video tutoriál *How to make pressable BUTTON for VR* [63] a dokumentace k programu *UE4* [59].

5.3.4 TerraForm Pro a Datasmith importer

Při tvorbě prezentace modelu byl použit plugin *TerraForm*, pomocí kterého byl do programu načten digitální model terénu ve formátu GeoTIFF. Do programu *UE4* byla nainstalována volná verze pluginu. Plugin má také další dvě placené verze, které nabízejí další nástroje. Na oficiálních stránkách pluginu jsou k dispozici rozsáhlé tutoriály, které je možné využít. Nachází se zde i návod, jak data pro import do *UE4* připravit. [60]

Využití pluginu při importu je velmi výhodné, protože jak ve své práci „*Prezentace 3D modelů a GIS dat v prostředí virtuální reality*“ [12] popisuje Vojtěch Cehák, importovat digitální model terénu do softwaru je možné pouze ve formátu PNG nebo RAW ve stupních šedi s barevnou hloubkou 16 bitů. Navíc při importech mohou nastat problémy.

Druhým využitým pluginem je *Datasmith importer*, který umožňuje do programu *UE4* importovat formát *udatasmith*, vytvořený přímo pro *UE4*. K jeho využití je nutné nainstalovat do programu *SketchUp* plugin *Sketchup Pro Exporter*, který je dostupný přímo na oficiálních stránkách *UE4*. Tento způsob exportu do *UE4* je možný z více programů, které slouží pro tvorbu 3D modelů. [64]

Při importu je nutné dát si pozor na orientaci ploch v programu *SketchUp*. Pokud jsou plochy opačně orientované, v enginu se nezobrazují. Pokud se v modelu nacházejí skupiny nebo komponenty, jsou následně v *UE4* zobrazovány jako jedna část. Je vhodné například všechny stěny sloučit do skupiny, aby mohly být vybírány najednou.

5.3.5 Export na web

Dále byla prozkoumána možnost využití výstupu z *UE4* i v prostředí webového prohlížeče. V dokumentaci programu bylo zjištěno, že starší verze programu *UE4* (do verze 4.23.1) podporovaly export do HTML5. V novějších verzích již tato možnost exportu není. Pro tvorbu výstupu do prostředí VR byla využita novější verze (4.26.1). Dále bylo zjištěno, že možnost exportu do HTML je ke stažení na

stránkách *Github* [65] a lze ji nainstalovat i do novější verze *UE4*. Instalace je poměrně komplikovaná. Proto byla v práci využita starší verze *UE4*.

Pro import modelu bylo nutné využít starší verzi pluginu *Datasmith importer* (kompatibilní s verzí *UE4 4.23.1*), která podporuje pouze starší verzi programu *SketchUp* (2017). Tentokrát nebyl terén do *UE4* importován samostatně, ale byl použit již vytvořený v programu *SketchUp*. Na importovaný terén pak není v tomto případě možné využít nástroje *Landscape* (nástroje pro editaci terénu).

Při zakládání projektu byla použita šablona *FirstPersonCharacter*, která umožňuje pohybovat se v modelu použitím klávesnice. Aby bylo možné „vstoupit“ do stavení, byla výchozí velikost pomyslného „hráče“ zmenšena. Kolize a světla byla nastavena stejně jako v šabloně pro VR.

Stejně jako v předchozím případě byla snaha přidat vlastní obsah. Byla vytvořena třída *Widget*, která obsahuje informace o práci a dobový snímek stavení. Navíc bylo přidáno tlačítko *Zavřít*, které slouží k zavření okna widgetu. Když „hráč“ přijde k objektu s texturou „i“, zobrazí se *Widget* s informacemi. K tomu, aby *Widget* opět zmizel, musí uživatel kliknout na tlačítko *Zavřít*.

Virtuální prohlídka stavení Kundratice 60



Digitální model stavení byl vytvořen v programu SketchUp dle plánové dokumentace z roku 1943, kterou vytvořil Ing. Vodsedálek.

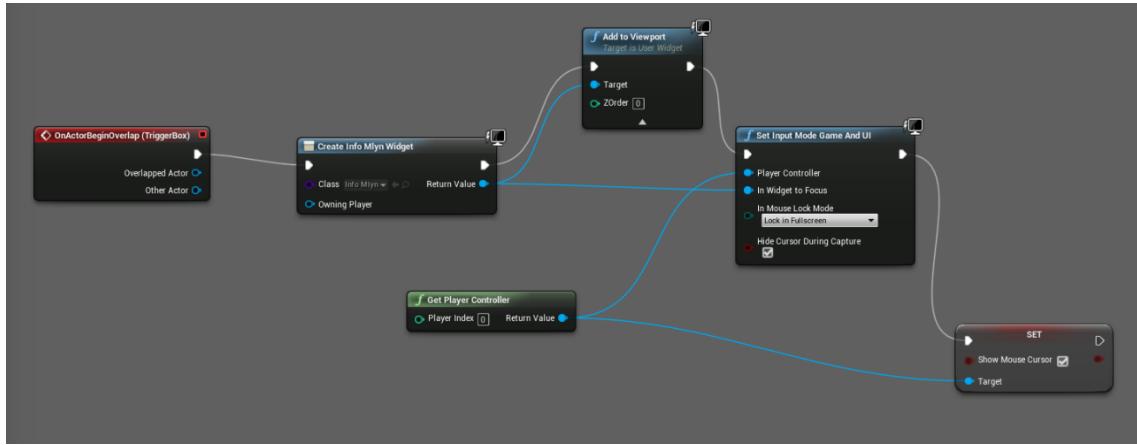
Model vytvořila Bc. Eva Frommeltová v rámci diplomové práce Virtuální skasen - Prezentace modelů venkovských stavení pod vedením Ing. Petra Soukupa Ph.D. na Fakultě stavební, ČVUT v Praze, 2021

Zavřít

Obr. 38: Podoba třídy Widget v *UE4*

Pod objekt s texturou „i“ byl umístěn *Trigger Box*, kterému byla přidána událost *OnActorBeginOverlap* („když hráč překryje“), která byla propojena s funkcí *Create Widget*, kde byl nastaven konkrétní widget (*Info mlýn*). Dále byl widget přidán na

obrazovku (*Add to Viewport*). Nakonec bylo provedeno nastavení umožňující hráči ovládat kurzor myši.



Obr. 39: Nastavení Trigger Boxu v UE4

K exportu *Levelu* je nutné stisknout *File-Package Project* a zvolit možnost HTML5. Program sám vytvoří zbytek potřebných věcí pro vystavení na web včetně příslušného HTML souboru. Tento výstup nebyl vystaven na webových stránkách vytvořených v rámci práce, kvůli jeho velikosti (742 MB). Při tvorbě informačního panelu byl využit video tutoriál *Virtual Museum in Unreal* [66] a dokumentace k programu *UE4* [59].

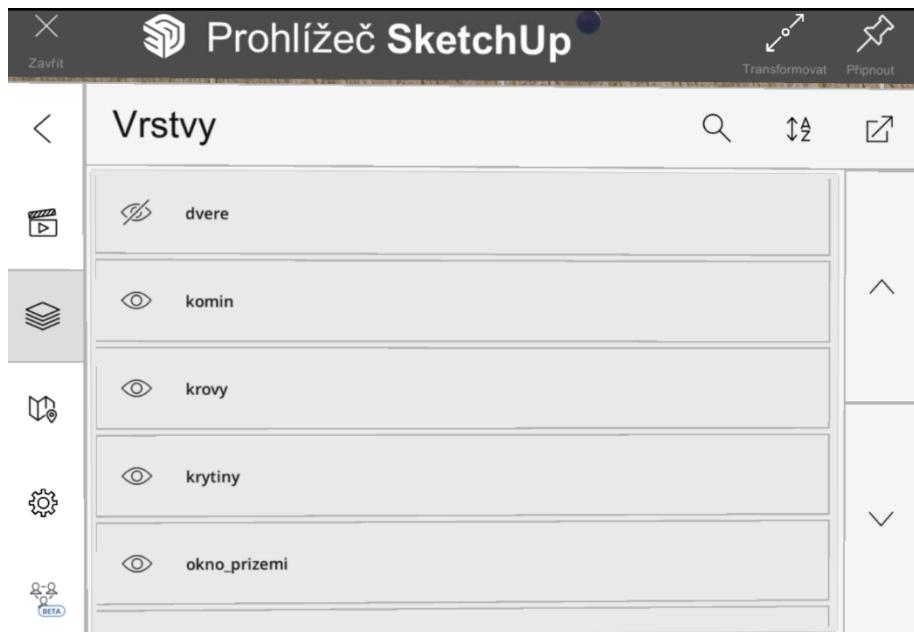
5.4 SketchUp Viewer pro VR

SketchUp Viewer pro VR je program od společnosti *Trimble*, který je poskytován pro držitele licence *SketchUp Pro* zdarma. V aplikaci je možné prohlížet a procházet vytvořené modely v programu *SketchUp* ve VR. [67]

Model je možné otevřít buď lokálně nebo z *3D Warehouse*. Po otevření modelu se objeví ovládací panel se záložkami:

- *Další možnosti* – obsahuje nastavení scény, vrstev (viz Obr. 40), zobrazení a jednotek
- *Transformovat* – posunutí, změna měřítka, rotace nebo ukotvení modelu
- *Měření v modelu* – nástroje pro měření v modelu
- *Zobrazení informací o modelu* – kliknutím na model zobrazuje informace o subjektu

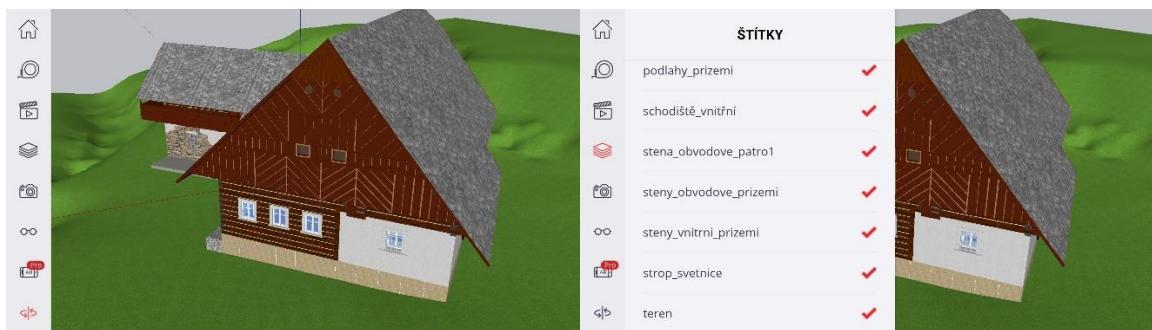
- *Přejít na místo ve volném režimu* – pomocí ovladače se lze přemístit do prostoru modelu, kde je možné se pohybovat pomocí módu chůze nebo přejít (teleport)
- *Sdílení modelu s dalšími uživateli*



Obr. 40: Ovládací panel – SketchUp Viewer pro VR

5.4.1 SketchUp Mobile Viewer

Firma *Trimble* také nabízí aplikaci *SketchUp Mobile Viewer (AR/VR)*, která má verzi pro operační systém *Android* i *iOS*. V aplikaci je možné zobrazit modely z *3D Warehouse* nebo uložené v zařízení. Po otevření modelu se na postranní liště nachází ovládací panel s několika záložkami (podobně jako *SketchUp Viewer pro VR*). Panel obsahuje záložky s nástroji pro měření, s nastavením scény, s vypínáním a zapínáním vrstev, s možností přepnout zobrazení do režimu AR atd.



