

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ
TECHNICKÉ
FAKULTA STAVEBNÍ
Katedra technologie staveb**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Analýza možností využití virtuální reality v
přípravě a realizaci staveb**

Irina Derevianko

2020

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Michal Kovařík

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Derevianko Jméno: Irina Osobní číslo: 469537
Zadávací katedra: K122 - Katedra technologie staveb
Studijní program: Stavební inženýrství
Studijní obor: Příprava, realizace a provoz staveb

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Analýza možností využití virtuální reality v přípravě a realizaci staveb
Název bakalářské práce anglicky: Analysis of possibilities to use virtual reality in construction planning and realization of structures.

Pokyny pro vypracování:

Teoretická část

- Druhy zobrazení, zobrazovacích zařízení a porovnání výhod a nevýhod jejich použití v různých odvětvích
- Rešerše technologií virtuální reality (VR) mimo stavebnictví
- Rešerše technologií VR ve stavebnictví
- Rešerše technologií pro tvorbu a získávání obrazových dat, využívaných v přípravě a realizaci staveb

Praktická část

- Analýza požadavků na datové vstupy a výstupy pro VR ve vybraných procesech a jednotlivých etapách výstavby
- Návrh kritérií pro využití VR v přípravě a realizaci staveb
- Závěr, vyhodnocení

Seznam doporučené literatury:

- 1) FUCHS, Philippe, Guillaume MOREAU a Pascal GUITTON, ed. Virtual reality: concepts and technologies. FL 33487-2742
- 2) GIARDI, Gilson, SILVA, Rodrigo, DE OLIVEIRA Jauvane C., Introduction to Virtual Reality, COMCIDIS Research Group
- 3) ČSN EN ISO 9001:2016 (ISO 9001:2016)

Jméno vedoucího bakalářské práce: Ing. Michal Kovářík

Datum zadání bakalářské práce: 21.2.2020 Termín odevzdání bakalářské práce: 17.5.2020
Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

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

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod odborným vedením Ing. Michala Kovářika. Použité podklady a další materiály, ze kterých jsem čerpala informace, jsou uvedeny v seznamu literatury.

V Praze dne.....

Irina Derevianko.....

Chtěla bych poděkovat panu Ing. Michalu Kováříkovi za odborné vedení mé bakalářské práce, odborný dohled a ochotu. Také bych chtěla poděkovat svoje rodině.

Anotace

Cílem této práce je navrhnout kritéria pro využití virtuální reality v přípravě a realizaci staveb. Pro tento účel byla provedena analýza požadavků na datové vstupy a výstupy pro virtuální realitu pro jednotlivé procesy a etapy výstavby. Na začátku práce autorka popisuje existující typy zobrazení, výhody a nevýhody jejich použití a potřebná zařízení. Dále následoval úvod do problematiky virtuální reality a její význam zejména v oboru stavebnictví.

Klíčová slova:

Virtuální realita , hardware, software, 3D model

Abstract:

The aim of this work is to propose criteria for the use of virtual reality in the preparation and realization of buildings. For this purpose, an analysis of the requirement for data inputs and outputs for virtual reality for individual processes and stages of construction was carried out. At the beginning of the work, the author describes the existing types of projection, the advantages and disadvantages of using it and the necessary devices. The next step was the introduction to the issue of virtual reality, its importance in various areas and in the construction industry.

Keywords:

Virtual reality , hardware, software, 3D model

Obsah

Úvod	9
1. Druhy dimenze prostorů	11
2. Způsoby zobrazení prostorů	13
2.1. 2D zobrazovací nástroje	13
2.2. 3D zobrazovací nástroje	14
2.3. Stereoskopie	15
3. Technologie tvorby obsahu	21
4. Druhy reality	27
4.1. Virtuální realita (VR)	27
4.2. Rozšířena realita (AR)	30
4.3. Smíšená realita (MR)	31
4.4. Interakce s virtuální realitou	32
5. Využití Virtuální reality	35
6. Využití VR ve stavebnictví	39
7. Hypotéza	41
8. Praktická část	43
8.1. Zemní práce	44
8.1.1 Hardware	44
8.2 Montáž fasády	48
8.2.1 Software	48
8.2.2 Hardware	50
9. Porovnání požadavků na zobrazení detailů	52
10. Převod 3D modelu do VR	55
11. Diskuze	66
Závěr	67
Seznam literatury:	68

Seznám pojmů:

Hardware – fyzické technické vybavení

Software – počítačové programy anebo počítačové aplikace

3D model – model ve formátu 3D

Seznám zkratk:

BOZP – bezpečnost a ochrana zdraví při práci

BIM – building information modeling (management)

VR – virtuální realita

AR – rozšířena realita

MR – smíšená realita

LOD – Level Of Detail nebo Level Of Definition

0D – nul rozměrný

1D – jednorozměrný

2D – dvourozměrný

3D – trojrozměrný

4D – čtyřrozměrný

HMD – head-mounted display

HW – hardware

SW – software

Úvod

V současné době se moderní technologie vyvíjejí velice rychle. Ovlivňují nejenom sociální sféru života lidí, různé systémy a pracovní postupy, ale také i odborné sféry, jako například obor stavebnictví. Dnes stojíme na prahu nové průmyslové revoluce. Tato revoluce znamená přechod ke kyberneticko-fyzikálním systémům, kde jedním z nejvýznamnějších odvětví je Stavebnictví 4.0. Součástí Stavebnictví 4.0. je zavedení digitalizace staveb pomocí nástrojů BIM a implementace nových technologií, jako například robotizace, drony, 3D tisk a virtuální realita.

Daná bakalářská práce je zaměřena na průzkum aktuálního stavu virtuální reality v oblasti stavebnictví.

V první části této bakalářské práce jsou popsány existující dimenze, způsoby zobrazení prostorů a technologie pro tvorbu obsahů. Čtenář bude rovněž obeznámen s některými důležitými pojmy, jako jsou virtuální realita, smíšená realita a rozšířená realita. Dále budou prozkoumány způsoby interakce s virtuálním světem současně s různorodými možnostmi využití technologií virtuální reality.

Další část bakalářské práce zachycuje především implementaci virtuální reality do oboru stavebnictví. Je třeba zmínit, že tato technologie není součástí běžné praxe. Cílem této bakalářské práce je stanovit, jaké možnosti a omezení má tato technologie pro použití v oblasti přípravy a realizace staveb.

Mluvíme-li o virtuální realitě jako o nástroji pro vizualizaci, je důležité vysvětlit jisté aspekty této problematiky – jaké dimenze prostoru existují, v čem spočívá rozdíl mezi 2D, 3D a dalšími dimenzemi a také jaké nástroje pro zobrazení dimenzí existují. V první části této práce autorka odpoví na uvedené otázky. Neméně významnou částí této bakalářské práce jsou způsoby tvorby obsahů dimenzí, mezi které se zařazuje jak ruční kresba, tak i počítačová grafika.

Důležitým úkolem pro účely dané bakalářské práce je vysvětlení rozdílu mezi pojmy virtuální realita, rozšířená realita a smíšená realita. V práci jsou popsány vybrané speciální nástroje, které mohou být použity pro interakce s umělými prostory. Na základě provedeného průzkumu autorka popisuje

aktuální oblasti využití VR v různých oborech a eventuální přínosy této technologie.

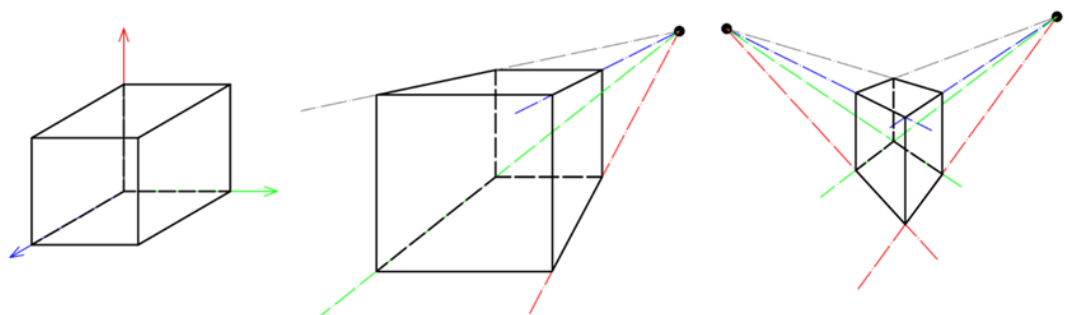
Následně autorka zkoumá možné způsoby použití VR pro účely vybraných stavebních procesů – zemní práce a montáž složitých fasád.

Výstupem této bakalářské práce jsou výpočty kvality zobrazení objektu ve virtuální realitě a způsoby přenosu 3D modelů do VR.

1. Druhy dimenze prostorů

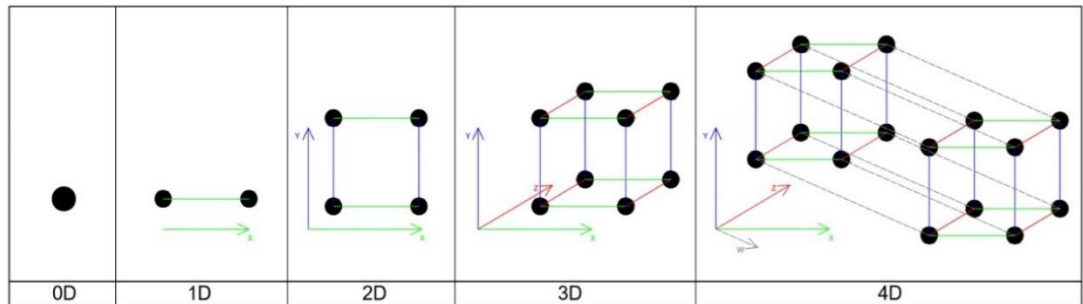
Existuje několik druhů dimenzí prostoru, které můžeme definovat jako minimální počet souřadnic potřebných k určení bodu na objektu nebo jako počet stupňů volnosti systému. Každý z níže uvedených tipů prostorových dimenzí popisuje rozměr topologického prostoru z hlediska analytické geometrie a topologie (matematické struktury):

- 0D – tento prostor lze geometricky popsat jako bod.
- 1D – v jednorozměrném prostoru polohu bodu lze charakterizovat pouze jedním číslem. Geometrickým popisem tohoto prostoru je čára. Poloha jednotlivých bodů se určuje pomocí jedné jediné souřadnice.
- 2D – každý bod ve dvourozměrném prostoru je popsán pomocí dvou souřadnic, které tvoří rovinu. Souřadnice jsou na sebe kolmé a vychází z jednoho bodu – počátku. Poloha bodu v prostoru je pak dána dvojicí reálných čísel, kde každé číslo udává vzdálenost bodu od počátku příslušné osy. Toto platí pouze v tzv. Karteziánském souřadnicovém systému.
- 3D – v trojrozměrném prostoru poloha bodu je dána trojicí reálných čísel se třemi souřadnicemi. Každá souřadnice je kolmá na dvě ostatní. Vztažná soustava vzdáleností bodu začíná v místě křížení souřadnic. Reálný svět je příkladem 3D prostoru, protože k určení a popisu velikosti nebo umístění objektu potřebujeme minimálně tři rozměry. Trojrozměrné těleso lze zobrazit v rovině pomocí axonometrické projekce nebo promítání.



Obr. 1: Axonometrická projekce a perspektivní promítání (zdroj vlastní)

- 4D – čtyřrozměrný prostor je matematickým rozšířením 3D prostoru. Koncepte 4D prostoru jde o krok dál a zahrnuje v sobě 3D prostor s další přidanou veličinou – časem (podle prostoru Minkovského) nebo vzdáleností (podle Euklidovského prostoru).



Obr. 2: Druhý dimenze prostoru (Zdroj vlastní)

2. Způsoby zobrazení prostorů

2.1. 2D zobrazovací nástroje

„2D či 2-D je zkratkou výrazu „dvoudimenzionální“ či „dvourozměrný“ a znázorňuje svět, který je možné popsat dvěma rozměry. Veškeré předměty ve dvourozměrném prostoru mají obsah (např. délka a šířka), avšak nemají objem. 2D obrazec je ten, jehož body se nacházejí v jedné rovině.“
[1]

Mezi 2D zobrazení patří nejen ruční kresba, malování a analogová fotografie, ale také kupříkladu film. 2D nástroje mohou být použity pro tvorbu výkresů a obrázků, jež mohou být kresleny jak ručně, tak i pomocí počítačového softwaru.

2D zobrazení může být provedeno různými způsoby:

- **Fyzické nástroje**

Za fyzické nástroje 2D zobrazení můžeme považovat například archy papíru, destičky z kamene nebo dřeva.

- **Elektronické nástroje**

o **Analogové**

K analogovým nástrojům patří klasická fotografie, kdy dochází k zachycení světla emitovaného objekty v prostoru na film. jako jiný příklad analogového nástroje lze uvést projektor, jenž představuje filmovou promítačku, pomocí které dochází k přenosu filmu/ fólie na plátno prostřednictvím světla.

o **Digitální**

Pro přehrávání videa, prohlížení obrázků, fotografií a filmů můžeme použít různé druhy digitálních zařízení, jako například OLED a LCD displeje atd.

LCD je zkratka pro Liquid Crystal Display, nebo-li displej z tekutých krystalů. Tento displej se skládá z několika vrstev. Mezi dvěma zrovnávacími vrstvami je vložena zvláštní vrstva tekutých krystalů. Krystaly mění svoji molekulární strukturu a také barvu pod vlivem

elektrického proudu. K zobrazení obrazu tento typ displeje používá zdroj světla na pozadí pro celou obrazovku. Toto světlo prochází panelem pixelů na obrazovce. Každý pixel je tvořen třemi subpixely: červený, zelený a modrý (RGB). Za účelem vytvoření různých barev panel blokuje světlo na pozadí.

OLED (Organic light-emitting diode) displej je tvořen vrstvou z organického materiálu, která je umístěna mezi dvěma elektrody. Tento typ displeje pro účely zobrazení používá nezávislé osvětlené pixely, kdy každý pixel má vlastní světelné pozadí. Díky nezávislosti jednotlivých pixelů OLED displeje poskytují lepší a přirozenější barvy oproti LCD displejům, kromě toho spotřebovávají méně energie čili jsou o dost úspornějším typem displejů.

2.2. 3D zobrazovací nástroje

3D zobrazení oproti 2D poskytuje takzvaný pocit hloubky – schopnost posoudit vzdálenost objektů a prostorové rozmístění objektů dle odlišných vzdáleností. Pro tvorbu objemných objektů musíme použít kreslení ve třech osách XYZ, což dává trojrozměrný vzhled vizuálním obrazům. Pojem 3D může lze aplikovat pro označení techniky, kterou používáme pro zobrazení či prohlížení trojrozměrných objektů na ploše (papír, obrazovka, filmové plátno apod.).

- **Fyzické nástroje**

Příkladem fyzických zobrazovacích 3D nástrojů jsou sochy a modely, které je možné vytvářet z různorodých materiálů a odlišnými způsoby. „Socha je samostatné třírozměrné umělecké dílo vytvořené sochařem.“

- **Elektronické nástroje**

Volumetric displays (objemové displeje) tvoří vizuální zobrazení objektů ve třech fyzických rozměrech, což znamená, že se nepromítá do roviny. Volumetrický (objemový) displej poskytuje digitální zobrazení objektu ve fyzickém prostoru a umožňuje uživateli prohlížet si objekt z jakéhokoli úhlu. Tato technologie zahrnuje v sobě tři odlišné přístupy.

Swept-volume displeje používají rotující obrazovky, mezi které patří osvětlené rotující lopatky, rotující LED a překládající promítací plochy. Static-volume displeje vytvářejí obrazy pomocí dvou infračervených paprsků v plynu, pevné látce nebo promítnutím na řadu rozptylech rovin.

Free-space displeje pracují ve vzduchu bez jakékoli bariéry mezi uživatelem a obrazem. To je relativně nová kategorie, do které lze zahrnout displeje s volnými nebo zachycenými částicemi a plazmovými emisemi. [2]
[3]

Holografické displeje k vytvoření trojrozměrného obrazu využívají světelnou difrakci. Dojem 3D scény je způsoben optickým promítáním obrazů pomocí laserů.

2.3. Stereoskopie

Stereoskopické vidění jako takové popisuje vizuální schopnost mozku zachytit pocit trojrozměrného tvaru tvořeného z vizuálních vstupů. Na začátku 19. století anglický vědec Charles Wheatstone demonstroval jev, kdy iluze hloubky můžeme dosáhnout tím, že zajistíme, aby každé oko vidělo odlišný obrázek a každý obrázek byl zachycen z jiného bodu. Jedním z prvních vynálezů tohoto vědce byl stereoskop. C. Wheatstone vytvořil dva prototypy tohoto přístroje, a to na základě hranolů a na základě zrcadel. Hlavními specifiky stereoskopických zařízení a technologií je možnost promítat obrázky zvlášť pro každé oko. Na základě provedených experimentů C. Wheatstone prokázal poměr mezi binokulární disparitou – horizontální vzdáleností očí a vnímáním hloubky, což poté posloužilo základem pro studium stereoskopického vidění.

Existují různé technologie pro 3D stereoskopické zobrazení, avšak se vždy pracuje na stejném principu: promítání dvou různých pohledů na stejnou scénu do očí pozorovatele. V praxi rozlišujeme aktivní 3D, pasivní 3D, aktivně-pasivní 3D, auto-stereoskopické monitory a nakonec anaglyf. [4]

- Aktivní 3D

Tato technologie může být uplatňována u 3D televizorů, monitorů, projektorů a brýlí. Abychom měli možnost oddělit obrazy, používáme aktivní 3D brýle, které jsou ovládány vysílačem infračerveného signálu. Na základě tohoto signálu brýle zatemní pravé nebo levé očnínice po dobu promítání příslušného obrazu. 3D projektory, televize a monitory zobrazují obrázky s dvojnásobnou frekvencí a střídají tyto obrázky pro pravé a levé oko. Zároveň mají nainstalovaný vysílač infračerveného signálu. Toto zařízení pro zobrazení trojrozměrných obrazů vyžaduje aktivní brýle, kvůli čemu se značně omezuje počet diváků. Počet diváků je limitován nejenom počtem 3D brýlí, které jsou relativně drahé, ale také omezeným dosahem signálu a periodickou potřebou výměny baterií nebo dobíjení brýlí. Výhodou aktivních 3D technologií je kvalitní zobrazení, plná barevná informace a vysoké rozlišení obrázků. Také existuje možnost přechodu mezi 2D a 3D režimem. [5]



Obr. 3: Aktivní 3D technologie [5]

- Pasivní 3D

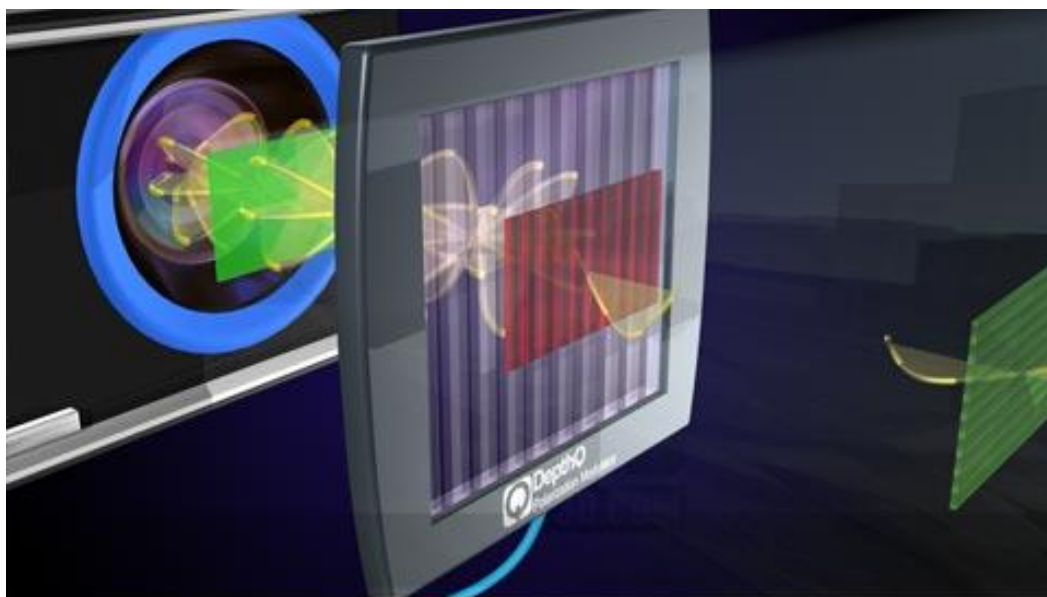
Hlavním rysem této technologie je vybavení polarizačními filtry a pasivními 3D brýlemi neobsahujícími elektronické součásti. Pro pasivní projekce jsou zapotřebí dva synchronně pracující projektory. Jeden projektor zobrazuje obrázek pro levé oko a druhý pro pravé. Pro tuto technologii rovněž je nezbytně nutné využití speciálního plátna. Polarizační filtr se umísťuje před každým projektorem a propouští světlo v určité rovině. Plátno obsahuje speciální povrch, který jakoby zamíchá obrázky mezi sebou, ve skutečnosti však je stále možné je separovat. Pomocí filtru v brýlích se oddělí příslušný obrázek a dopadne zvlášť do každého oka. U pasivních 3D monitorů a televizorů existují dva typy pasivních technologií. Prvním typem je polarizační maska. Na povrch displeje se umístí speciální maska, která tvoří polarizační proužky. Tyto proužky polarizují světlo v různých rovinách, což zhoršuje kvalitu zobrazení. Druhým typem je polarizační konvektor, jenž se rozmísťuje před monitorem a funguje na základě aktivního 3D. Konvektor polarizuje pravé a levé obrázky v odlišných rovinách. Táto technologie funguje v plném rozlišení displeje a nezhoršuje kvalitu zobrazení. V případě pasivních 3D technologií není nijak omezen počet diváků díky možnosti využití levnějších, dostupných a nenáročných brýlí. [6]