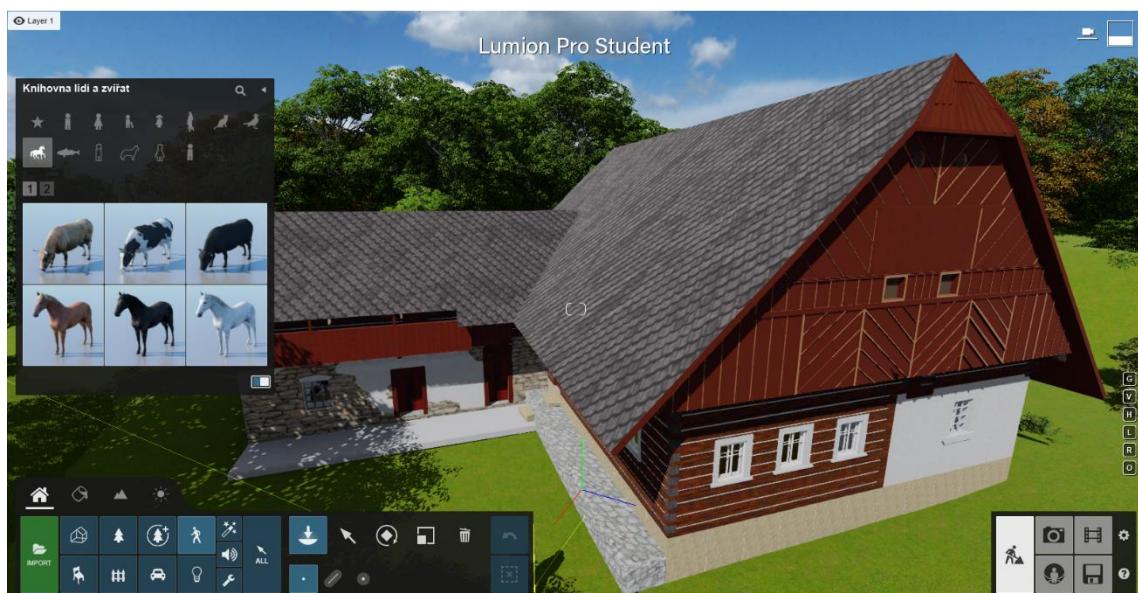
Obr. 41: Ovládací panel aplikace SketchUp Mobile Viewer

5.5 Lumion

Vizualizační program *Lumion* je určen k renderování fotorealistických 3D scén. Umožňuje jednoduchým způsobem vytvořit statické snímky, animovaná videa a panoramatické snímky. Program je velice snadno ovladatelný a je určen hlavně pro architekty, designéry a BIM modeláře.

Program *Lumion* je komerční, licenci je tedy nutné zakoupit. Má dvě verze. První, *Lumion 11*, obsahuje pouze omezený obsah a jen některé funkce. Druhá verze, *Lumion 11 Pro*, obsahuje veškerý obsah a funkce. Studentům (po předložení platného studijního potvrzení či karty ISIC) poskytuje verzi *Lumion EDU PRO*, která není určena ke komerčnímu využití. [6]

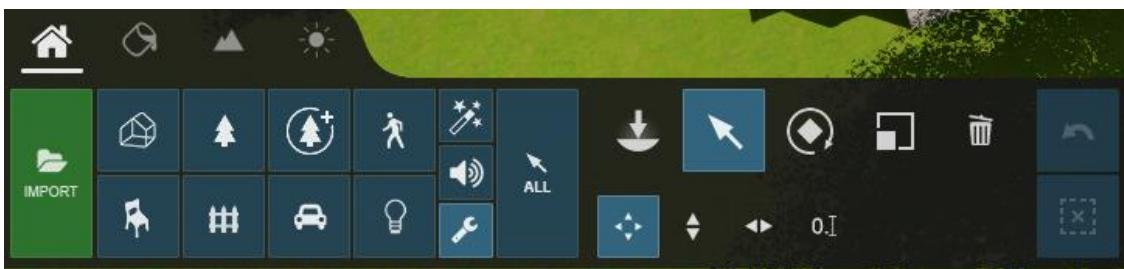
Pro vytvoření nového projektu je možné si vybrat z několika šablon, které obsahují různé typy krajin (např. pláž, zasněženou krajinu atd.). Po stisknutí tlačítka import je možné do programu vložit kompletní model přímo ve formátu *SketchUp File*. Není tedy nutné z programu *SketchUp* nic exportovat.



Obr. 42 : Ukázka programu *Lumion*

Základní záložka obsahuje čtyři různá okna s nástroji:

- Knihovna obsahu
- Materiály
- Krajinu
- Počasí



Obr. 43: Knihovna obsahu v programu Lumion

Knihovna obsahu nabízí širokou škálu různých objektů a efektů (např. hospodářská zvířata, mlhu či kouř). Objekty jsou rozděleny do několika kategorií podle obsahu:

- *Importované modely* – seznam importovaných modelů
- *Příroda* – obsahuje objekty jako jsou stromy, květiny, keře či skály nebo listí
- *Detailní příroda* – obsahuje detailní modely rostlin
- *Lidé a zvířata* – modely lidí a zvířat
- *Indoor* – objekty do interiéru (nábytek, jídlo, nádobí, elektronika atd.)
- *Outdoor* – objekty pro exteriér (lavičky, lampy, budovy, ploty atd.)
- *Doprava* – objekty týkající se dopravy (auta, lodě, vlaky, letadla atd.)
- *Světla* – nabízí tři základní kategorie světel: bodová, rozptýlená a plošná světla
- *Efekty* – efekty z kategorií fontány, oheň, kouř, mlha a listí
- *Zvuk* – zvuky z kategorií lokace (např. zvuky letiště), příroda (např. zvuky moře), objekty (zvuk auta), lidé (např. zvuky jásotu nebo potlesku)
- *Nástroje* – obsahují *clip plane*, *grid*, *cut*, *measure*, *reflection control*, *text* (vysvětlení viz další odstavec)

Clip plane umožňuje vytvořit řezy. Při aplikaci v modelu se zobrazí rovina řezu, kterou je možno libovolně umisťovat a natáčet. Nástroj je často využíván při animaci rostoucí stavby. Nástroj *Grid* přidá do modelu mřížku a slouží k ověření vzdálenosti či ke kontrole měřítka modelu. *Cut (Landscape Cutter)* slouží k tvorbě otvoru v terénu, hodí se především pro vytváření bazénů či sklepů. Nástroj *Measure* umožňuje klasické odměřování v modelu. *Reflection control* slouží k nastavení odrazů světla. Program *Lumion* má defaultně nastaveny základní odrazy. Pokud je

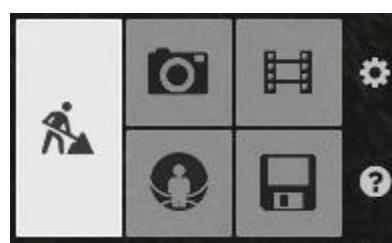
chce uživatel změnit, slouží k tomu právě tento nástroj. Nástroj *Text* umožňuje vložit do scény 3D text. Kromě typického nastavení jako je font či velikost písma, lze například nastavit viditelný rozsah (vzdálenost, ze které bude text viditelný) nebo rozsah slábnutí textu. Také se na této záložce nachází nástroje pro editace polohy, pro rotaci a mazání objektů.

Další záložka umožňuje upravovat materiály na modelu. Nástroj obsahuje poměrně široký výběr různých materiálů a širokou škálu nastavení materiálu jako je zbarvení, lesk, odrazivost, měřítko textury atd. Zajímavé jsou materiály, které jsou označeny písmenem D, využívající tzv. *displacement* mapování. To znamená, že je u nich možné nastavit hloubku textury. Ta vytváří z plochého materiálu prostorový.

Třetí záložka slouží k úpravě krajiny. Obsahuje nástroje pro editaci terénu (zvýšení, snížení), přidání a nastavení vodních ploch, nástroje pro editaci barvy terénu, OpenStreetMap a editaci trávy v terénu (např. velikost trávy). Poslední záložka slouží k nastavení počasí, obsahuje zapnutí/vypnutí reálné oblohy. Dále je zde možnost nastavit směr slunce, rychlosť a směr větru.

V pravé části programu se nachází lišta obsahující tlačítka pro přepínání módu:

- *Tvořit* – režim tvorby scény, obsahuje záložku popsanou výše
- *Foto* – tvorba snímků modelu
- *360 Panorama* – tvorba panoramat v modelu
- *Video* – tvorba videí
- *Soubory* – možnosti uložení
- *Nastavení* – umožňuje provádět nastavení v záložkách obraz, vstup, systém
- *Tutoriál* – obsahuje návody k používání programu



Obr. 44: Ukázka ovládacího panelu v programu *Lumion*

Jako výstup je možné vytvořit snímky nebo video. Při tvorbě snímků se otevře okno, které umožňuje nastavit pohled, z jakého má být model snímán. Dále umožňuje vybrat styl a efekt (realistický, noc, úsvit, zataženo, slunce, déšť, efekty kamery atd.). Pro vytvoření samotného snímku slouží tlačítko *Render*, pomocí kterého je možné zvolit další nastavení (hloubková, normálová mapa, velikost snímku atd.). Tvorba videa funguje na stejném principu.

Další možností výstupu je 360° panorama. Zde nelze nastavit styl, ale různé efekty týkající se počasí a animací. Dále je možné nastavit:

- *Kvalitu výstupu* – určuje produkční kvalitu
- *Stereoskopický* – možnost jde zapnout/vypnout,
- *Cílové zařízení* – zde zvolit buď obecné zařízení nebo *GearVR/Oculus*
- *Volba velikosti* – střední nebo velké



Obr. 45: Ukázka programu *Lumion* – tvorba panoramatických snímků

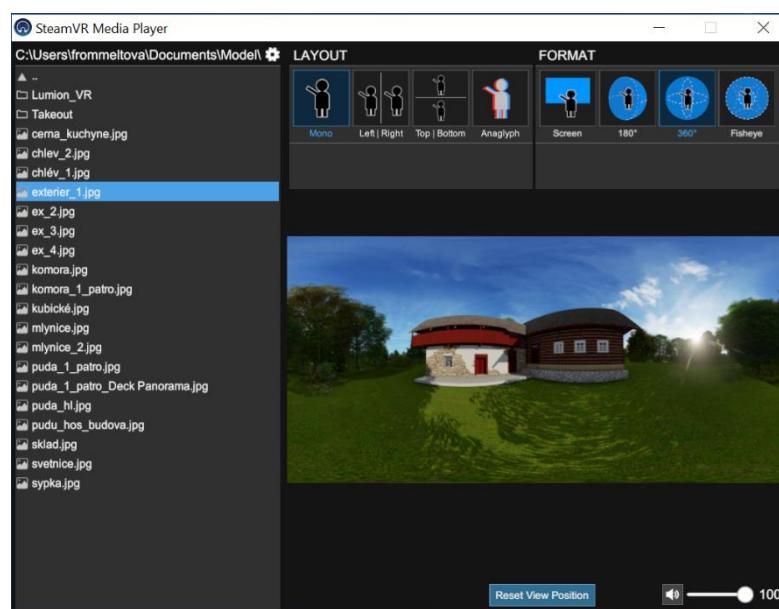
Panorama lze uložit přímo do souboru či jej nahrát na webové stránky *My Lumion*, kde jej lze rovnou prohlížet v prostředí webu. Při ukládání do souboru je možné zvolit buď obecné zařízení (formát válcového panorama) nebo zvolit GearVR/Oculus (formát kubického panorama), určené k prohlížet na VR zařízeních. Podporovaná jsou pouze zařízení Oculus Rift and Samsung GearVR.

V rámci práce byla v programu *Lumion* vytvořená scéna na základě šablony *forest environment*, která obsahuje krajinu se stromy. Následně byl do scény importován model stavění z programu *SketchUp* a provedeny drobné editace. Byl

změněn materiál terénu a materiál použitý na krytinu střechy (materiál s *displacement* mapováním). Do chléva byl vložen model krávy.

Jako výstupy z programu byly vytvořeny panoramatické snímky ze čtyř bodů v okolí stavení a z každé místonosti. Z vyhotovených snímků byla vytvořena prohlídka (viz kapitola 6.2 Virtuální prohlídka).

V aplikaci *SteamVR* lze prohlížet panoramatické snímky volbou *spustit přehrávač* (*SteamVR Media Player*). Panoramatické snímky s nastavením *GearVR/Oculus* se nezobrazí správně (jsou určená pro jiná VR zařízení). Nicméně prostřednictvím aplikace lze pomocí headsetu HTC Vive prohlížet panoramatické snímky, které jsou rendrovány s nastavením *obecná zařízení*.



Obr. 46: Prohlížení snímků aplikace *SteamVR Media Player*

6 Prezentace modelu na webu

V této části se práce věnuje vystavením modelů na webových stránkách. Pro prezentaci modelů na webu byly vytvořeny vlastní webové stánky dostupné z:

<https://evafommeltova.github.io/mlyn.github.io/index.html>

6.1 Prezentace pomocí WebGL

Ve webovém prostředí byla pro prezentaci 3D modelů využita technologie *WebGL* (*Web Graphics Library*), která umožňuje prohlížení modelů či animací. Vykreslení modelů je možné okamžitě ve webovém prohlížeči. *WebGL* je bezplatné multiplatformní JavaScriptové API pro zobrazování interaktivní 3D grafiky. Je vyvíjeno a spravováno neziskovou organizací *Khronos Group*. [68]

Technologie se skládá ze dvou částí, a to z obslužného kódu napsaného v Javascriptu a kódu shaderu¹⁰, který pracuje na grafické kartě počítače. *WebGL* je založen na *OpenGL ES 2.0*, což je část *OpenGL*¹¹ rozhraní pro počítačové vykreslování grafiky k použití ve videohrách. *WebGL* používá HTML5 element *canvas*¹² a DOM¹³ (*Document Object Model*). [68]

Technologii *WebGL* využívají například *Google Maps*. Je možné ji použít i bez znalosti programovacích jazyků, například využitím platforem jako jsou *Blender*, *Autodesk Maya* či *CopperCube*. Vytvořené scény jsou exportovány přímo do *WebGL*. Další možnosti vyžadující programování je využití JavaScriptových knihoven *Three.js* nebo *Babylon.js*. [69]

6.1.1 CopperCube

CopperCube je herní engine s grafickým editorem vyvinutý společností *Ambiera*. Umožňuje tvorbu 3D aplikací za použití metody „drag and drop“ (táhnout a pustit), lze tedy objektům snadno nastavit chování a akce. Vlastní akce a chování si může

¹⁰ Shader je počítačový program sloužící k řízení jednotlivých částí programovatelného grafického řetězce grafické karty. [68]

¹¹ OpenGL (Open Graphics Library) je průmyslový standard specifikující multiplatformní rozhraní (API) pro tvorbu aplikací počítačové grafiky. [68]

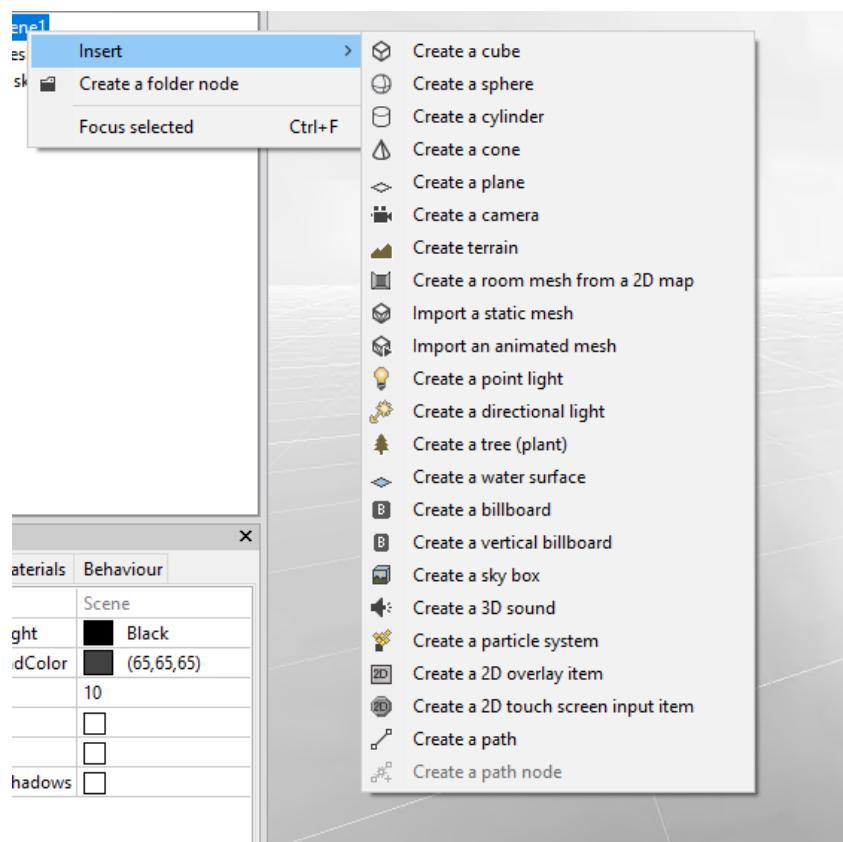
¹² Canvas je element HTML5, který slouží k vykreslení grafiky pomocí JavaScriptu. [68]

¹³ DOM je objektově orientovaná reprezentace XML nebo HTML dokumentu, je to API umožňující přístup či modifikaci obsahu, struktury nebo stylu dokumentu. [68]

uživatel vytvořit pomocí JavaScriptu. Program je zaměřen především na uživatele bez programátorských znalostí a je volně dostupný.

Program využívá vlastní knihovnu *CopperLicht*, což je volně dostupná JavaScriptová knihovna. Editor je možné používat na Windows nebo macOS. V programu lze vytvářet hry a interaktivní 3D simulace ve formátu aplikací pro *Windows, Mac, Android* a také interaktivní webové scény za použití technologie *WebGL*. Engine umožňuje importovat velké množství formátů pro 3D modely. Mezi nimi i formáty COLLADA, OBJ, STL atd. Model lze do programu importovat volbou *Import-Static 3D Mesh from file*. Do jedné scény je možné načíst více než jeden model.

Exportovat scénu je možné ve čtyřech různých formátech. Nevhodnější z pohledu diplomové práce je export do HTML tedy volba *Publish as WebGL*. Tímto exportem vznikne adresář, ve kterém je uložen soubor *ccbj*, textury a *copperlicht.js*. Mimo adresář dále vznikne soubor HTML, ve kterém je model zobrazen v *canvasu* s využitím JavaSkriptu. [70]



Obr. 47: Ukázka programu *CopperCube* – vložení

V programu je také možné vytvářet nové objekty (viz Obr. 47). *CopperCube* umožňuje vytvořit jednoduchý objekt (např. koule či krychle), terén, místnost z 2D mapy, vodní plochu atd. Zajímavá z pohledu této práce je možnost *Create a 2D overlay item*, která umožňuje uživateli vložit do modelu vlastní text či obrázek. Prvek *2D overlay item* byl využit k tvorbě tlačítek, která vypínají a zapínají jednotlivé vrstvy. Program obsahuje možnost přiřadit těmto prvku různé „akce“.

Pro nastavení pohledu na model lze využít šest kamer, které mají různá využití. Jedna scéna může mít více kamer. Jednotlivé druhy kamer jsou:

- *Simple camera* – jednoduchá kamera bez dalších vlastností
- *First person Shooter Camera* – horizontálně pohybující se kamera, ovládaná myší a klávesnicí
- *Third Person Camera* – kamera sledující pohyb kontrolovaného objektu
- *Free Flying Camera* – volně létající kamera v prostoru, ovládaná myší a klávesnicí
- *Model Viewer Camera* – kamera pohybující se po orbitě kolem objektu (ovládána myší)
- *Panorama Camera* – statická kamera. [70]

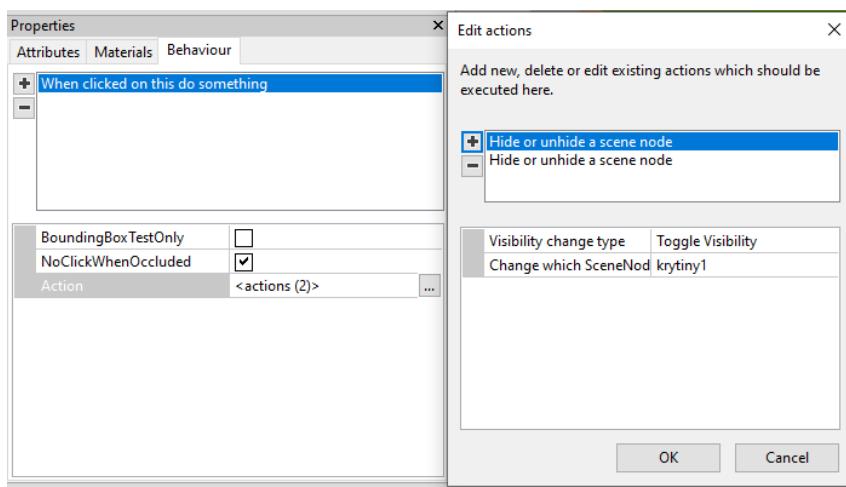
U každého objektu lze v programu provádět různá nastavení na třech záložkách *Attributes*, *Material* a *Behaviour*. Záložka *Attributes* umožňuje uživateli provést základní nastavení (rozměr, poloha, natočení, viditelnost atd.). Druhá záložka (*Material*) slouží k nastavení textur. Třetí záložka (*Behaviour*), tedy chování, slouží k nastavení různých akcí. Obsahuje chování vhodné pro prezentaci modelů, jako je rotace objektu, létání v kruhu či pohyb po trajektorii.

Do programu *CopperCube* byly importovány vrstvy obsahující jednotlivé části modelu mlýnu ve formátu DAE. Při importu bylo zjištěno, že pro zachování správné pozice vrstev vůči sobě je potřeba všechny vrstvy importovat najednou, tedy nehýbat mezi jednotlivými importy pohledem v editačním okně programu, jinak pozice není zachována.

Aby mohly být jednotlivé části modelu vypínány a zapínány, byly využity prvky *2D Overlay*, které plnily funkci tlačítek. Po stisknutí tlačítka se daná vrstva stane neviditelnou. Po opětovném stisknutí tlačítka je objekt opět viditelný. Aby se uživatel orientoval v tom, zda je vrstva zapnutá či vypnutá, bylo pod vrchní (šedé)

tlačítko vloženo ještě jedno červené. To stejně jako vrstva mění viditelnost. Šestému tlačítku byla v záložce *Behaviour* nastavena volba *When clicked on this do something*, tedy „když se na to klikne, něco udělej“. Jako akce (tedy co se má provést) bylo nastaveno *Hide or unhide a scene node*, pro kterou se dají nastavovat parametry:

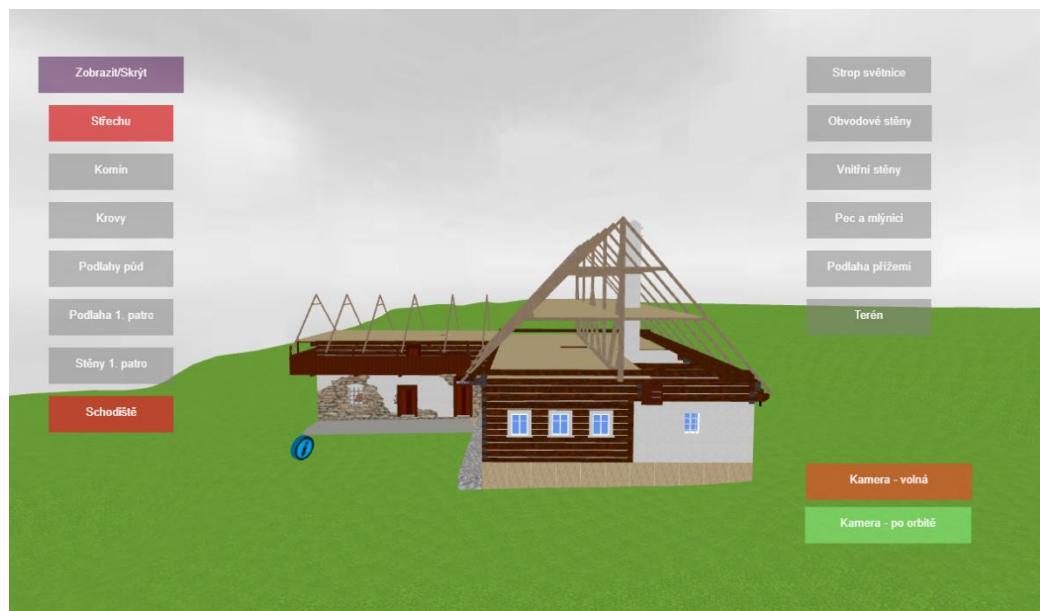
- **Visibility change type** – *Toggle Visibility* (přepnout viditelnost), *Make Visible* (zviditelnit), *Make Invisible* (zneviditelnit)
- **Change which SceneNode** – výběr příslušného objektu