Obr. 4: Pasivní 3D technologie [6]

- **Aktivně-pasivní projekce**

Jádrem technologie aktivně-pasivních 3D projekcí je spojení aktivního 3D projektoru a polarizačního modulátoru. Modulátor je umístěn před projektorem a synchronizuje se s ním elektronicky. Projektor vysílá střídavé obrázky. Modulátor synchronně mění polarizaci světla pro pravý a levý obrázek do příslušné roviny. Výhoda této technologie spočívá v tom, že vystačí pasivní brýle a pouze jeden projektor. Jsou zajištěny kvalitní projekce, není nijak omezen počet diváků a dochází ke značné finanční úspoře díky využití jediného projektoru, jenž dokáže fungovat i s 2D zobrazením. Právě proto se tato technologie nejvíc uplatňuje v kinech (stejně jako pasivní 3D). [7]

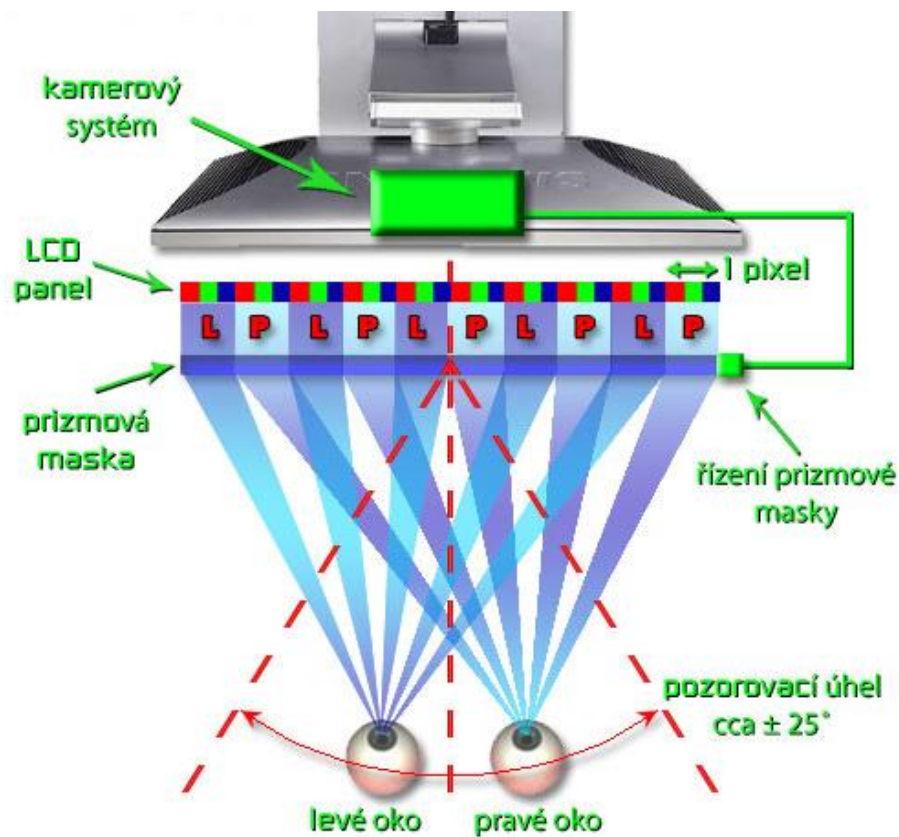


Obr. 5: - Aktivně-pasivní projekce [7]

o **Auto-stereoskopické monitory**

Auto-stereoskopické monitory nevyžadují brýle. Pro dosažení trojrozměrného obrázku se před monitor umísťuje speciální maska. Tato maska vychyluje sloupce pixelů do různých směrů pomocí hranolů. Typ a druh hranolu je zvolen na základě různorodých parametrů. Obrazy pro levé a pravé oko jsou vtěsněny do jednoho monitoru a jsou viditelné pouze z určitých směrů. Ze vhodné pozice pozorovatel je schopen uvidět levým a pravým okem odpovídající obrazy. Přesto takové monitory mají jeden zásadní problém – úzké pozorovací zóny. Potřebná pozorovací pozice

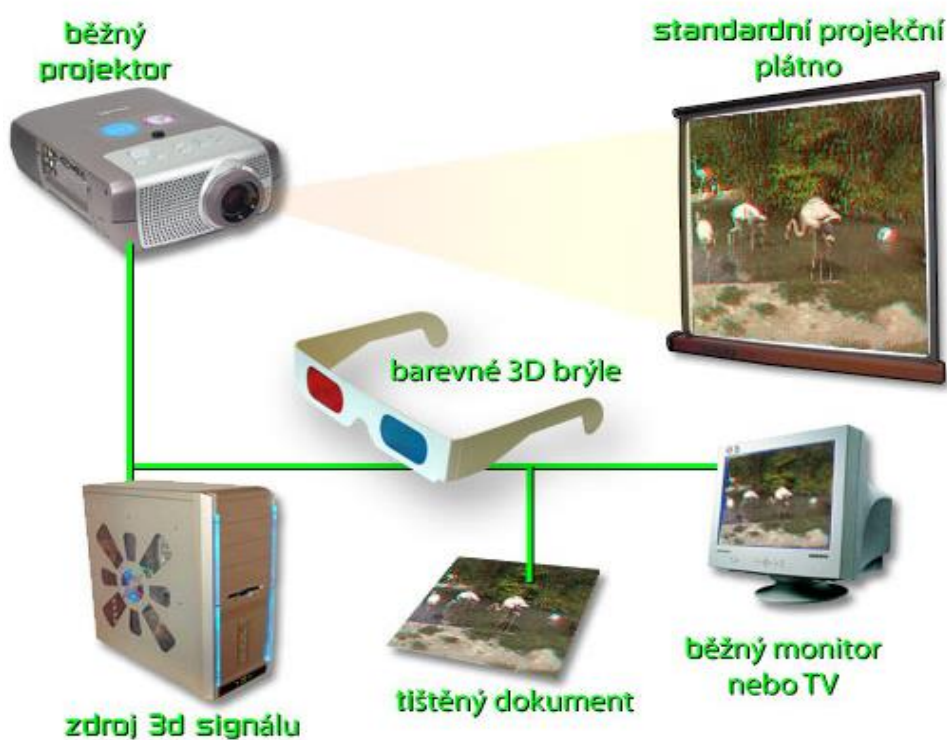
závisí na rozteči očí a je odlišná pro každého uživatele. Výrobci se snažili vyřešit tento problém vybavením zařízení systémem sledování očí čili optickou maskou. Taková maska rozdělí obraz na 5 až 9 jednotlivých obrazů. Mezi nevýhody auto-stereoskopických monitorů patří nízká kvalita zobrazení a velice omezený počet možných diváků. [8]



Obr. 6: Auto-stereoskopický monitor [8]

- Anaglyf

Jednou z nejstarších technologií 3D stereoskopie je anaglyf. Anaglyf nevyžaduje speciální techniku a může být promítán pomocí běžného projektoru, normálního monitoru. Navíc je možné takzvaný „anaglyf obráček“ vytisknout. Daná technologie obarví dva oddělené obrazy do různých barev a vtěsní je do jednoho společného odrazu. Pomocí červeno-modrých brýlí budou odděleny barevné obrazy a každé oko bude schopné zpozorovat příslušný obráček. Z důvodu korekce poškozených barev použitých pro dosažení 3D efektu se mozek diváků extrémně namáhá. Proto je velmi nepříjemné pozorovat obsah anaglyfu delší dobu. [9]



Obr. 7: Anaglyf [9]

3. Technologie tvorby obsahu

- **Klasické techniky** – malířství a grafika

Jedním z prvních způsobů, které lidé začali využívat pro zprostředkování a předání vlastních myšlenek a představ, je malířství. Je to postup nanášení barviva na jakýsi povrch. První jeskynní malby byly primitivním prostředkem k předání umělcových nápadů a koncepcí. [10]

„Grafikou nazýváme dvojrozměrné umělecké dílo vytvořené rukou umělce, který použije jednu z grafických technik. Následně toto dílo rozmnoží ručním řemeslným postupem na předem stanovený počet exemplářů.“ [11] Pojem grafika je spojen s tvorbou obrázků v rovině, kde pomocí tiskové matrice se obrazová informace nanáší na bílý nebo barevný papír.

- **2D počítačová grafika**

Pro tvorbu 2D obsahů může být použita 2D počítačová grafika. Mezi možnosti využití 2D počítačové grafiky v praxi lze zařadit například tvorbu map, webových stránek, reklamních bannerů a také počítačové hry, videa atd. Takový typ zobrazení může být rozděleno na vektorovou a rastrovou grafiku.

V 50. letech 20. století byla vyvinuta vektorová 2D počítačová grafika. V grafickém programu založeném na vektorovém formátu se nakreslená čára popisuje matematicky a následně se vyjadřuje jako spojení dvou bodů. Takový grafický formát umožňuje vytvořit nejpřesnější obrázky. S tímto formátem lze dobře manipulovat: upravovat, otáčet, měnit měřítko, díky čemuž 2D grafika je vhodná pro kreslení výkresů a diagramů. [1]

Rastrová grafika reprezentuje obrázek pomocí zvláštních bodů různých barev – Pixelů, které vytváří řádky a sloupce. Obrázky tvořené pomocí této technologie jsou velice realistické, avšak při změně měřítka obrázku dochází ke zhoršení kvality. Rastrové formáty se nejčastěji používají při tvorbě fotografií, v digitálním malířství atd. [1] [11]

Pocit hloubky ve 2D zobrazení může být dosažen pomocí tvorby obrázků v axonometrii, perspektivě nebo odstínu. 2D počítačová grafika se uplatňuje především v aplikacích, které byly původně vyvinuty na základě tradičních technologií tisku a kreslení, jako například typografie, kartografie, technické kreslení atd. A tak tvorba 2D obrázků je značně intuitivní postup vyžadující menší množství technologií a softwarů. V současné době existuje celá řada programů pro tvorbu 2D obrázků, například Paint, GIMP a Photoshop atd. Této programy jsou ovládány přímou manipulací – pomocí myši, grafického tabletu nebo jiného podobného zařízení. Do výhod 2D zobrazení lze zařadit čtení prostého textu, menší velikost obrázku atd.

○ **Fotoaparát**

Základní technologie fotoaparátu je poměrně jednoduchá. Fotoaparát se skládá ze tří základních prvků:

- 1) Optický prvek – objektiv – nejjednodušší je čočka, která zachycuje a přeměruje paprsky světla tak, aby se spojily a vytvořily skutečný obraz.
- 2) Světlocitlivá záznamová vrstvá – pokrytý chemikáliemi celuloidový pás u filmových fotoaparátů nebo elektronický obrazový snímač u digitálních fotoaparátů. Světlo dopadající na tuto vrstvu kreslí obraz.
- 3) Mechanický prvek – samotné tělo fotoaparátu. (12)

○ **Stereoskopická kamera**

Stereoskopická kamera má dva nebo více objektivů a pracuje na stejném principu jako klasický fotoaparát. Každý objektiv vytváří samostatné snímky na filmu nebo matrici. Získané stereo-páry mohou být zobrazeny pomocí stereoskopu. [13]

- 3D počítačová grafika

Pro tvorbu trojrozměrných objektů na počítači v 60. letech 20. století byla vytvořena 3D počítačová grafika, která umožnila tvorbu obrázků blízcích se realitě. Nejrozšířenějším způsobem 3D modelování je polygonální metoda. Je založena na polygonech – dvourozměrné tvary, z nichž je tvořen povrch předmětů.