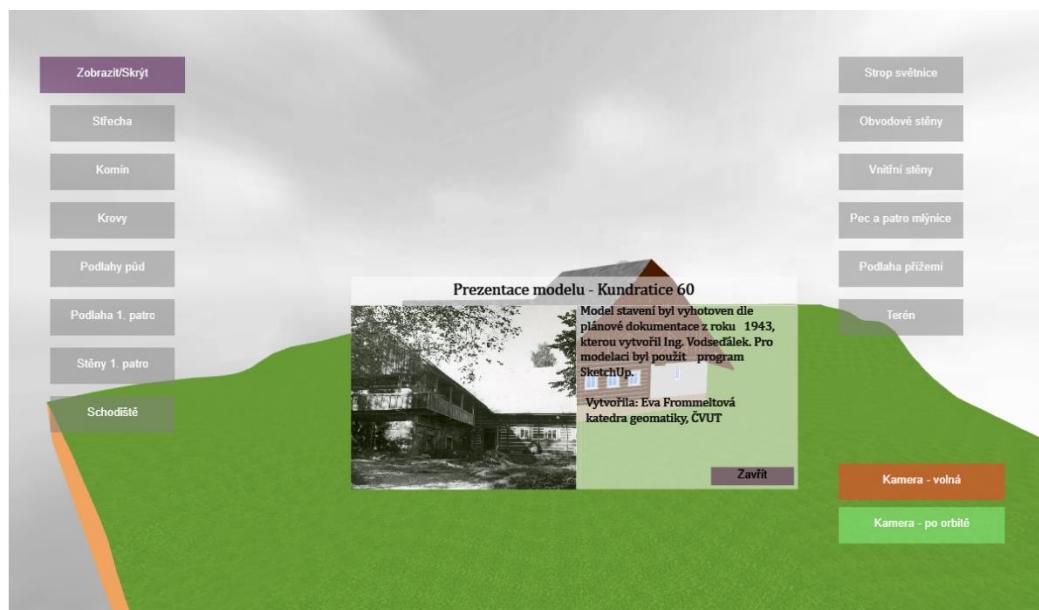
Obr. 48: *CopperCube* – nastavení viditelnosti

Do scény byly přidány dvě kamery. Jedna je typu *Model Viewer Camera*. Ta se pohybuje po oběžné dráze okolo modelu, dovoluje používat zoomování, ale nelze s ní hýbat do strany. Druhá kamera je typu *First person Shooter Camera*. Tato kamera simuluje pohyb postavy po modelu. Pro defaultní nastavení dodržuje kolize (např. není možné projít zdí), přičemž kolize se dají vypínat a zapínat v nastavení jednotlivých objektů. V práci byla nastavena kolize pouze s terénem (jinak by se kamera propadla do prázdniny). U ostatních vrstev byla kolize vypnuta, aby se kamera mohla pohybovat po celém objektu.

Aby bylo možné kamery přepínat, byla opět vytvořena tlačítka. Jako defaultní kamera je použita *Model Viewer Camera* (defaultně zelené tlačítko: *Kamera-po orbitě*). Pro přepnutí na kameru *First person Shooter Camera* stačí stisknout tlačítko *Kamera – volná* (defaultně červené) a kamera je přepnuta (viz Obr. 49). Obě tlačítka změní barvu, aby bylo patrné, která kamera je aktivní. Tlačítka pro přepínání kamer fungují na podobném principu jako tlačítka vrstev.


 Obr. 49: *CopperCube* – vzhled scény

Prvky *2D Overlay* byly dále využity při tvorbě informačního panelu ve scéně. Byl vytvořen úzký válec, kterému byla přiřazena textura („i“) a nastavena rotace. Po kliknutí na tento válec se otevřou čtyři prvky typu *2D Overlay* (viz Obr. 50). V jednom z nich je umístěn nadpis, ve druhém text s popisem práce, ve třetím dobová fotografie mlýnu a čtvrté slouží pro zavření panelu (tlačítko *Zavřít*). Hotová scéna byla publikována jako HTML soubor a vložena na webové stránky vytvořené v rámci diplomové práce.


 Obr. 50: *CopperCube* – informační panel

6.1.2 Three.js

Three.js je označení pro JavaScriptové knihovny a aplikační rozhraní s širokou podporou webových prohlížečů sloužící k zobrazování 3D animací ve webovém prohlížeči. Využívá aplikačního rozhraní *WebGL*. Knihovna *Three.js* je šířena pod licencí MIT¹⁴. [71]

Three.js umožňuje importovat velkou škálu různých formátů používaných pro 3D grafiku (AMF, OBJ, COLLADA, STL, MTL, VRML, atd.). Také nabízí možnost exportu do formátů COLLADA, STL nebo glTF.

Při použití *Three.js* ve vlastním HTML souboru je nutné nejprve načíst knihovnu *Three.js*, kterou je možné stáhnout přímo z oficiálních stránek [71]. Pro vytvoření vizualizace je nutno provést nastavení scény, kamery a renderu. Kromě výše zmíněných třech základních prvků skriptu lze definovat například materiál, textury, animace a další vlastnosti.

Aby bylo možné prezentovat model pomocí knihovny *Three.js*, je nutné model vytvořený v programu *SketchUp* exportovat do vhodného formátu. Pro prezentaci modelu na webu byl zvolen formát COLLADA. Testováno bylo více podporovaných formátů. Formát COLLADA se ukázal jako nejvhodnější (při exportu z programu *SketchUp* zachovává správnou geometrii a textury modelu). Například po exportu do formátu OBJ se digitální model mlýnu nezobrazoval správně. Měl poškozenou geometrii i textury.

V HMTL souboru byly nejprve definovány potřebné knihovny:

- *Three.js*
- *ColladaLoader2.js* – knihovna umožňující načtení modelu
- *OrbitControls.js* – umožňuje použití kamery pohybující se kolem cíle

Dále byla definována nová scéna a do ní byla vložena kamera. V rozhraní *Three.js* je možné nastavit kameru dvěma způsoby, a to na perspektivní (středové promítání) nebo ortografickou (využívá ortografickou projekci¹⁵). U perspektivní kamery dochází ke zkreslení rozměru modelu. Ortografická je vhodná k zobrazení modelů ve skutečné velikosti. V práci byla tedy využita perspektivní kamera. Dále

¹⁴ Licence MIT je svobodná licence, která vznikla na Massachusettském technologickém institutu.

¹⁵ Ortografická projekce je forma paralelního promítání, ve kterém je průměr paprsku kolmý na průmětnu.

bylo provedeno nastavení světel, renderingu a animace. Knihovna *Three.js* obsahuje různé druhy světla:

- *AmbientLight* – rovnoměrně osvětluje všechny objekty ve scéně
- *HemisphereLight* – světelný zdroj umístěný nad scénou
- *DirectionalLight* – světelný zdroj vyzařující určitým směrem
- *PointLight* – světlo vyzařuje z jednoho bodu

V diplomové práci byly využity *AmbientLight* a *DirectionalLight*.

Model mlýnu nebyl do rozhraní načten jako celek, ale po vrstvách. Pro načtení modelu byla využita knihovna *ColladaLoader2.js*. Každá vrstva byla načtena pomocí kódu:

```
1. //collada loader
2. var loader = new THREE.ColladaLoader();
3. loader.options.convertUpAxis = true;
4. loader.load(
5.           "./dae/komin.dae", function (collada) {
6.             var animations = collada.animations;
7.             var avatar = collada.scene;
8.             ob2=avatar;
9.             scene.add(avatar);
10.            } );
```

Důležitou částí prezentace modelu byla tvorba tlačítek pro vypínání a zapínání jednotlivých vrstev. Samotná tlačítka byla definována tak, aby se při stisknutí tlačítka změnila viditelnost dané části modelu. S viditelností vrstvy se mění i barva tlačítka (zelená – viditelná, červená – skrytá). Pro vytvoření tlačítka byl nejprve definován panel, ve kterém jsou tlačítka umístěna:

```
1.         var buttonbox = document.createElement("div")
2.                     buttonbox.id = "buttonbox"
3.                     buttonbox.style.position = "absolute"
4.                     buttonbox.style.top = "150px"
5.                     buttonbox.style.left = "80%"
6.                     buttonbox.style.padding = "2pt"
7.                     buttonbox.style.paddingRight = "10pt"
8.                     buttonbox.style.paddingLeft = "10pt"
9.                     buttonbox.style.width = "15em"
10.                    buttonbox.style.display = "inline-block"
11.                    document.body.appendChild(buttonbox)
```

Následně byla definována jednotlivá tlačítka:

```

1.         var BT1 = document.createElement("button")
2.         BT1.id = "ShowHidemyMeshesOne"
3.         BT1.textContent = "Střecha"
4.         BT1.style.backgroundColor = "limegreen"
5.         BT1.style.width = "100%"
6.         BT1.style.fontSize = "1.1em"
7.         buttonbox.appendChild(BT1)
8.         BT1.onclick = function() {
9.             // Show/Hide myMeshThree
10.            (ob1.visible)?ob1.visible=false:ob1.visible=true
11.            enable=ob1.visible
12.            BT1.style.backgroundColor = enable ? "limegreen" : "red"
13.        }

```

Výsledná prezentace na webu obsahuje třináct vrstev a třináct tlačítek pro zapínání a vypínání vrstev. Výsledná scéna byla publikována pomocí souboru HTML a vystavena na webových stránkách práce (viz Obr. 51).



Obr. 51: Prezentace modelu v rozhraní *Three.js*

6.1.3 Babylon.js

Babylon.js je JavaScriptová knihovna, která slouží pro zobrazování 3D grafiky ve webovém prohlížeči pomocí HTML5. Její zdrojový kód je k dispozici na GitHubu. Knihovna je distribuována pod licencí Apache 2.0¹⁶. Knihovna *Loaders.js*, určená k importu objektů, podporuje import souborů STL, glTF a OBJ. Tato knihovna nepodporuje načítání modelů ve formátu COLLADA. Proto byl hledán jiný vhodný

¹⁶ Svobodná softwarová licence. Autorem je Apache Software Foundation

formát pro prezentaci stavení. Byl zvolen formát glTF. Ten není možné exportovat z programu *SketchUp* přímo. Je nutné nainstalovat extenzi pro export glTF. [72]

Stejně jako v případě *Three.js* je nejprve nutné načíst potřebné knihovny do HTML souboru. V případě *Babylon.js* nebyly knihovny stáhnuty, ale pouze připojeny pomocí CDN¹⁷ (*Content Delivery Network*). Využity byly knihovny *Babylon.js* a *Loaders.js* (načtení modelu).

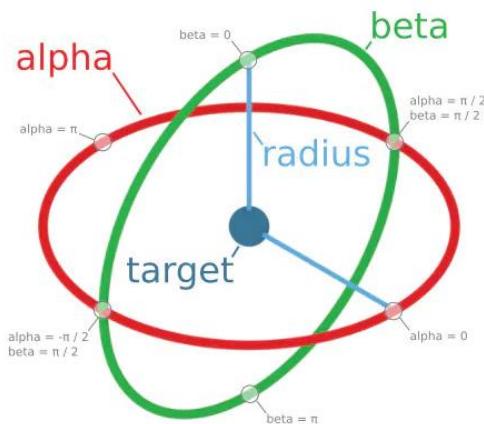
Dále byla vytvořena nová scéna, do které byly načteny jednotlivé části modelu. Stejným způsobem, jako v případě rozhraní *Three.js*, byla vytvořena tlačítka pro vypínání a zapínání jednotlivých vrstev. Do scény byla přidána kamera. *Babylon.js* nabízí sedm různých kamer, a to:

- *Universal camera* – kamera z pohledu první osoby
- *Arc Rotate Camera* – kamera pohybující se kolem cílové polohy
- *Follow Camera* – kamera sledující cíl
- *Anaglyph Camera* – kamera pro použití s 3D brýlemi
- *Device Orientation Cameras* – kamera reagující na náklon zařízení
- *Virtual Joysticks Camera* – kamera využívající 2D grafiku na ovládání kamery
- *Virtual Reality Camera* – sada kamer pro VR

V této práci byla využita kamera *Arc Rotate Camera*. Tuto kameru si lze představit jako satelit obíhající kolem země (viz Obr. 52), lze jí nastavit tři parametry:

- *Alpha* – „zeměpisná délka“ (v radiánech)
- *Beta* – „zeměpisná šířka“ (v radiánech)
- *Poloměr* – vzdálenost od cíle

¹⁷ CND je síť pro doručování obsahu. Data jsou umístěna na více serverech.



Obr. 52: Babylon.js - Parametry Arc Rotate Camera [72]

Poloha cíle (*target*) se nastavuje pomocí třídy *Vector3* (třída sloužící k uložení souřadnic).

```

1.      // camera
2.      var camera = new BABYLON.ArcRotateCamera("Camera", 2.88*Math.PI/2,
3.          3*Math.PI/2, -30, new BABYLON.Vector3(-50, 10, 0.5), scene);
4.      camera.attachControl(canvas, false);
5.      camera.lowerRadiusLimit = 15;
6.      camera.upperRadiusLimit = 100;
7.      camera.wheelDeltaPercentage = 0.01;
8.      camera.setTarget(BABYLON.Vector3.Zero());
9.
10.     // light
11.     var light = new BABYLON.HemisphericLight("light", new
12.         BABYLON.Vector3(1, 1, 1), scene);
13.         light.intensity = 3;
14.         light.specular = new BABYLON.Color3(.0, .0, .0);

```

Dále následovala tvorba osvětlení. Knihovna nabízí čtyři druhy světel:

- *Point Line* – bodové světlo (svítí všemi směry)
- *Directional Light* – světlo vyzařující daným směrem
- *SpotLight* – světelný kužel
- *Hemispheric Light* – polokulové světlo (simuluje světlo z okolí)

V práci bylo využito světlo *Hemispheric Light*.

Obr. 53: Prezentace modelu v rozhraní *Babylon.js*

6.2 Virtuální prohlídka

V této kapitole byla popsána tvorba virtuální prohlídky modelu. Pro jejíž tvorbu byly vyzkoušeny dvě různé aplikace *Lapentor* a *Marzipano*.

6.2.1 Lapentor

Pro tvorbu virtuální prohlídky z panoramatických snímků byla použita aplikace *Lapentor*, kterou lze používat online (tudíž není nutné nic stahovat). Aplikace je dostupná v omezené verzi bezplatně. V této verzi lze vytvořit až tři projekty. [73]

Nástroj je založen na systému *Krpano*, což je vysoce výkonný software pro zobrazování všech druhů panoramatických snímků na webu, který podporuje i VR. Nástroj *Krpano* lze volně stáhnout, ale jedná se o demoverzi, která sice nemá omezenou funkčnost, ale obsahuje vodoznaky. [74]

Aplikace *Lapentor* je velmi jednoduchá a uživatelsky přívětivá. Stačí nahrát panoramatické snímky a složit z nich prohlídku. Uživatel má na výběr z několika různých hotspotů. Do prohlídky lze vložit zvuk, snímek, video, textové pole či URL odkaz. Aplikace také nabízí možnost nainstalovat si různé další funkce jako podporu pro *WebVR*, různé navigátory, propojení s Google Maps, zvuky pozadí atd. Sdílení je možné pomocí tlačítka *Share*, kde se nachází přímo HTML kód, který si lze vložit do vlastních webových stránek. Bezplatná verze neumožňuje prohlídku stáhnout.

Nástroj dále umožňuje upravit nastavení týkající se pohledu (*View settings*). Nabídka lišty umožňuje nastavit defaultní pohled, omezit pohled, nastavit minimální a maximální zoom nebo použít efekt *little planet*, který promítne snímek na kouli.



Obr. 54: Ukázka tvorby prohlídky - Lapendor

Pomocí aplikace byla vytvořena virtuální prohlídka, která byla vystavena na webových stránkách vytvořených v rámci diplomové práce. Prohlídka obsahuje čtyři pohledy v exteriéru a všechny místnosti stavení. Jednotlivé místnosti jsou propojeny pomocí bodových hotspotů. Do první scény prohlídky bylo vloženo textové pole, které obsahuje informace o projektu. Do scén exteriéru byly dále vloženy obrázkové hotspotty, které obsahují dobové snímky objektu.

Do prohlídky byl nainstalován plugin pro *WebVR*, který je umístěn ve spodní liště. Ve spodní liště jsou dále nástroje pro zoomování, zvětšení prohlídky na celou obrazovku a pro pohyb nahoru/dolů a do stran.

K pohybu po prohlídce je možné využít dva různé způsoby. Prvním z nich je pohyb po šipkách (bodových hotspotech). Druhým je pohyb pomocí postranní lišty, ve které je seznam všech scén v prohlídce. Pro přepnutí je nutné kliknout na scénu, na kterou se chce uživatel přepnout, přičemž aktuální scéna prohlídky je červeně zvýrazněná. Pro dostupnost této funkce byl nainstalován plugin *The Wall*.



Obr. 55: Ukázka prohlídky – Lapentor

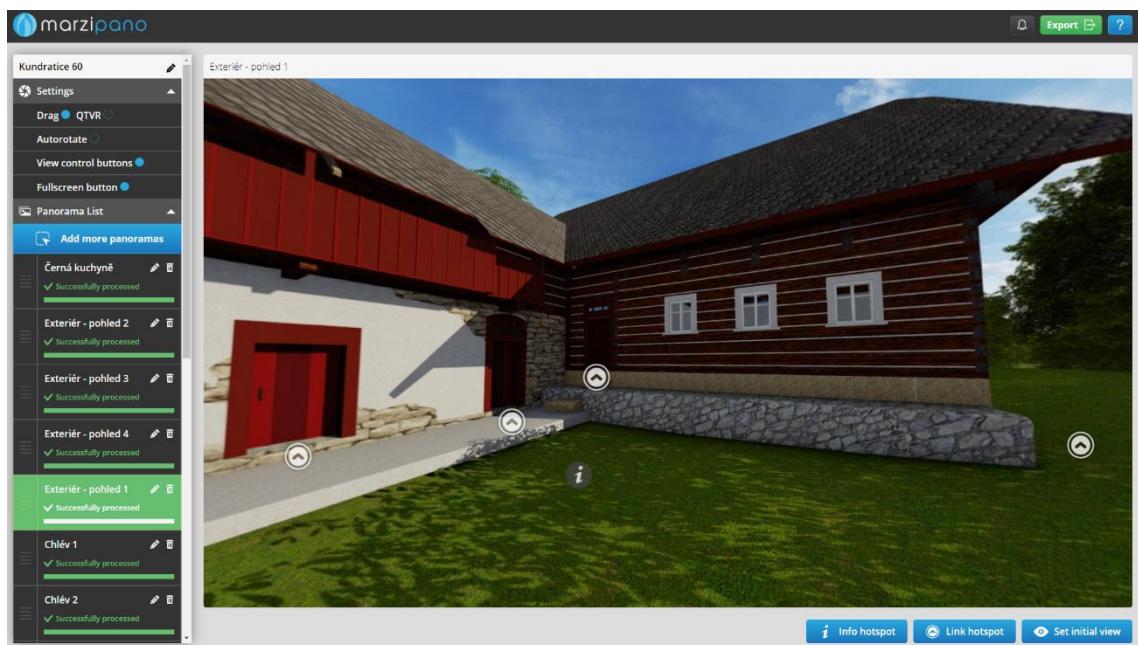
6.2.2 Marzipano

Marzipano je další nástroj umožňující z panoramatických snímků vytvořit prohlídku. Na rozdíl od aplikace *Lapentor* je volně dostupný a zdrojový kód si lze stáhnout. Umožňuje vytvořit prohlídku dvěma způsoby. Prvním z nich je pomocí nástroje *Marzipano Tool*. Ten slouží k tvorbě virtuální procházky přímo v prohlížeči, ze kterého je možné vytvořenou prohlídku stáhnout a vložit do vlastních webových stránek. Druhým je využití knihovny *marzipano.js* k naprogramování vlastní prohlídky. [75]

V diplomové práci byla využita první možnost, tedy byl použit nástroj *Marzipano Tool*. Podobně jako předchozí aplikace lze snímky v prohlídce spojit pomocí bodů, u kterých je možné nastavit snímek, na který se „procházka“ přepne. Dále je možné vložit do scény tzv. *Info hotspots*, tedy body obsahující text. Nástroj neumožňuje přidat do scény obrázky, zvuky nebo další obsah. Lze nastavit výchozí scénu a tlačítko pro přepnutí na celou obrazovku.

Prohlídka byla vytvořena ze stejných snímků jako u předchozí aplikace. Tedy ve virtuální „procházce“ lze projít všechny části interiéru a okolí stavení pomocí čtyř zastávek. Snímky byly propojeny pomocí šipek a na první scénu byl vložen *Info hotspot* s informacemi o práci. Pro pohyb je opět možné využít bud' šipky nebo postranní lištu obsahující seznam scén. Při exportu nástroj *Marzipano Tool* vygeneruje soubory tvořící celou aplikaci. Tedy vygeneruje několik JavaScriptových

knihoven, připravený HTML soubor, jednotlivé scény ve složce *tiles*, CSS soubor se stylem a složku *img*, obsahující ikony značek použitých v aplikaci.



Obr. 56: Ukázka tvorby – Marzipano

6.3 Další možnosti

6.3.1 3D Warehouse

3D Warehouse je webová databáze 3D modelů přímo od firmy *Trimble* sloužící pro sdílení, prohlížení a stahování modelů vytvořených v programu *SketchUp*. Sdílet model do prostředí *3D Warehouse* lze přímo v prostředí programu. Po sdílení modelu je možné vložit model i na vlastní webové stránky. [76]

6.3.2 Sketchfab

Sketchfab je také databáze 3D modelů. Umožňuje uživatelům modely vystavovat, prodávat nebo kupovat. *Sketchfab* nabízí tři různé typy uživatelských účtů – *Free*, *Plus* a *Pro*. Free účet, který je zdarma, umožňuje vystavit pouze jeden model za měsíc a je omezen na velikost 50 MB. Další dva typy účtů jsou zpoplatněny. *Sketchfab* podporuje import formátů OBJ, GLTF, DAE atd. Také obsahuje podporu pro VR. [77]



Obr. 57: Prezentace modelu v prostředí *Sketchfab*

6.3.3 Modelo

Stejně jako u předchozích dvou případů se jedná o databázi 3D modelů, prostřednictvím které je možné sdílet vlastní modely. Podobně jako *Sketchfab* nabízí *Modelo* různé druhy účtů – *Free*, *Basic* a *Business*. *Free* účet, který je zdarma, nabízí pouze omezené funkce. Na rozdíl od *Sketchfab* neslouží ke kupování a prodávání modelů, ale zaměřuje se na prezentaci modelů ve webovém prohlížeči. Umožňuje nahrát model přímo z programu *SketchUp*, takže není nutné nic exportovat. Model je do prostředí nahrán i s vrstvami, které lze zapínat a vypínat. Také umožňuje vytvořit různé animace pomocí modu *WalkThrough*, ve kterém se dají vytvořit různé pohledy na model. Dále obsahuje nástroj *Auto 360 Tour*, ten umožňuje uživateli vytvořit virtuální prohlídku modelu. *Modelo* obsahuje i možnost vložit do prezentace modelu text. [78]



Obr. 58: Prezentace modelu v prostředí *Modelo*

7 Navržený postup prezentace modelů

Pro prezentaci modelů vytvořených v programu *SketchUp* byly zkoumány různé cesty. Tato kapitola obsahuje jejich shrnutí a porovnání. Následně také popisuje, které způsoby jsou podle hodnocení autora vhodné pro prezentování ostatních modelů v projektu. Různé způsoby prezentace byly hodnoceny prostřednictvím několika kritérií:

1. Možnosti importu dat z programu *SketchUp*, správné zobrazení modelu v platformě (včetně textur)
2. Pracnost vytvoření prezentace
3. Intuitivnost dané platformy (z pohledu tvůrce prezentace)
4. Uživatelská přívětivost (z pohledu příjemce prezentace)
5. Možnost doplnění 3D modelu o další obrazová a textová data
6. Dostupnost programu

Kritéria pracnosti, intuitivnosti a uživatelské přívětivosti jsou hodnocena od 1 do 5, kde 1 je nejlepší a 5 nejhorší.