V současné době 3D grafické zobrazení lze účinně aplikovat v různých sférách a oborech, jako například ve stavebnictví, v průmyslu jako takovém a herní průmyslu zvláště atd. [14] [15]

Oproti 2D zobrazení 3D má řadu předností:

- Uživatel může otáčet objekt v osách x, y a z, zkoumat ho z libovolného místa a dle potřeby měnit měřítko pohledu. Také lze pozorovat umístění tohoto objektu a dalších objektů v prostoru.
- Pomocí perspektivy, kterou uplatňujeme ve 2D zobrazení za účelem reprodukce iluze prostoru, není možné poskytnout přesné údaje o objektu. Kdežto ve 3D uživatel zachytí skutečné proporce objektu a jeho umístění v prostoru. Tento princip se vztahuje i na vzdálené a náhodně umístěné objekty.
- Ve 3D formátu jsou složité geometrické konstrukce lépe čitelné a srozumitelné. Tak například aplikace 3D zobrazení v průmyslu odstraní potřebu vytváření fyzického modelu.

- BIM

„Informační model budovy (anglicky Building Information Modelling nebo Building Information Management, zkráceně BIM) je proces vytváření a správy dat o budově během celého jejího životního cyklu.“ [16] Informační model budovy představuje digitální model, který obsahuje 3D model včetně negrafické informace, popisné údaje a komunikativní procesy. 3D model může být tvořen pomocí běžných stavebních programů, jako jsou REVIT, AllPlan, MicroStation apod. Existuje několik softwarů pro přenos vytvářeného modelu do Virtuální Reality, například Enscape. Plugin Enscape umožňuje zkoumání a provádění potřebných změn Revit 3D modelu ve virtuální realitě.

- Technologie 360°

360° je technologie, při které každá kamera je nastavena na svůj vlastní úhel a poté se všechny obrázky spojují do jednoho tak, aby vznikl celkový panoramatický pohled. Díky této technologii dokážeme vytvořit video s kruhovým rozhledem, kde se zobrazuje 360 stupňů ve svislém a vodorovném směru. Existují dva typy 360 videí: monoskopické a stereoskopické.

Monoskopický obraz je nejběžnějším typem 360 obrázků, které můžeme nalézt na Google's Street View nebo 360 přehrávači jako YouTube 360 a Facebook. Jedná se o 2D renderování skutečných 360 snímků, které lze zobrazit na jakékoli obrazovce nebo náhlavní soupravě. Uživatel sám kontroluje směr pohledu, ale chybí u toho skutečné vnímání hloubky.

Stereoskopické 360 video je součástí virtuální reality. Tento typ pohlcujícího systému se obvykle natáčí dvěma objektivy (jeden na zorné pole) a lze jej sledovat ve formátu 360 s náhlavní soupravou VR. Tato technologie umožňuje uživateli sledovat 3D svět s hloubkovým a 360-stupňovým výhledem.

Video o 360 stupních se natáčí pomocí zvláštní soupravy více kamer nebo jedné speciální kamery obsahující více zabudovaných do ní objektivů. Dalším krokem je spojování samostatných videí do jednoho sférického videozáznamu. Barva a kontrast každého záběru se kalibruje tak, aby se jednotlivé záběry shodovaly mezi sebou. Kalibrace se provádí pomocí speciálního softwaru anebo za použití samostatné kamery.

Nevýhodou této technologie je nízké rozlišení. Při převedení videa do formátu 360 se ztrácí kvalita původního videozáznamu. Přednosti technologie 360° spočívají ve velkém cenovém rozsahu potřebného zařízení a jednoduchosti natáčení videa jako takového. Rozdíl v ceně je způsoben především kvalitou: čím je kamera levnější, tím nižší bude mít rozlišení. [17] [18]

Mluvíme-li o videozáznamech, tak zajisté musíme zmínit základní metody zachycování a ukládání obrazů:

- **Rozlišení**

Pod pojmem rozlišení se skrývá počet pixelů, které může zachytit obrazovka nebo monitor. Na počtu pixelů, které dokáže zaznamenat kamera, závisí kvalita a rozměr snímaného obrazu. Každý videosoubor má nastavené rozměry, jež jsou dány počtem pixelů. Čím víc pixelů má kamera, tím více detailů dokáže zachytit a tím větší rozměry mohou mít obrazy, aniž by došlo ke ztrátě kvality. [19] [20]

Tab. 1: Rozlišení displeje (zdroj vlastní)

Název	Počet pixelů	Poměr stran
SD (standardní rozlišení)	640x480	4:3
HD (vysoké rozlišení)	1280x720	16:9
Full HD	1920x1080	16:9
2K	2048x1152	1:1,77
UHD	3840x2160	16:9
4K	4096x2160	1:1,9
8K	7680x4320	16:9

- **Frame rate**

Snímková frekvence (angl. frame rate) je množství jednotlivých snímků zaznamenaných kamerou za sekundu a označuje se jako FPS. Snímková frekvence videa výrazně ovlivňuje vzhled a dojem z patřičného videozáznamu, což také působí na vnímání toho, jak moc realistické se objeví video. [21]

- **Bit rate**

Datový tok (angl. bit rate) je množství dat (bitů), která jsou přenášena nebo zpracovávána za jednotku času (bit/sek). Zvláště datový tok je klíčovým parametrem k určení velikosti videosouboru. platí zde pravidlo, že čím je vyšší přenosová rychlost, tím bude lepší a výraznější kvalita video [22]

V polovině roku 2019 bylo k dispozici až 51 sférických kamerových systémů. Tyto systémy se liší podle ceny a kvality natáčení videí. V této bakalářské práci budou popsány pouze několik vybraných kamer z různých cenových kategorií.

- DETU Twin

Kamera od společnosti Detu se zorním polem 360° dokáže zachycovat video s rozlišením 3040x1520 pixelů a snímkovou frekvencí 30FPS. Kamera má podporu přímého přenosu prostřednictvím vlastní sítě Wi-Fi Direct, která umožní připojit chytrý telefon nebo tablet pro dálkové ovládání a nahrávání videí. Detu Twin má malé rozměry 123x41x23 mm a hmotnost 82g. Jedná se o jednu z nejlevnějších kamer, jejíž cena se pohybuje kolem 2 975 Kč. [23] [24]

- RICON THETA Z1

RICON THETA Z1 je kamera ze střední cenové kategorie – běžná ceny okolo 26 500 Kč. Tato kamera má vnější rozměry 45x132,5x29,7 mm a hmotnost 182 g. Theta Z1 natáčí video s rozlišením 4K 3840x1920 pixelů, snímkovou frekvencí 30 FPS, přenosovou rychlostí 56 Mb/s a poskytuje možnost přímého přenosu pomocí Bluetooth a Wi-Fi [25]

- Kandao Obsidian R

Obsidian R je profesionální 3D 360° kamerový systém s velice vysokým rozlišením, který stojí 100 709 Kč. Kamera natáčí video s rozlišením 8K 7680x7680 pixelů, snímkovou frekvencí 30 FPS a přenosovou rychlostí 60 Mb/s. Společnost Kandao nabízí vlastní software Kandao Studio pro zachycení kvalitního videozáznamu. Software Kandao Studio slouží k urychlení postprodukčního procesu pro všechny displeje: smartphone, projektor a HDM. [26]

4. Druhy reality

4.1. Virtuální realita (VR)

“Účelem virtuální reality je umožnit senzomotorní a kognitivní činnost osoby (osob) v digitálně vytvořeném umělém světě, který může být imaginární, symbolický nebo ve formátu simulace (videozáznam) skutečného světa.“ [27]

Vzhledem k tomu, že uživatel musí být ponořen do nějaké jiné reality, technologie virtuální reality je možné zjednodušeně definovat jako jakýsi ponoření do alternativní reality nebo pohledu. Alternativní svět může být reprezentací buď skutečného prostoru existujícího mimo skutečný svět nebo čistě imaginárním prostředím. Jinými slovy virtuální realita představuje virtuální prostředí vygenerované počítačem, které nám dává možnost prožít simulovaný zážitek blízký se fyzické realitě. VR nám také umožňuje cíleně snížit či zcela omezit nebezpečí reality a vytvářet scénáře které v reálném světě nejsou možné. [28]

Všechny existující systémy VR můžeme rozdělit do tří různých kategorií, a to na základě úrovně ponoření a stupně přítomnosti: neimerzní, částečně imerzní a plně imerzní systémy. [29]

- **Neimerzní**

Tento systém redukuje kontakt uživatele s virtuálním světem na okno. Jako výstupní zařízení se používají standardní monitory s vysokým rozlišením. Vstup se provádí pomocí myši, klávesnice nebo joysticku. Neimerzní systémy sice poskytují kontakt s virtuálním prostředím, ale nedávají pocit přítomnosti. [29]

- **Částečně imerzní**

Charakteristickým rysem pro částečně pohlcující systém je integrace uživatele se skutečným a virtuálním světem zároveň. Technologie částečné imerze využívají pevné vizualizační systémy. Jedná se zpravidla o velkoplošné projektory nebo monitory, které dokážou pokrýt velkou část zorného pole (kolem 130°), případně se pohybují spolu s uživatelem. Jako vstupní zařízení se dá použít joystick, 3D myš nebo datové rukavice. [29] [30]

- Plně imerzní

V případě plně imerzního systému se uživatel zcela ponoří do umělého trojrozměrného virtuálního světa vygenerovaného počítačem. Za účelem vytvoření iluze alternativní reality můžeme využít nejen 3D obrazy, ale i zpětnou vazbu síly, zapojení vnímání různých zápachů a zvuků. Technologie tohoto druhu umožňují kompletní vizuální ponoření uživatele do virtuálního prostředí. Jako výstupní zařízení se využívá hlavový displej (HMD) nebo systém CAVE, které zprostředkovávají vizuální i zvukové informace. Pro vstup můžeme použít klasické joysticky, datové rukavice nebo hlasové příkazy. [29] [30]

1) HMD zařízení (Head-mounted Display)

HMD zařízení obecně zahrnují v sobě dvě klíčové součásti. První je pokrývka hlavy se dvěma polarizovanými čočkami, kde každá čočka se směřuje do příslušného oka, díky čemu se vytváří iluze hloubky prostřednictvím stereoskopie. Druhou částí zařízení je systém sledování pohybů hlavy uživatele, kdy podle toho se vždy upraví a přizpůsobí obraz viditelný pro uživatele. [27]