7.1 Shrnutí pro prostředí VR

Pro prezentaci modelu ve VR byly vybrány softwary: *Unreal Engine*, *VR Sketch* a *SketchUp Viewer pro VR*. Čtvrtý software zařazený do této kapitoly je *Lumion*, který neumožňuje přímé spojení se zařízením pro VR, ale lze z něj exportovat panoramatické snímky, které je možné prohlížet prostřednictvím VR.

Porovnání výše zmíněných softwarů je obtížné, protože *UE4* je určen pro jinou skupinu uživatelů než zbylé dva. *VR Sketch* a *SketchUp Viewer pro VR* jsou určeny pro uživatele programu *SketchUp*, kteří si chtějí svou práci obohatit VR prostředím nebo chtějí svůj projekt prezentovat klientovi. Program *UE4* je určen pro komplexní tvorbu virtuálních prostředí.

Dalším programem nacházejícím se v kapitole *Prezentace modelu v prostředí VR* je program *Lumion*. I když se svojí funkcí výrazně liší od předchozích tří programů, byl zařazen do hodnocení. Bylo provedeno porovnání, které hodnotí výše popsaná kritéria. Pro rychlý přehled byla vytvořena jednoduchá tabulka.

Tab. 1: Porovnání využitých platform pro VR

Kritéria	UE 4	VR Sketch	SketchUp Viewer pro VR	Lumion
<i>Export/Import</i>	Ano	Není nutný	Není nutný	Není nutný
<i>Pracnost</i>	5	1	1	3
<i>Intuitivnost</i>	3	1	3	2
<i>Přívětivost</i>	1	2	3	1
<i>Další data</i>	Ano	Ne	Ne	Ano
<i>Dostupnost</i>	Volná	Placený (existuje studentská verze)	Pro vlastníky licence programu SketchUp	Placený (existuje studentská verze)

Pro použití platform *VR Sketch* a *SketchUp Viewer pro VR* není nutný žádný export, neboť to jsou aplikace určené přímo pro prezentaci *SketchUp* modelů v prostředí VR. Uživatel si nemůže naprogramovat vlastní obsah. Vyřeší za uživatele nastavení kolizí, osvětlení, teleportu atd. *VR Sketch* je extenze, která se instaluje přímo do programu *SketchUp*, takže pro prohlížení modelu ve VR není nutné spouštět jinou aplikaci. Prostřednictvím pluginu *VR Sketch* je model možné upravovat. V aplikaci *SketchUp Viewer pro VR* je model možné jen prohlížet. Textury v aplikaci *SketchUp Viewer pro VR* se zobrazují v tmavším odstínu než v programu *SketchUp*.

Export modelů z programu *SketchUp* do *UE4* je možný pomocí pluginu a pokud si uživatel model dopředu připraví, je zachována většina geometrie a textury nastavené v programu *SketchUp* (nevhodně zobrazená byla například koryta ve chlévech). *UE4* je opravdu komplexní nástroj, sloužící pro kompletní tvorbu virtuálního prostředí, který umožňuje naprogramovat si prakticky jakýkoliv vlastní obsah. Proto je orientace v programu složitější a začátečník potřebuje nějaký čas na zorientování. Velkou výhodou *UE4* je jeho volná dostupnost. Jak bude prezentace z programu *UE4* uživatelsky přívětivá záleží na jejím tvůrci.

V programu *Lumion* byly vytvořeny panoramatické snímky, ze kterých byla vytvořena virtuální „procházka“. *Lumion* je uživatelsky přívětivý software, který umožňuje vytvořit kvalitní vizualizace. Ty lze exportovat právě formou panoramatických snímků nebo „klasických“ snímků či videí. Podporuje import modelů z programu *SketchUp*, takže zobrazí správně geometrii a textury. Pracnost záleží na požadovaných výsledcích. Pokud se uživatel spokojí s materiály

z programu *SketchUp* a s výchozím nastavením světel a odrazu, není nutné dělat pro prezentaci modelu prakticky žádné úpravy. Pokud však chce uživatel nastavení změnit, časová náročnost je větší.

7.2 Shrnutí pro web

Pro prezentaci modelů na webových stránkách bylo testováno několik různých aplikací a rozhraní. Shrnutí jednotlivých výsledků bylo rozděleno do tří částí podle typu prezentace (*WebGL*, virtuální prohlídka, *UE4*). Ostatní prezentace modelů (*Sketchfab*, *3D Warehouse*, *Modelo*) nejsou v hodnocení uvedeny, neboť je patrné, že pro prezentování modelů v rámci projektu se nehodí. Volné verze mají omezené funkce a neumožňují prezentaci více modelů.

První část se věnuje možnostem založeným na technologii *WebGL*. Jedná se o prezentace modelů v rozhraní *Three.js* a *Babylon.js* a o výstup z programu *CopperCube*.

Tab. 2: Porovnání platforem využívající technologii *WebGL*

Kritéria	<i>CopperCube</i>	<i>Three.js</i>	<i>Babylon.js</i>
<i>Export/Import</i>	Ano	Ano	Ano
<i>Pracnost</i>	3	4	4
<i>Intuitivnost</i>	2	4	4
<i>Přívětivost</i>	3	1	1
<i>Další data</i>	Ano	Netestováno	Netestováno
<i>Dostupnost</i>	Volná	Volná	Volná

Three.js a *Babylon.js* jsou JavaScriptové knihovny, proto pro jejich použití je nutná alespoň minimální znalost programování. Nicméně obě knihovny mají velice dobře zpracovanou dokumentaci, která obsahuje mnoho příkladů. Příklady je možné využít při tvorbě vlastních vizualizací. *Babylon.js* také nabízí *Playground*, ve kterém je možné si práci s knihovnou vyzkoušet. Výhoda knihovny *Three.js* je podpora formátu COLLADA. Knihovna *Babylon.js* tento formát nepodporuje, proto je nutné použít jiný formát (v práci využit glTF).

V případě programu *CopperCube* se uživatel obejde i bez psaní kódu, pokud mu stačí funkce, které nástroj nabízí. Pro prezentaci modelů neobsahuje vhodnou kameru. Kamera *Model Viewer Camera* neobsahuje možnost pohybu do stran. To

způsobuje potíže při prohlížení některých detailů v modelu. Proto byla do scény vložena druhá kamera *First person Shooter Camera* (umožňující volný pohyb po scéně), která je však méně přívětivá, co se týče jednoduchosti ovládaní.

Druhá část shrnutí obsahuje shrnutí tvorby virtuální prohlídky v aplikacích *Lapentor* a *Marzipano tools*. Aplikace *Lapentor* obsahuje více možností nastavení prohlídky. Je možné do ní, kromě informačních bodů, vložit i obrázky a zvuky. Nicméně není volně dostupná. Bezplatně by nebylo možné vytvořit prohlídky všem modelům v projektu. *Marzipano tools* je o něco méně intuitivní z pohledu tvůrce a nenabízí tolik možností přidání vlastního obsahu, ale je volně dostupná, což vyváží její ostatní nedostatky.

Tab. 3: Porovnání platforem využitých pro tvorbu virtuální prohlídky

<i>Kritéria</i>	<i>Lapentor</i>	<i>Marzipano</i>
<i>Pracnost</i>	1	1
<i>Intuitivnost</i>	1	2
<i>Přívětivost</i>	1	1
<i>Další data</i>	Ano	Ano
<i>Dostupnost</i>	Bezplatně jen 3 projekty	Volně dostupná

Třetí část shrnutí se věnuje výstupu na web z programu *UE4*. Mezi výhody výstupu patří to, že umožňuje volný pohyb po modelu (jako postava v počítačové hře) a do prezentace je možné přidat vlastní interaktivní obsah (informační panel). Podobný informační panel by mohl být vytvořen i dalším částem stavení, například peci nebo v černé kuchyni. Nevýhodou je, že novější verze *UE4* už export do HTML defaultně neobsahují a je nutné provést instalaci zvlášť. Další nevýhoda je velikost souboru (velikost adresáře je 742 MB). Uživatelská přívětivost je dále o něco menší než například u vizualizací modelu prostřednictvím *Three.js* nebo *Babylon.js*, neboť digitální model mlýnu obsahuje několik schodišť, které je nutné „vyskákat“. Tento nedostatek by se pravděpodobně dal vyřešit dalším nastavením.

7.3 Navržený postup prezentace

Pro vizualizaci modelů v rámci projektu v prostředí VR jsou vhodné programy *VR Sketch* a *Unreal Engine 4*. Pokud by v budoucnu byla snaha vytvořené modely

v prostředí VR prezentovat široké veřejnosti (např. na výstavě), bude potřeba stanovit cíle prezentace. Pokud by šlo pouze o představení prostoru stavení ve VR, pak by bylo vhodné použít plugin *VR Sketch*. Pokud by bylo cílem vytvořit plnohodnotné virtuální muzeum (skansen), kde by kromě prohlížení stavení, bylo možné i interagovat s prostředím, bylo by vhodné využít program *UE4* a dále rozvinout tvorbu virtuálního prostředí. Například přidáním dalšího interaktivního obsahu, který by uživateli předal informace o historii stavení. Bylo by možné přidat další informační panely do každé místnosti nebo zajímavým částem stavení (např. peci). Dále by mohla být prohlídka doplněna namluvenými texty, které by si mohl uživatel poslechnout.

Program *SketchUp Viewer pro VR* nebyl doporučen z několika důvodů. Je uživatelsky méně přívětivý než *VR Sketch* (horší orientace v ovládacím panelu) a aplikace zobrazuje tmavší odstíny textur než program *SketchUp* a neumožňuje editaci modelu ve VR.

Pro vizualizaci stavení na webu byla vybrána prezentace pomocí knihovny *Three.js*. Ta byla zvolena z několika důvodů. Prvním z nich je volná dostupnost, která hraje velkou roli v rozhodování. Dalším důvodem je snadné přenesení prezentace na jiný model. Ve zdrojovém kódu stačí upravit části týkající se importu a případně upravit menu pro ovládání vrstev. Všechny tyto vlastnosti má i prezentace prostřednictvím knihovny *Babylon.js*. Upřednostněna byla knihovna *Three.js* kvůli možnosti importu formátu DAE (*Babylon.js* neumožňuje). Pro import do rozhraní *Babylon.js* byl zvolen formát glTF. Pro export z programu *SketchUp* v tomto formátu je však nutné využít plugin.

Pro vytvoření virtuální „procházky“ byly použity panoramatické snímky vytvořené v programu *Lumion*. Pro samotné vytvoření virtuální prohlídky z panoramatických snímků byla zvolena aplikace *Marzipano*. Ta sice nemá tak velkou funkčnost jako *Lapentor*, je však volně dostupná. Navíc další funkčnost by bylo možné naprogramovat.

7.4 Prezentace dalších modelů

Na webových stránkách práce byly vystaveny další digitální modely: chaloupka Hlinsko, Ropice č.p. 25 a Stvolínky č.p. 85. Všechny tři modely byly vystaveny prostřednictvím knihovny *Three.js*.

Model chaloupka Hlinsko vytvořil Ing. Vojtěch Cehák. Digitální model byl vytvořen na základě skutečného zmenšeného modelu chalupy, která byla digitalizována pomocí fotogrammetrických metod. Model chaloupky byl fotogrammeticky nasnímán, z těchto snímků bylo vytvořeno mračno bodů, které bylo vektorizováno. Vzniklé plochy byly upraveny v programu *SketchUp*.

Autorem digitálních modelů Ropice a Stvolínky je Ing. Zdeněk Poloprutský. U těchto objektů bylo provedeno fotogrammetrické snímkování skutečného objektu, které bylo doplněno metodou oměrných měr. Ze snímků metodou obrazové korelace vznikla mračna bodů, která byla vektorizována v programu *MicroStation*. Následně byly modely nahrány do programu *SketchUp*, ze kterého mohly být exportovány do formátu COLLADA.