Jako výstižný příklad HMD zařízení můžeme uvést náhlavní soupravu Oculus Rift S. Tento přístroj je vybaven LCD displejem s rozlišením 1280x1440 pixelů (pro každé oko) a 5 senzory Oculus Insight pro lepší pohyb ve virtuální realitě. Pomocí systému počítačového vidění a vizuální setrvačnické simultánní lokalizace a mapování Oculus Insight vytváří 3D mapu prostoru a kombinuje data z gyroskopu a akcelerometru náhlavní soupravy. Správná součinnost těchto systémů umožňuje sensorům sledování polohy HMD zařízení a ovladačů v 6 stupních volnosti, rozpoznávání umístění objektů v prostoru a identifikaci geometrie místnosti. Řízení virtuálního světa napomáhají ovladače Oculus Touch, které zahrnují infračervené LED. Senzory Oculus Insight jsou schopné sledovat polohu každého ovladače. Kapacitní senzory, které jsou vestaveny do ovladačů, dokážou lokalizovat prsty uživatele, díky čemu je možné provádět složité ruční manipulace (gesta). [31] [32]

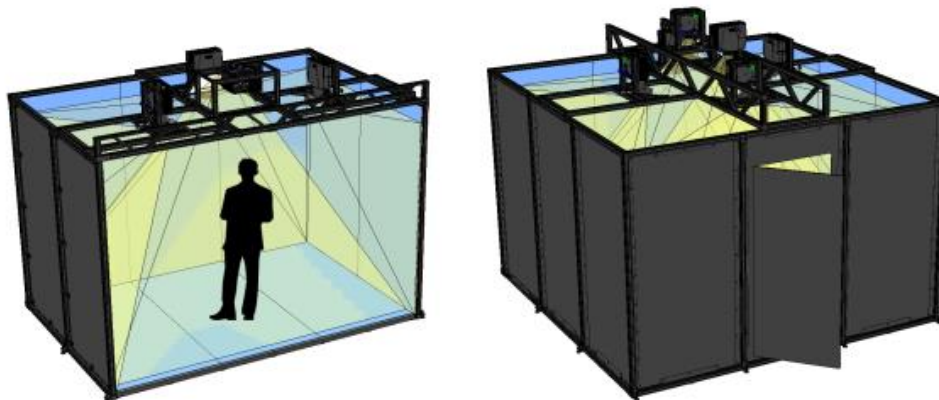
Oculus Rift S je ideálním řešením pro stavebnictví. Toto zařízení je velmi lehké, váží pouze 0,544 kg, je i relativně levné, aktuální cena se pohybuje okolo 14 495 Kč. Do obsahu příslušenství patří pouze jeden kabel pro připojení Oculus Rift S do počítače a v originálním balení nalezneme také dva ovladače Oculus Touch.



Obr. 8: Oculus Rift S [30]

2) CAVE (Automatic Virtual Enviroment).

Systém CAVE reprezentuje malou místnost nebo kabinu, jejíž stěny (někdy podlaha a strop) tvoří zadní projekční plátna. Počítač rychle a střídavě promítá obrazy ve stereoskopickém formátu do každé příslušné obrazovky (stěny místnosti), a tím se vytváří virtuální prostředí, ve kterém se uživatel může zcela plynule pohybovat. Kompletní 3D iluze vzniká za použití speciálních brýlí. Čočky v těchto brýlích se synchronizují s promítanými obrázky, přičemž se otevírají a zavírají speciální uzávěry. K brýlím jsou připojena sledovací zařízení pro potřebnou úpravu promítaných obrázků. Za účelem interakce s virtuálním prostředím lze použít hůlku, datové rukavice apod. Výhodou tohoto systému je velice rozsáhlé zorní pole a možnost současného ponoření více uživatelů do virtuální reality. [27] [33]



Obr. 9: CAVE [33]

4.2. Rozšířena realita (AR)

Rozšířená realita je kombinací reálných a počítačem generovaných obrazů v reálném čase. V rozšířené realitě uživatel je v interakci se skutečným světem, mezitímco se přidává jistý digitální obsah. AR místo poskytování plně uchvacujícího virtuálního zážitku se zaměřuje na vylepšení skutečného světa s použitím obrázků, textů a jiných virtuálních informací prostřednictvím speciálních přístrojů, jako jsou například chytré telefony, tablety, inteligentní čočky a brýle AR (Google Glass).

Nejnámějším příkladem aplikace rozšířené reality je Pokemon Go, kdy miliony lidí po celém světě hledaly virtuální tvory pomocí smartphonů. Ale Rozšířená realita je užitečná nejen pro zábavu, dá se uplatnit i pro jiné účely. Tak společnost IKEA vytvořila vlastní aplikaci AR, která napomáhá znázornit zákazníkům, jak budou vypadat některé produkty v jejich domě ještě před tím, než si to koupí. Aplikace přenáší a propojuje virtuální vzhled vybraného zboží s reálným obrazem obytných prostorů. AR techniky se uplatňují v různých odvětvích, jako například automobilní průmysl, letectví, zdravotnictví a cestování. Technologie VR ponoří uživatele do imaginárního prostředí, kdy uživatel nevidí skutečný svět kolem sebe. Naproti tomu AR umožňuje uživateli pozorovat skutečný svět společně s virtuálními objekty nahrazujícími nebo doplňujícími té reálné. Dá se říci, že AR spíše doplňuje okolní realitu místo toho, aby ji zcela nahrazovala. [34] [35]

4.3. Smíšená realita (MR)

Smíšená realita je o krok dál, než rozšířená realita, protože uživatelé mohou být v interakci s virtuálními objekty umístěnými do skutečného světa, a to v reálném čase.

Technologie MR lze rozdělit do dvou typů:

- Smíšená realita, která začíná skutečným světem.
V tomto případě uživatel zůstává v reálném prostředí, do kterého se vmísí digitální obsah. Virtuální objekty se nejen přidávají do skutečného světa, ale je tam i možnost vzájemné integrace.

- Smíšená realita, která začíná virtuálním světem.
V tomto případě digitální prostředí nahrazuje skutečný svět. Uživatel je zcela ponořen do virtuálního prostředí, ale některé skutečné objekty se přenáší do digitálního pohledu. [34] [35]

4.4. Interakce s virtuální realitou

Součástí virtuální reality je senzorická zpětná vazba. Na základě fyzické polohy uživatelů systém VR poskytuje smysluplnou zpětnou vazbu. V současné době existují prostředí, která poskytují nejen vizuální, ale navíc i hmatatelné (dotykové) zážitky. Pro dosažení interaktivní zpětné vazby technologie VR vyžaduje použití vysokorychlostního počítače jako zprostředkovacího zařízení. Aby bylo možné zajistit informativní výstup spojený s polohou uživatele, systém VR musí sledovat její pohyb. Typický systém sleduje pohyby zúčastněného – alespoň jednu ruku nebo předmět držený v ruce. Pokročilejší systémy jsou schopné sledovat více hlavních tělesných kloubů současně.

Klíčovou součástí virtuální reality je interaktivita. Jednou z forem interaktivity je schopnost ovlivnit počítačový svět. Další formou je schopnost uživatele měnit svůj vzhled ve virtuálním světě.

Pro ovládání objektů, pohyb nebo změny scény ve virtuální realitě jsou využívány speciální zařízení, mezi které patří RGB-D kamery jako např. „Kinect“, 3D myš, datová rukavice, CAT a různé ovladače. Tyto přístroje je zapotřebí zkombinovat se zařízením pro vstup do virtuální reality.

- **RGB-D kamery (kinect)**

„Jedná se o specifický typ zařízení pro snímání hloubky, které pracuje ve spojení s kamerou RGB, jež je schopna rozšířit konvenční obraz o informace o hloubce (v závislosti také na vzdálenosti ke snímači) na základě počtu pixelů“ [36]

V tomto systému může uživatel interagovat s objekty pomocí vlastní ruky. Tento typ přístrojů se skládá ze dvou klíčových prvků: RGB-D kamera a snímač hloubky. Pomocí monochromatického senzoru a infračerveného projektoru se měří vzdálenost každého bodu těla uživatele, a tyto body se neustále sledují. Pro odhad parametru rotace kloubu prstu se aplikuje kinematický algoritmus, díky němuž lze manipulovat virtuálními objekty pomocí pohybů rukou. [37]

- **3D myš**

To je zařízení určené k manipulaci ve virtuálním prostředí umožňující pohyb objektu ve třech na sebe kolmých osách (dopředu/dozadu, doleva/doprava, nahoru/dolu) a zároveň i jeho rotaci (angl. 6 DOF). Toto zařízení může být založeno na principu 2D joysticku a pro pohyb ve třetí ose lze aplikovat vertikální sílu. Druhý typ 3D myši je založen na manipulaci s koulí, která je vybavena 6 senzory. Senzory slouží k zachycení sil a točivých momentů. [38]

- **Rukavice z optických vláken**

Rukavice měří prodloužení prstů pomocí optických kabelů. Světlo prochází kabely do senzorů, kde se měří jeho intenzita, jež rovněž závisí na poloze prstů – skrotí-li uživatel prsty do pěsti, tak se intenzita světla sníží. Pro správné fungování musí být tento druh rukavic překalibrován pro každého uživatele. [38]

- **Rukavice s technologií měření odporu**

Rukavice s technologií měření odporu používají proužky pružného materiálu potaženého elektrickým vodivým inkoustem. Princip fungování je založen na měření elektrického odporu podél proužků, který se mění v závislosti na ohýbání či narovnávaní prstů. Změny odporu sleduje centrální procesorová jednotka, které se následně interpretují do virtuálního prostředí. Nevýhodou tohoto typu rukavic je menší přesnost v porovnání s rukavicemi z optických vláken. [38]

- **Rukavice s technologií Hallova efektu.**

Tento nástroj umožňuje analyzovat informace pomocí senzorů, které jsou umístěny na speciálním exoskeletu. Na rukavici je umístěno zhruba 20 senzorů a 4 senzory navíc na každém prstu. Nevýhodou této technologie je její váha a rozměry. Výhodou je vysoká přesnost rozlišení pohybu, a to až na 0.1°. Jednotlivé senzory fungují na základě Hallova efektu [38] [39]

- **CAT (Control Action Table)**

Dalším přístrojem využívajícím moderních technologií VR je systém CAT. Toto zařízení představuje jakýsi ovládací stolek k manipulacím s 3D modely zobrazenými na plátně před uživatelem. Plošina tohoto stolku může být natáčena různými směry (6 stupňů volnosti - angl. 6 DOF), a prostřednictvím toho se dá různě natáčet i objekt zobrazený na plátně (ovládání rotací). Díky zabudovaným do kloubů senzorům je možné určit aktuální pozici a okamžitě ji přenést do virtuální reality, ve které se nachází vybraný model (objekt). Součástí zařízení je potenciometr, který slouží k zachycení sil působících na plošinu a dokáže je úměrně interpretovat v posun objektu v VR.[38]

5. Využití Virtuální reality

Virtuální realita nám nabízí nové způsoby komunikace, vizualizace a reprezentace procesů a informací. Technologie VR přináší řadu výhod a mohou být aplikovány v různých profesích. V současné době se VR používá v mnoha odvětvích, jako např. sportu, průmyslu, zdravotnictví, vzdělávání, médií atd pro trénink, vizualizace nebo školení personálu.

- Virtuální realita ve zdravotnictví

Virtuální realita se v medicíně a zdravotnictví používá pro simulace chirurgických operací, rehabilitace, psychoterapie, vzdělávání a další. Virtuální realitu můžeme použít pro porozumění důležitých fyziologických principů, vzájemných vztahů anatomických struktur či jako didaktický a zážitkový vzdělávací nástroj. Chirurgové mohou pomocí VR kamery streamovat operaci, což umožní studentům sledovat tuto operaci z první ruky. Nabyté informace si budou moci praktikanti následně vyzkoušet v simulacích, což jim dopomůže si osvojit nové techniky a dovednosti, a to bez rizika zranění pacienta. (Obr.10)

Virtuální realita má dále úspěch i v oblasti terapie pro léčení fobií, PTSD (Posttraumatická stresová porucha). VR umožňuje vyvolání fobie nebo bolestivých vzpomínek v bezpečném prostředí, a tím se dá jednat zbavit strachu, a zároveň nechat si vytvořit nové pozitivní vzpomínky. [40] [41]



Obr. 10: Plánování operace ve virtuální realitě [42]

- Virtuální realita v průmyslu

VR systémy mohou vylepšit výrobní procesy, kvalitu konečného produktu i proces vývoje. To vede ke zkrácení času, snížení nákladů, zvýšení flexibility, zlepšení kvality a bezpečnosti. V oblastech designu produkty VR umožňují společně digitalizovat proces návrhu výrobku a dávají inženýrům nový způsob vývoje produktu. V posledních letech byla technika virtuálního prototypování implementována i do strojírenství. Tato technika nahrazuje fyzické makety, a to z důvodu nižších nákladů a vyšší flexibility. BMW Group využívá VR pro návrh a tvarování svých vozidel, kontrolu funkcí a testování (test drive). (Obr.11) Díky implementaci VR technologie inženýři mohou kreslit, modelovat a montovat prototyp ve více intuitivním 3D prostoru, a tím ušetří čas a cca 6 miliard dolarů, které by potřebovali na konstrukci fyzických modelů vozidel. Společnost Boeing používá VR modely při navrhování interiérů svých letadel.



Obr. 11: Technické revize automobilů ve VR [55]

- Virtuální realita ve vojenském výcviku

Jednou z prvních oblastí praktické aplikace VR byl vojenský výcvik a operace. Simulovaná realita umožňuje umístit vojáka přímo na bitevní pole a následně jej vystavit nejrůznějším situacím. Voják si tak může zlepšovat bojové dovednosti či bojovou taktiku v bezpečném prostředí. Virtuální dimenze navíc umožňuje vzdálené ovládání zbraní a robotů. (Obr.12)

Kromě bitevních situací může VR poskytnout vhodné scénáře i pro výcvikové lety či lékařský výcvik, což je oproti tradičnímu způsobu bezpečnější, efektivnější a méně nákladná metoda [43]



Obr. 12 - Simulace seskoku s padákem (38)

- Virtuální realita ve vzdělávání a školení

Virtuální realita je velmi užitečná v oblasti vizualizace informací pro vzdělávání a různá školení. Díky interakci s daty si studenti lépe zapamatují a pochopí učivo. Implementace VR ve vzdělávání umožní studovat online, aby někdo měl přístup ke všem informacím, aniž by musel být fyzicky přítomen na přednášce/hodině. Jako příklad použití VR technologie ve vzdělávání lze uvést gymnázium J.G.Mendela v Brně, kde učí studenty anatomii oka pomocí VR technologie.

Kromě vzdělávání lze VR technologie použít i při školení pracovníků, a tím přispět ke zlepšení dovedností, připravenosti, znalostí, schopností a bezpečnému chování pracovníků.

6. Využití VR ve stavebnictví

Jednou z hlavních výhod koncepce BIM je zapojení účastníků do projektu v počátečních fázích návrhu. Vhodným prostředkem pro tento účel může být VR. Společnost Berg and Vance v roce 2017 provedla průzkum, kdy se snažila vyhodnotit současný stav využití VR jako rozhodovacího nástroje při navrhování produktů s důrazem na strojírenské podmínky. Podle provedeného průzkumu je virtuální realita „vyspělá, stabilní a co je nejdůležitější použitelná“ v průmyslových odvětvích, a to včetně architektury, strojírenství a stavebnictví. [44]

Autorka této bakalářské práce předpokládá, že technologie VR může být užitečná jak při navrhování, tak i samotném procesu výstavby. V procesu návrhu může být technologie použita pro potřeby krajinářství, hodnocení rizik požáru, realitní služby, v otázce ergonomie a funkční požadavků obytných i neobytných prostorů, světelného designu či designu interiéru. Ve fázi výstavby může VR složit k vyhodnocení stavebních scénářů, BOZP, plánování a sledování stavebních procesů a pro uspořádání a plánování staveniště. [44] [45]

Podle Jeniffer Whyte stavební odborníci mají tendenci využívat VR „na velké složité projekty a na malé projekty s opětovným využitím designu“. U velkých komplexních projektů virtuální vizualizace zlepšuje porozumění technických specifik pro snížení nejistoty a rizik.

Webová společnost CertifyMe.net vyvinula zkušební aplikaci pro Virtuální realitu, aby tím komukoli umožnila získat zdarma školení vysokozdvíhových vozíků. Tato aplikace nabízí školení ve virtuálním světě bez rizik pro pracovníka nebo zboží. [46]

Stavební společnost DPR Construction, která se specializuje na složité a udržitelné projekty a má přibližně 4000 zaměstnanců, již od roku 2010 pracuje s virtuální realitou. V DPR používají HMD zařízení pro zapojení klientů, designérů a ostatních účastníků projektu, kteří mohou sledovat, a pracovat s prostorem ještě před zahájením stavby. [46]

Jedna z největších stavebních společností v USA McCarthy building Companies od roku 2012 zkoumá virtuální realitu pro zlepšení procesů návrhu a výstavby. Poprvé společnost použila BIM pro promítání

administrativních budov do 3D prostoru. V současné době používají Oculus VR pro vizualizaci staveb a ukázkou klientům, jak bude vypadat budoucí stavba a pracovní prostory. Společnost používá virtuální makety budov, software Google Jump a drony k laserovému skenování za účelem poskytnutí 360 stupňové prohlídky pracoviště komukoliv s náhlavní soupravou VR. [46]

Firma Mortenson Construction navrhla vlastní software virtuální reality pro použití na stavebních projektech. K plánování a správě pracovních míst, jako je stavba a přestavba složitých lékařských a průmyslových objektů, společnost využívá HMD zařízení HTC Vive. VR se aplikovalo například při navrhování operačních sálů v nemocnici, aby bylo možné ukázat lékařům, že všechny potřebné nástroje jsou na dosah. [46]

Stavební společnost z Indie Larsen & Toubro hledala nový způsob školení pracovníků s cílem snížení nákladů a zvýšení efektivity. Bylo rozhodnuto ve prospěch technologie VR k vytvoření virtuálních scénářů odpovídajících skutečnému životu pro zefektivnění způsobu vzdělávání svých zaměstnanců v oblasti bezpečnosti. Díky přijatelným investicím bylo vybráno řešení založené na Google Cardboard spárované s aplikací pro chytré telefony Android. Výsledky ukázaly, že povědomí o bezpečnosti vzrostlo o 90 % a náklady na školení pracovníků klesly o 60 %. Také se sedminásobně zvýšila dostupnost tohoto typu školení, a to díky mobilitě (přenosné brýle a smartphone), možnosti připojení offline a nezávisle na místě připojení. [47]

Veřejná společnost Anglian Water's @One Alliance ve Velké Británii, která je zodpovědná za navrhování a výstavbu středisek pro recyklaci vody, převedla své stávající 3D modely do formátu VR pro zlepšení efektivity svých návrhových a stavebních procesů. Používání VR technologie umožnilo pracovníkům identifikovat případné problémy návrhu či výstavby, které dříve při interakci s 3D modelem pomocí jiných metod nebyly zřejmé. Používání VR je také důležitým nástrojem pro spolupráci, kdy členové týmu mají možnost spolu komunikovat a poskytovat okamžitou zpětnou vazbu prostřednictvím VR softwaru, aniž by museli dojíždět na osobní setkání. [47]

7. Hypotéza

Cílem práce je vytipovat oblasti realizace staveb, v nichž může aplikace technologie VR zlepšit efektivitu, bezpečnost nebo rychlost provádění.

Autorka práce předpokládá, že technologie VR bude využitelná v oblastech procesů výstavby, kde běžné zobrazovací techniky (2D displeje nebo plátno) nejsou postačující. Výhodou VR technologií umožňujících stereoskopické zobrazení je vytvoření pocitu prostorové hloubky. Tuto vlastnost se dá využít pro dálkové řízení strojů, trénink složitých nebo nebezpečných pracovních činností, ke školení pracovníků v oblasti bezpečnosti a ochrany zdraví na staveništi.

Pro formulaci této hypotézy je třeba porovnat požadavky na provádění těchto činností s možnostmi technologie VR, zejména v oblasti HW.

V praktické části této bakalářské práce bude popsán návrh HW architektury celého systému Virtuální reality pro vybrané činnosti. Tato část se bude zaměřovat na potenciál, možnosti a případná omezení systému VR v oblasti přípravy a realizace staveb.

Autorka vytypovala 2 etapy výstavby – procesy s odlišnou složitostí a požadavky na přesnost. Na základě nich chce ukázat, že technologie virtuální reality může být aplikována při realizaci stavby na různých etapách výstavby.

- **Zemní práce**

Zemní práce patří mezi rizikové obory z hlediska bezpečnosti a ochrany zdraví. Použitím dálkového ovládání pomocí VR technologie pro řízení strojů můžeme zvýšit bezpečnost této etapy výstavby. Technologie sběru a vizualizace dat v reálném čase a náhlavní souprava pro VR umožní operátorovi dálkové řízení stavebního stroje z bezpečného místa. Jiní pracovníci se nemusí pohybovat v jámě, což by taky přispělo vyššímu stupni bezpečnosti při pracích.

- **Montáž fasády**

Při ruční montáži složitých fasád, případně za ztížených nebo zvláště nebezpečných podmínek, je zpravidla zapotřebí provést simulační nácvik prací před samotnou fyzickou montáží. V tomto případě technologie virtuální reality přináší výhody díky přesnosti virtuální simulace prostředí ve stereoskopickém zobrazení 360°. Použití této technologie jako školicího prostředí přináší několik výhod: možnost opakovaných tréninků, objektivní vyhodnocení výkonnosti pracovníků, lepší a rozšířené znalosti, vizualizace a okamžitá zpětná vazba pro všechny účastníky školení. Autorka se domnívá, že trénink pracovníků před zahájením stavebních prací zvýší efektivitu a bezpečnostní výkon práce. Náklady na provedení tréninku by měly eliminovat náklady spojené s možnými chybami během procesu montáže bez virtuálního tréninku.