Další navržené postupy nebyly aplikovány, neboť tyto modely nemají vymodelované interiéry.



Obr. 59: Digitální model chaloupka Hlinsko v rozhraní Three.js

Závěr

Hlavním cílem diplomové práce bylo prozkoumat různé možnosti vizualizací digitálních modelů venkovských stavení prostřednictvím webových stránek a virtuální reality. Na základě tohoto průzkumu byl navržen postup pro prezentaci digitálních modelů vytvořených v rámci projektu. Dále byl vytvořen digitální model stavení Kundratice č.p. 60, na kterém byly testovány zkoumané způsoby prezentace. U jednotlivých výstupů byly následně ověřeny možnosti doplnění modelu o další obsah (text a obrázky).

Před zahájením praktické části práce byla obecně popsána problematika 3D modelování a virtuálních prohlídek. Dále se práce zabývala definicí a historií VR. Byly popsány možnosti využití VR v oborech, které jsou blízké zadání této práce. Nakonec byla stručně popsána zařízení pro VR.

V prvním kroku praktické části práce byl vytvořen digitální model stavení Kundratice č.p. 60 s využitím plánové dokumentace, kterou v roce 1943 vytvořil Ing. Vodseďálek. Digitální model byl vytvořen v programu *SketchUp*. Model obsahuje exteriér a části interiéru stavení. Součástí digitálního modelu je i terén, který byl vytvořen z dat DMR 5G.

Po vytvoření digitálního modelu byly testovány různé programy pro vizualizaci ve VR. Nejprve byl model prezentován pomocí pluginu *VR Sketch*, který umožňuje zobrazit a editovat modely ve VR. Dále byl využit software *SketchUp Viewer pro VR*, pomocí kterého lze prohlížet model ve VR. Pro tvorbu VR prostředí i s možností interakce (tlačítko zobrazující informace) byl zvolen software *Unreal Engine*. Dalším využitým softwarem byl *Lumion*, ve kterém byly vytvořeny panoramatické snímky ze čtyř bodů v okolí stavení a z každé místnosti.

Další část diplomové práce se zabývá prezentací modelů v prostředí webových stránek. Byly vytvořeny interaktivní vizualizace modelu pomocí rozhraní *Three.js*, *Babylon.js* a pomocí programu *CopperCube*. Následně byly vytvořeny dvě virtuální „procházky“ pomocí aplikace *Lapentor* a *Marzipano*. Také byl vytvořen výstup ve formátu HTML5 za pomoci programu *Unreal Engine*, který umožňuje volný pohyb po modelu.

V závěru práce byly jednotlivé prezentace shrnuty a zhodnoceny podle několika kritérií, a to možnosti importu a exportu, pracnosti vytvoření celkové prezentace,

intuitivnosti dané platformy, uživatelské přívětivosti, možnosti doplnění modelu o další obsah a dostupnosti programu. Na základě výsledků tohoto shrnutí a zhodnocení byl navržen postup pro prezentaci dalších modelů vytvořených v rámci projektu *VISKALIA – Virtuální skansen lidové architektury*. Pro vizualizaci ve VR s cílem prezentovat pouze prostor stavení byl vybrán plugin *VR Sketch*. Pro tvorbu virtuálního prostředí s možností přidání dalších interaktivních prvků byl doporučen software *Unreal Engine*. Pro prezentaci digitálních modelů na webových stránkách s interaktivním menu pro ovládání vrstev modelu bylo vybráno rozhraní *Three.js*. Pro tvorbu virtuální „procházky“ byla zvolena aplikace *Marzipano*.

Cíle diplomové práce byly tedy splněny. Tato práce může sloužit jako podklad pro další výzkum týkající se problematiky vizualizací 3D modelů v prostředí webového prohlížeče nebo v prostředí VR.

Použitá literatura a prameny

- [1] *VISKALIA – Virtuální skansen lidové architektury* [online]. [cit. 2021-5-5]. Dostupné z: <http://viskalia.fsv.cvut.cz/projekt/>
- [2] PEŠTA, Jan. *Plošný průzkum lidové architektury a venkovských sídel*. Praha: Národní památkový ústav, územní odborné pracoviště středních Čech v Praze, 2014. Odborné a metodické publikace (Národní památkový ústav). ISBN 978-80-86516-78-3
- [3] VAŘEKA, Josef a FROLEC, Václav. *Lidová architektura: encyklopédie*. 2., přeprac. vyd., V nakl. Grada 1. vyd. Ilustroval Josef V. SCHEYBAL. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1204-8.
- [4] ŠKABRADA, Jiří, SYROVÁ-ANÝŽOVÁ, Zuzana, CEJPOVÁ, Miroslava, et al. *Nejstarší venkovské domy ve východních Čechách*. Pardubice: Univerzita Pardubice, Fakulta filozofická, 2018. ISBN 978-80-7560-126-1.
- [5] *SketchUp Help* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://help.sketchup.com/en>
- [6] *Lumion* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.lumion.cz/>
- [7] HEJDUKOVÁ, Petra. *Tvorba a prezentace modelu venkovského stavení v obci Křešice-Sedlec*. Praha, 2019. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Soukup, Ph.D.
- [8] VOŘÍŠEK, Jan. *Tvorba jednoduchého informačního systému kláštera sv. Anežky České v Praze*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Soukup, Ph.D.
- [9] ŠAFRÁNEK, Jan. *Vizualizace železniční trati Praha – Kralupy nad Vltavou*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Soukup, Ph.D.
- [10] LAVIČKA, Zdeněk. *Tvorba a vizualizace 3D modelů vybraných pramenů ve Františkových Lázních*. Praha, 2015. Diplomová práce. ČVUT. Vedoucí práce Ing. Petr Soukup, Ph.D.
- [11] TOBIÁŠ, Pavel. *Využití aplikace SketchUp pro tvorbu jednoduchého informačního systému*. Praha, 2014. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Ing. Petr Soukup, Ph.D.

- [12] CEHÁK, Vojtěch. *Prezentace 3D modelů a GIS dat v prostředí virtuální reality*. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Cajthaml, Ph.D.
- [13] PFLUG, Robin. *Využití virtuální reality při dokumentaci a vizualizaci památkových objektů*. Praha, 2020. Diplomová práce. ČVUT v Praha. Vedoucí práce Prof. Dr. Ing. Karel Pavelka.
- [14] JANŮ, Michal. *Virtuální prohlídka FITu pro Oculus Quest*. Brno, 2020. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta informačních technologií. 2020-07-08. Vedoucí práce Herout Adam.
- [15] GUŇA, Štěpán. *Možnosti Unreal Enginu 4* [online]. Ostrava, 2017 [cit. 2021-04-22]. Dostupné z: <http://hdl.handle.net/10084/119194>. Diplomová práce. Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava.
- [16] ŠVECOVÁ, Bc. Kateřina. *Zobrazování komplexní vegetace v Unreal Engine* [online]. 2017 [cit. 2021-4-29]. ČVUT v Praze. Vedoucí práce Doc. Ing. Jiří Bittner, Ph.D. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/68617>
- [17] UGWITZ, Pavel, HERMAN, Lukáš a STACHOŇ, Zdeněk. *3D Visualization of historical buildings: methods, their utility in the tourism industry and beyond*. Regionální rozvoj mezi teorií a praxí [online]. Hradec Králové [cit. 2021-5-13]. Dostupné z: http://www.regionálnirozvoj.eu/sites/regionálnirozvoj.eu/files/06_ugwitz_herman_stachon-3d_visualization_of_historical_buildings.pdf
- [18] LAŠTOVIČKA, Josef, ŠTYCH, Přemysl a PALATÝ, Tomáš. *Využití geoinformačních technologií a dat DPZ k tvorbě historického modelu území: 3D rekonstrukce ostrovského kláštera v gotické a románské podobě* [online]. 2019 [cit. 2021-5-4]. Dostupné z: http://gisak.vsb.cz/GIS_Ostrava/GIS_Ova_2019/sbornik/papers/gis2019_5c360bce3435c.pdf
- [19] SYLAIOU, Stella, KASAPAKIS, Vlasios, GAVALAS, Damianos a DZARDANOVA, Elena. *Avatars as storytellers: affective narratives in virtual museums* [online]. 2020 [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00779-019-01358-2>
- [20] CARVAJAL, Daniel Alejandro Loaiza, MORITA, María Mercedes a BILMES, Gabriel Mario. *Virtual museums. Captured reality and 3D modeling*. Journal of

- Cultural Heritage [online]. 2020 [cit. 2021-5-16]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1296207420303551#!>
- [21] *3D prohlídka vil s Davidem Vávrou a Nicole Hückel* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.novyjicin.cz/3d-prohlidka-huckelovych-vil/>
- [22] *The Mona Lisa in virtual reality in your own home*. Louvre [online]. 2021 [cit. 2021-04-23]. Dostupné z: <https://www.louvre.fr/en/what-s-on/life-at-the-museum/the-mona-lisa-in-virtual-reality-in-your-own-home>
- [23] *Virtuální prohlídky ČEZ* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: [www.http://virtualiprohlidky.cez.cz/](http://virtualiprohlidky.cez.cz/)
- [24] *Interaktivní virtuální prohlídka* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.virtualpanorama.cz/virtual-tour.php>
- [25] *Počítačová 3D grafika*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Po%C4%8D%C3%ADta%C4%8Dov%C3%A1_3D_grafika
- [26] *Kartézská soustava souřadnic*. In: Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-04-20]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Kart%C3%A9zsk%C3%A1_soustava_sou%C5%99adnic
- [27] JIŘÍ, Žára a kol. *Moderní počítačová grafika*. Brno: Computer Press, 2004. ISBN 9788025104545.
- [28] DANNHOEROVÁ, Jana. *Počítačová grafika I* [online]. Mendelova univerzita v Brně, 2006 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://is.mendelu.cz/eknihovna/opory/index.pl?opora=5>
- [29] TIŠNOVSKÝ, Pavel. *Konstruktivní geometrie těles (CSG)* [online]. 2008 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.root.cz/clanky/konstruktivni-geometrie-teles-csg/>
- [30] *Perspektivní promítání*. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Perspektivn%C3%AD_prom%C3%ADt%C3%A1n%C3%A1

- [31] PELIKÁN, Josef. *3D počítačová grafika na PC* [online]. 2003 [cit. 2021-04-19]. Dostupné z:
<https://cgg.mff.cuni.cz/~pepca/lectures/pdf/Grafika2003.pdf>
- [32] DOLEJŠÍ, T.: *Panoramatická fotografie*. Brno: Computer Press, a.s., 2009. 146 s. Digitální fotografie. ISBN 978-80-251-2324-9
- [33] LA VALLE, Steven M. *VIRTUAL REALITY* [online]. Cambridge University Press [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://lavalle.pl/vr/book.html>
- [34] SHERMAN, William R. a CRAIG, Alan B.. *Understanding virtual reality*. Amsterdam: Morgan Kaufmann, 2003. ISBN 9781558603530.
- [35] ORŠULÁK, Tomáš a PACINA, Jan. *3D modelování a virtuální realita*. Ústí nad Labem, 2012. ISBN 978-80-904927-4-5.
- [36] Rozšířená realita. *Wikipedia: the free encyclopedia* [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001- [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: https://cs.wikipedia.org/wiki/Roz%C5%A1%C3%AD%C5%99en%C3%A1_realita
- [37] *History of VR* [online]. 2019 [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://virtualspeech.com/blog/history-of-vr>
- [38] *Virtual Reality Society: History Of Virtual Reality* [online]. 2017 [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>
- [39] *VR - Virtuální realita* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://www.alza.cz/vr-virtualni-realita>
- [40] *KHUFU VR* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.emissive.fr/en/project/khufu-vr-a-journey-in-ancient-egypt/>
- [41] *The British Museum* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.britishmuseum.org/>
- [42] PAVELKA Jr. K. a RAEVA, P. *Virtual Museums – The Future of Historical Monuments Documentation and Visualization* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: https://www.researchgate.net/publication/335410053_VIRTUAL_MUSEUMS_-_THE_FUTURE_OF_HISTORICAL_MONUMENTS_DOCUMENTATION_AND_VISUALIZATION