8. Praktická část

Virtuální realita není součástí běžné praxe. Tato technologie vyžaduje odborné znalosti pro tvorbu interaktivní simulace, a to z toho důvodu, že většina modelů virtuální reality je vytvořena pomocí předem zaznamenaných dat nebo vymodelovaných objektů. V současné době modely a data, jenž jsou vytvořeny zmíněným způsobem, nemohou reprodukovat měnící se stav staveniště. Teoreticky by takový model mohl být vytvořen z online dat v reálném čase. Při modelování stavebních úkolů ve VR je třeba využít grafické a dynamické vlastnosti.

Existují dvě možnosti pro implementaci reálného světa do VR. První způsob je nejjednodušší – stačí využít jen 360° kameru a software pro přenos videa do náhlavní soupravy. Druhý způsob je složitější a vyžaduje technologie snímání (3D laserové skenery) anebo GPS polohovací systémy pro přesné sledování a určení polohy reálných objektů a pro jejich následnou integraci do virtuálního světa. Tyto technologie jsou schopny poskytnout informace o současném stavu staveniště a také o časoprostorovém umístění strojů a pracovníků.

Správný výběr technologie sběru dat přispěje k vyřešení různých požadavků pro všechny účastníky stavby.

V rámci této bakalářské práce a na základě provedené analýzy autorka navrhuje architekturu HW pro implementaci VR technologie pro vybrané stavební procesy.

Autorka si zvolila 2 příklady stavebních procesů: zemní práce a montáž fasády. Níže jsou podrobně popsány vybrané procesy včetně navrhování potřebného hardwaru pro VR.

8.1. Zemní práce

Prvním stavebním procesem, který vybrala autorka pro svoji bakalářskou práci, je zemní práce. „Zemní práce – práce, při které se zaobírá rozpojováním hornin, přemísťováním výkopků, případně sypaniny, jejich sypáním, včetně jejich případného zhutňování a jinými úpravami souvisejícími a těmito pracemi.“ [48] V přípravné fázi projektu musíme určit způsob těžení zeminy, provést návrh druhu pažení nebo svahování a stanovit způsob zabránění přítoku vody. Výběr správného druhu rýpadla přímo souvisí se způsobem těžení, objemem práce a výškovým dosahem lopaty. Pro bezpečný, plynulý a nerušený průběh zemních prací je třeba staveniště připravit. Proces přípravy staveniště v sobě zahrnuje odstranění stromů, odstranění kořenů a pařezů, sejmutí travních porostů, drnů a humusu. Jsou-li na staveništi již nepotřebné staré objekty, je nutné je také odstranit. Před zahájením zemních prací v terénu musí být vyznačeny polohové, popřípadě výškové trasy podzemního vedení. Všichni pracovníci musí být obeznámeni s podmínkami provedení zemních prací a také s eventuálními překážkami. Plán BOZP se vždy sestavuje pro práce, které mohou jistým způsobem ohrozit život a zdraví pracovníků v průběhu jeho pracovní činnosti. Platí to například pro riziko sesuvu zeminy ve výkopu hloubky víc než 5 metrů, pro bezprostřední nebezpečí utonutí či pád do volné hloubky větší než 10 metrů.

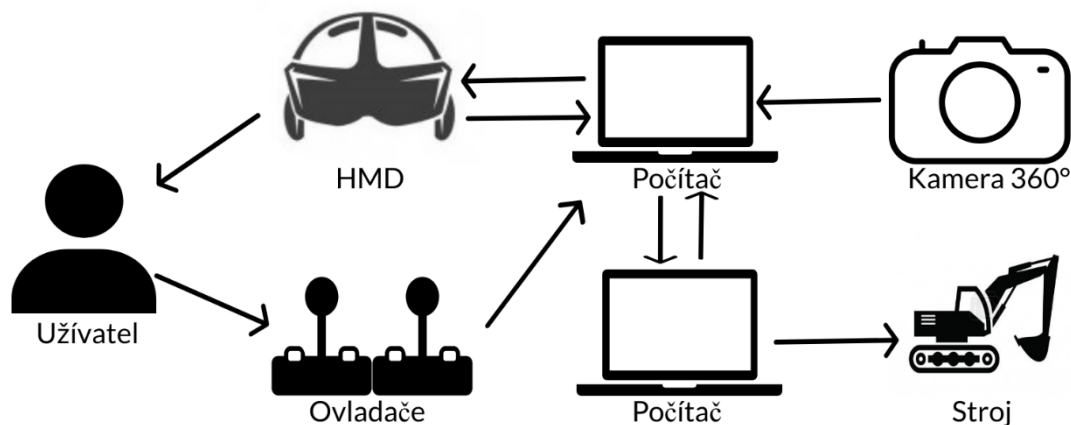
8.1.1 Hardware

V rámci této bakalářské práce autorka popíše, jak lze ovládat tyto stroje pomocí vzdáleného operátora využívajícího technologie VR. Předpoklad potřebného HW bude proveden na základě výzkumu Sekizuka a kol., kteří vyvinuli systém pro vyhodnocení dovednosti obsluhy hydraulického rýpadla.[49]

Pro zajištění dálkového ovládní strojů v reálném čase nejdříve musíme zjistit, jaká vstupní a výstupní data budeme potřebovat a také jaké zařízení budeme muset používat. Pro zachycení skutečného světa na rýpadle musí být namontována 360°kamera nebo více kamer. Při používání více kamer musíme zajistit speciální software, který bude spojovat dílčí zaznamenaná

video do jednoho 360° videa pro zajištění komplexního pohledu na celkovou situaci. Mimoto bychom měli zajistit kvalitní přenos zvuku pro doplnění obrázkové informace. Vybraná kamera musí být proto navíc vybavena mikrofonom. Při používání více kamer by měl být zajištěn zvláštní samostatný mikrofón.

Operátor stroje musí mít HMD zařízení připojené k počítači. V brýlích by se poté zobrazovalo video z kamery. Pro streamování videa je třeba mít přenosovou rychlost minimálně 1 Gb/s, která může být zjištěna pomocí 5G sítě. Rypadlo by mělo být vybaveno počítačem pro přenos zachyceného videa. Pro ovládání rypadla musí být k dispozici sedadlo se všemi potřebnými ovladači. Vybavení musí být připojeno k počítači zapojenému do internetové sítě. (Obr.13)



Obr. 12: Architektura hardwaru pro zemní práce (zdroj vlastní)

Níže autorka popisuje jednotlivé části celého systému potřebné pro virtuální realitu. Pro správné fungování celého VR systému by uživatel měl mít k dispozici:

- **Kameru**

Kamera pro ovládání stavebního stroje v reálném čase musí být levná, voděodolná a kompatibilní s počítačem. Pro tuto práci autorka rozhodla navrhnout kameru Vuze + VR. Tato kamera má osm obrazových snímačů, které jsou uspořádané ve dvojicích po obvodu. Díky tomu je umožněno zachycení skutečných stereoskopických záběrů, natočení stereoskopického 3D videa a také videa na 360° s rozlišením 4K,

snímkovou frekvencí 30FPS a datovým tokem 120Mb/s. Pro zaznamenání zvuku je kamera vybavena mikrofony. Navíc má kamera funkci živého vysílání. Přes USB kabel se v reálném čase přenáší zaznamenávané video do počítače. Kamera je pracho- a vodotěsná. Baterie má kapacitu 3700 mAh. Výdrž baterie je postačující na cca 2 hodiny natáčení videa. Během natáčení uživatel má možnost připojit kameru k externím zdrojům energie, což umožňuje plynulý proces natáčení, aniž by byly nutné přestávky pro nabíjení baterie. Cena této kamery se pohybuje okolo 700\$. Společnost Vuze má svůj vlastní software podporující funkci živého vysílání. K využití tohoto speciálního softwaru musí daný počítač splňovat určité požadavky, mezi které patří. [50]:

- Operační systém Windows minimálně verze 8.1
- CPU s podporou AVX
- 4GB RAM (operační paměť)
- Integrované nebo diskrétní GPU vč. 2 GB RAM
- DirectX 11
- OpenCL 1.2 a novější ovládače

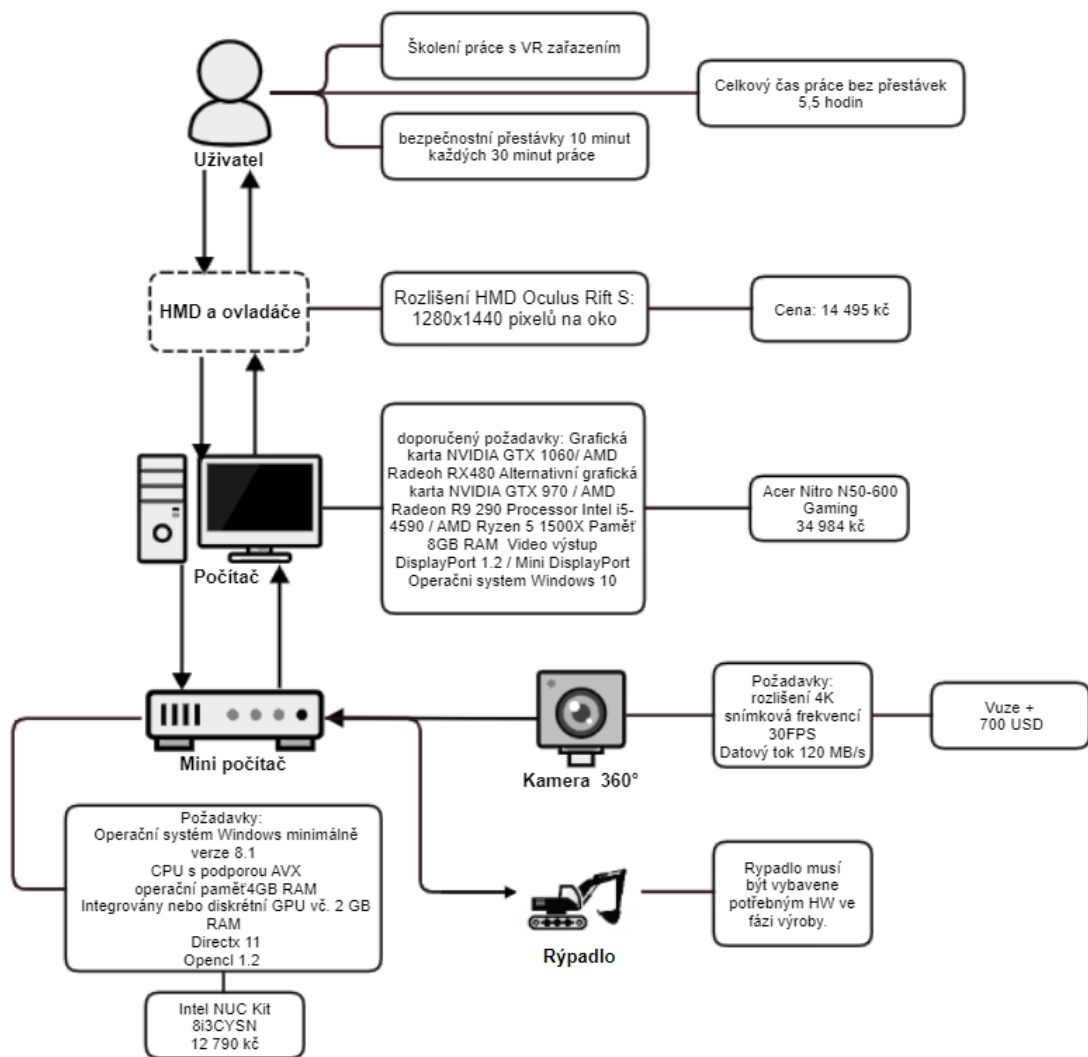
- **HMD brýle**

Důležitou částí celého systému jsou HMD brýle. V současné době existuje mnoho různých druhů s odlišnými funkcemi a rozdílnou cenou. Cena HMD brýlí se pohybuje v cenové hladině od 6 000 Kč do 43 000 Kč. Hlavními kritérii pro výběr náhlavní soupravy jsou cena a připojení k počítači. Výstižným příkladem vysoce kvalitní náhlavní soupravy je headset Oculus Rift S. Tento headset se připojuje k počítači pomocí jednoho kabelu o délce zhruba 5 metrů. Tyto brýle mohou přehrávat videa s rozlišením displeje 2560x1440 pixelů. Přibližná cena zařízení Oculus Rift S je 14 500 Kč.