- [43] *Google Earth VR* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://arvr.google.com/earth/>
- [44] *Prague Histories* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <http://www.vrmusashi.com/2019/03/20/prague-histories-2/>
- [45] *VIRTUAL MEDICINE* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://www.medicinvirtual.com/>
- [46] *Kundratice (Koštálov)* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Kundratice_\(Ko%C5%A1%C5%A1%C5%A5%C3%A1lov\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Kundratice_(Ko%C5%A1%C5%A1%C5%A5%C3%A1lov))
- [47] *Národní památkový ústav: Památkový katalog* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://pamatkovykatalog.cz/vodni-mlyn-12840977>
- [48] TOMAN, Prokop. *Nový slovník československých výtvarných umělců II (L-Ž)*. 3. vydání, Praha: Tvar 1950, strana 659. ISBN 80-237-3633-7.
- [49] *CleanUp³* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/extension/046175e5-a87a-4254-9329-1accc37a5e21/clean-up>
- [50] *RoundCorner* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://sketchucation.com/plugin/1173-roundcorner>
- [51] *SketchUp glTF Exporter* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://extensions.sketchup.com/extension/6caab93c-aa62-4637-be26-5d09ed7af997/sketch-up-gl-tf-exporter>
- [52] *TopoShaper* [online]. [cit. 2021-4-29]. Dostupné z: <https://sketchucation.com/plugin/716-toposhaper>
- [53] *Textures* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.textures.com/>
- [54] *Terminologický slovník zeměměřictví a katastru nemovitostí* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <http://www.vugtk.cz/slovnik/index.php>
- [55] *Katalog produkce Zeměměřického úřadu* [online]. 2021 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: https://geoportal.cuzk.cz/Dokumenty/katalog_produkce_ZU.pdf
- [56] ŠANTRŮČEK, Pavel. *HTC Vive: Jak na virtuální realitu a proč* [online]. 2017 [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.gpureport.cz/recenze/84-htc-vive-review/montaz-propojeni.aspx?article=84&page=2>

- [57] *Návod k instalaci zařízení HTC Vive* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: https://support.steampowered.com/steamvr/HTC_Vive/?l=czech
- [58] *VR Sketch: Design inside virtual reality* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://vrsketch.eu/>
- [59] *UNREAL ENGINE* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/>
- [60] *TerraForm Pro* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://terraformpro.com/docs/?top-category=tutorials>
- [61] *UE4 Lighting Presets 3 Pack* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://gumroad.com/l/ue4light>
- [62] *UNREAL ENGINE 4 LIGHTING TUTORIAL* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=bqpw5s0wr4>
- [63] *How to make pressable BUTTON for VR* [online]. [cit. 2021-4-30]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=q2oyK8FYxOo>
- [64] *Datasmith export plugins* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.unrealengine.com/en-US/datasmith/plugins?sessionInvalidated=true>
- [65] *UnrealEngineHTML5 / Documentation* [online]. [cit. 2021-5-1]. Dostupné z: <https://github.com/UnrealEngineHTML5/Documentation>
- [66] *Virtual Museum in Unreal 4 Part 2* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://www.youtube.com/watch?v=XRhBJrs2QBc>
- [67] *SketchUp Viewer for VR* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://help.sketchup.com/en/sketchup-viewer/sketchup-viewer-vr>
- [68] *WebGL*. Wikipedia: the free encyclopedia [online]. San Francisco (CA): Wikimedia Foundation, 2001-. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/WebGL>
- [69] *WebGL Overview* [online]. [cit. 2021-04-19]. Dostupné z: <https://www.khronos.org/webgl/>
- [70] *CopperCube: free easy-to-use 3D engine* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.ambiera.com/coppercube/>
- [71] *Three.js* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://threejs.org/>

- [72] *Babylon.js Documentation* [online]. [cit. 2021-5-2]. Dostupné z: <https://doc.babylonjs.com/>
- [73] *Lapendor: The Free Virtual Tour software* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://lapendor.com/>
- [74] *Krpano Panorama Viewer* [online]. [cit. 2021-5-11]. Dostupné z: <https://krpano.com/home/#top>
- [75] *Marzipano: 360° media viewer for the modern web* [online]. [cit. 2021-04-15]. Dostupné z: <https://www.marzipano.net/>
- [76] *3D Warehouse* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://3dwarehouse.sketchup.com/?hl=csSketchfab>
- [77] *Sketchfab* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://sketchfab.com/feed>
- [78] *Modelo* [online]. [cit. 2021-5-10]. Dostupné z: <https://modelo.io/>

Seznam zkratek

2D	Dvourozměrný
3D	Trojrozměrný
AMF	Additive manufacturing file format
AMOLED	Active matrix organic light-emitting diode
API	Application Programming Interface
AR	Augmented reality (Rozšířená realita)
AV ČR	Akademie věd České republiky
BIM	Building Information Modeling (Informační model budovy)
Bpv	Balt po vyrovnání
CAD	Computer aided design (počítačem podporované projektování)
CDN	Content delivery network
COLLADA	Collaborative Design Activity
CSG	Constructive Solid Geometry (konstruktivní geometrie těles)
CSS	Cascading Style Sheets
ČEZ	České energetické závody
ČVUT	České vysoké učení technické v Praze
DAE	Digital asset exchange
DMR 5G	Digitální model reliéfu ČR 5. generace
DMT /DMR	Digital Terrain Model (Digitální model terénu/reliéfu)
DXF	Drawing Exchange Format
FIT	Fakulta informačních technologií
Full HD	Full High Definition
GIS	Geografický informační systém
glTF	Graphics Language Transmission Format
HDMI	High-Definition Multimedia Interface
HTC	High Tech Computer Corporation
HTML	Hypertext Markup Language
IR	Infrared (infračervená)
LEEP	Large Expanse Extra Perspective
miniDP	Mini DisplayPort

MIT	Massachusetts Institute of Technology
MTL	Wavefront Material Template Library
NASA	National Aeronautics and Space Administration (Národní úřad pro letectví a vesmír)
OLED	Organic light-emitting diode
OpenGL	Open Graphics Library
PNG	Portable Network Graphics
PC	personal computer (osobní počítač)
S-JTSK	Systém jednotné trigonometrické sítě katastrální
STL	Standard Triangle Language
TIFF	Tagged Image File Format
TIN	Triangulated irregular network (trojúhelníková nepravidelná síť)
TXT	Textový soubor
UE4	Unreal Engine 4
URL	Uniform Resource Locator („jednotný lokátor zdroje“)
USB	Universal Serial Bus
VCS	Viewing Coordinate Systém (souřadnicový systém 2D prostoru)
VEFS	Vertex Edge Face Solid (vrchol, hrana, stěna, těleso)
VIEW	Virtual Interactive Environment Workstation
VR	Virtuální realita
VRML	Virtual Reality Modeling Language
VUT	Vysoké učení technické v Brně
XML	Extensible Markup Language
WebGL	Web Graphics Library

Seznam obrázků

Obr.1: Nejednoznačnost hran [27]	15
Obr. 2: Jednobodová, dvoubodová a trojbodová perspektiva [30]	18
Obr. 3: Rozdíl mezi vrženým stínem a stínováním [28]	21
Obr. 4: Sensorama [37]	27
Obr. 5: Damoklův meč [37]	27
Obr. 6: Virtuální mapa Aspenu [37]	28
Obr. 7: NASA headset Ames z roku 1985 [37]	28
Obr. 8: Virtual Boy [37]	29
Obr. 9: Google Street View [37]	29
Obr. 10: Google Cardboard [39]	31
Obr. 11: Oculus Quest [39]	31
Obr. 12: Poloha Kundratic (mapy.cz)	34
Obr. 13: Dobový snímek mlýnu (archiv Etnologického ústavu)	35
Obr. 14: Schematický plánek přízemí a prvního patra stavení	36
Obr. 15: Základní panel nástrojů programu SketchUp	37
Obr. 16: Ukázka modelu	39
Obr. 17: Klenba v komoře a černé kuchyni	40
Obr. 18: Klenba v chlévech	40
Obr. 19: První patro a pavlač	41
Obr. 20: Tesy	42
Obr. 21: Hlavní část stavení – lomenice	43
Obr. 22: Popis částí krovů	43
Obr. 23: Strop světnice	44
Obr. 24: Pec	45
Obr. 25: Oříznuté území	47
Obr. 26: Ovládací panel pluginu TopoShaper	47
Obr. 27: Ukázka terénu v programu SketchUp	48
Obr. 28 : Zařízení HTC Vive [57]	49
Obr. 29: Popis tlačítek na ovladačích [57]	50
Obr. 30: Správné rozmístění zařízení [56]	50
Obr. 31 : Ovládací panel VR Sketch	51
Obr. 32: Ovladače v pluginu VR Sketch	52
Obr. 33: Editační okno levelu v UE4	54
Obr. 34: Tlačítko v UE4	56
Obr. 35: Editační okno – Widget v UE4	57
Obr. 36: První část skriptu v UE4	58
Obr. 37: Druhá část skriptu v UE4	58

Obr. 38: Podoba třídy Widget v UE4	60
Obr. 39: Nastavení Trigger Boxu v UE4.....	61
Obr. 40: Ovládací panel – SketchUp Viewer pro VR	62
Obr. 41: Ovládací panel aplikace SketchUp Mobile Viewer	62
Obr. 42 : Ukázka programu Lumion.....	63
Obr. 43: Knihovna obsahu v programu Lumion	64
Obr. 44: Ukázka ovládacího panelu v programu Lumion.....	65
Obr. 45: Ukázka programu Lumion – tvorba panoramatických snímků.....	66
Obr. 46: Prohlížení snímků aplikace SteamVR Media Player	67
Obr. 47: Ukázka programu CopperCube – vložení	69
Obr. 48: CopperCube – nastavení viditelnosti	71
Obr. 49: CopperCube – vzhled scény.....	72
Obr. 50: CopperCube – informační panel.....	72
Obr. 51: Prezentace modelu v rozhraní Three.js.....	75
Obr. 52: Babylon.js - Parametry Arc Rotate Camera [72].....	77
Obr. 53: Prezentace modelu v rozhraní Babylon.js	78
Obr. 54: Ukázka tvorby prohlídky - Lapentor	79
Obr. 55: Ukázka prohlídky – Lapentor	80
Obr. 56: Ukázka tvorby – Marzipano	81
Obr. 57: Prezentace modelu v prostředí Sketchfab.....	82
Obr. 58: Prezentace modelu v prostředí Modelo.....	82
Obr. 59: Digitální model chaloupka Hlinsko v rozhraní Three.js	88

Seznam tabulek

Tab. 1: Porovnání využitých platforem pro VR	84
Tab. 2: Porovnání platforem využívající technologii <i>WebGL</i>	85
Tab. 3: Porovnání platforem využitých pro tvorbu virtuální prohlídky.....	86

Seznam příloh

Přiložené soubory jsou nahrány na DVD disku, který je součástí výtisku práce.

Obsah DVD disku:

1. Adresář 3D_model

Obsahuje digitální model stavení Kundratice 60

- ve formátu SKP
- ve formátu DAE (po jednotlivých vrstvách)
- ve formátu glTF (po jednotlivých vrstvách)

2. Adresář Snímky

Obsahuje adresáře:

- panoramatické snímky stavení z programu *Lumion* ve formátu JPG
- snímky stavení z programu *Lumion* ve formátu JPG

3. Adresář UE4

Obsahuje adresáře:

- Mlyn_Teren_VR – adresář s projektem pro VR
- Mlyn_Web – adresář s projektem pro web
- Mlyn_HTML5 – adresář s exportem do HTML5

4. Adresář CopperCube

Obsahuje projekt z programu *CopperCube*.

5. Adresář Webove_stránky

Obsahuje všechny HTML soubory a soubory potřebné k tvorbě prezentací na web.

6. Adresář Videa

Obsahuje videa s ukázkami z programů *VR Sketch*, *SketchUp Viewer for VR*, *Unreal Engine 4*

7. Text práce ve formátu PDF