Minimální požadavky, které musí splňovat počítač pro správnou součinnost s HMD Oculus Rift, jsou následující:

- Grafická karta NVIDIA GTX 1060/ AMD Radeon RX480
- Procesor Intel i5-4590 / AMD Ryzen 5 1500X
- Paměť 8GB+RAM
- Operační systém Windows 10 [30]

Je třeba zmínit, že technologie založené na dálkovém ovládní strojů jsou relativně nové a potřebují jisté zdokonalení. Nicméně už v dnešní době díky dálkovému ovládní strojů je možné řídit stroj z dostatečně vzdáleného bezpečného místa za použití virtuální reality. Například operátor se nemusí nacházet přímo na staveništi pro řízení stavebních strojů. (Obr.14)



Obr.14: Návrh architektury pro zemní práce (zdroj vlastní)

8.2 Montáž fasády

Pro velká okna a prosklené stěny se dají využít kvalitní fasádní systémy. Fasádní systémy pro složité skleněné fasády mohou být rastrové anebo modulové. Modulové fasády jsou maximálně připraveny během výroby. Ve výrobní hale probíhá výroba celého fasádního rámu včetně zasklení a osazení doplňkových prvků. Díky tomu je dosažena vysoká kvalita a zajištěna dostatečná kontrola provedení, přičemž předvýroba celých modulů je nezávislá na připravenosti stavby k montáži. Pro montáž na staveništi se připravené součástky nasazují na stavební konstrukce na předem připravené kotvy, které mohou být zabetonovány nebo osazeny do speciálních kotevních systémů. Nevýhodou tohoto principu je materiálová náročnost a požadavky na prostor pro skladování. Výhodou je vysoká kvalita a nízká časová náročnost na montáž.

Rastrová fasáda se skládá z jednotlivých prvků, které se montují přímo na stavbě. Nevýhodou tohoto systému je nutnost kontroly jednotlivých komponentů a nároky na dodržení vysoké kvality montáže. Jednotlivé prvky se dodávají rovnou na stavenišť. Pro provádění montáže na stavbě musí být předem připravené kotvy, na které se nasazují rastry fasády podle výkresů. Svislé sloupky tvoří hlavní nosnou konstrukci a jsou ukotveny do stavebních konstrukcí. Do vytvořeného rastru se nasazuje těsnění a vkládají se výplňové prvky. Před dokončením montáže se doplňují přítlačné lišty výplně a začišťují se napojovací a přechodové prvky konstrukce.

8.2.1 Software

Technologie virtuální reality se dle autorky zdá být vhodná pro trénink, předvýrobní přípravu a 3D modelování náročných činností, jako jsou například složité fasády. Pro tento způsob využití technologie je zapotřebí vizualizace stavebního projektu a jednotlivých částí fasády.

V současné době pro tvoření 3D modelů, která obsahují grafickou vícerozměrnou a také negrafickou informaci, existuje celá řada různých nástrojů, jenž lze kategorizovat dle funkcí, požadavků atd. Důležitou

kategorií nástrojů pro účely této práce jsou nástroje pro modelování a navrhování:

- Graphisoft ArchiCAD
- Autodesk Revit Architecture
- Trimble MEP DuctDesigner 3D
- Apod.

Pro trénink procesu montáže potřebujeme simulaci, která odpovídá reálným technologickým postupům. V současné době různé společnosti nabízí tvorbu a zavedení simulace podle potřeb zákazníka. Pro tvorbu simulace se používají speciální softwary, například Unity. Platforma Unity umožňuje realizovat projekty ve virtuální realitě. Byla vyvinuta zejména pro game engine (angl. také game architecture, game framework) – softwarový framework zaměřený na počítačové hry. 3D modely a objekty z různých softwarů (např. Revit) mohou být importovány a případně upraveny podle potřeb zákazníka do jedné vybrané platformy k vytvoření simulace.

Proces tvorby simulátorů je velice složitý a skládá se z dílčích kroků:

1) Adaptace školicí skripty

Především musíme zjistit, pro jaké účely simulace bude používána, a podle toho navrhnout obsah školicí simulace.

2) Tvorba 3D prostředí

Dalším krokem je vytvoření interaktivního 3D prostředí. Pomocí softwaru musíme vytvořit nebo importovat 3D model a jeho okolí, který bude odpovídat reálnému světu.

3) Návrh a tvorba výcvikových objektů

Do vytvořeného prostředí bychom také potřebovali přidat objekty, se kterými bude uživatel manipulovat. Například pro montáž fasády musíme vytvořit potřebné nářadí a jednotlivé součásti fasády.

4) Rozhodovací strom a tvorba různých scénářů

Posledním krokem vytvoření simulace je sestavování rozhodovacího stromu a různých scénářů. Rozhodovací strom je jistý nástroj pro rozhodování, ve kterém každá větev reprezentuje výsledek rozhodnutí. Podle tohoto nástroje se vytváří možné scénáře, které jsou ovlivňovány činnostmi uživatele. [51]

Vzhledem k tomu že autorka pro tuto práci nemá přístup k softwaru, potřebnému pro tvorbu školicích simulátoru a potřebnou zkušeností, v dalších odstavcích budou ukázány jen způsoby pro vizualizace 3D modelu ve virtuální realitě.

8.2.2 Hardware

Pro ponoření se do simulace a interakci s virtuální realitou potřebujeme zajistit vhodný HW, do kterého patří HMD zařízení, dva ovladače a počítač. Pro tuto práci autorka vybrala brýle Oculus Rift S. Pro použití tohoto zařízení počítač musí splňovat doporučené požadavky:

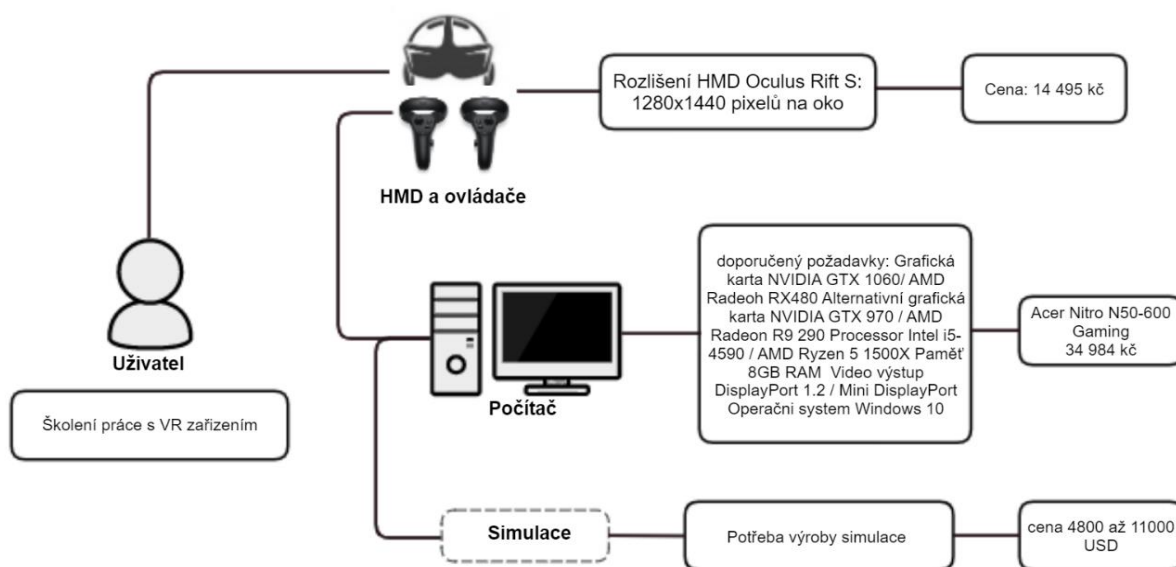
- Grafická karta NVIDIA GTX 1050Ti nebo AMD Radeon RX 470
- Procesor Intel i3-6100 nebo AMD Ryzen 3 1200, FX4350
- Paměť 8GB+RAM
- Operační systém WINDOWS 10 [30]

Pomocí HMD zařízení se pracovník ponoří do virtuálního prostředí, ve kterém se může snadno pohybovat. Interakce se simulací se provádí prostřednictvím joysticků. Pomocí dvou joysticků uživatel dokáže manipulovat s potřebným nářadím a jednotlivými částmi fasády v simulaci. První krok po zahájení simulace – uživatel si musí obléknout vhodný pracovní oděv a použít vhodnou ochrannou pomůcku (vesta, rukavice, apod.). Druhým krokem je přechod do místa montáže, zajištění bezpečnosti a zahájení práce. Při montáži rastrové fasády pracovník nejprve musí osadit, vyrovnat a přikotvit rastrové dílce, do kterých vloží těsnění a výplňové prvky. Následně pomocí gumového kladiva upevní přítlačné lišty.

Ovladače Oculus Touch, se kterými pracují vybrané HMD brýle, jsou velice intuitivní, mají funkci pro infračervenou kalibraci LED a optické sledování. Kamery na náhlavní soupravě sledují pohyb LED, který je spojen s výsledkem axilometru. Díky tomu je dosažena velice přesná manipulace ovladačem. Pomocí kapacitních senzorů jsou ovladače schopné lokalizovat prsty uživatele. Pro sledování polohy uživatele a pohyb ve virtuální realitě jsou brýle Oculus Rift S vybaveny 5 senzory Oculus Insight. Tyto senzory sledují 6 stupňů volnosti, využívají systém počítačového vidění a vizuální

setrvačnou simultánní lokalizaci a mapování. Pomocí těchto vlastností senzory určují umístění objektů v prostoru, identifikují atributy geometrie místností a sledují polohu HMD zařízení a ovladačů. Oculus Insight vypočítávají přesnou polohu uživatele a ovladačů, následně přenášejí příslušné pohyby do VR v reálném čase. [30] [31]

Díky zážitkům, které poskytuje virtuální simulace, pracovníci mají možnost vyzkoušet správný způsob montáže, a navíc budou proškoleni ohledně bezpečnosti práce. (Obr.15)

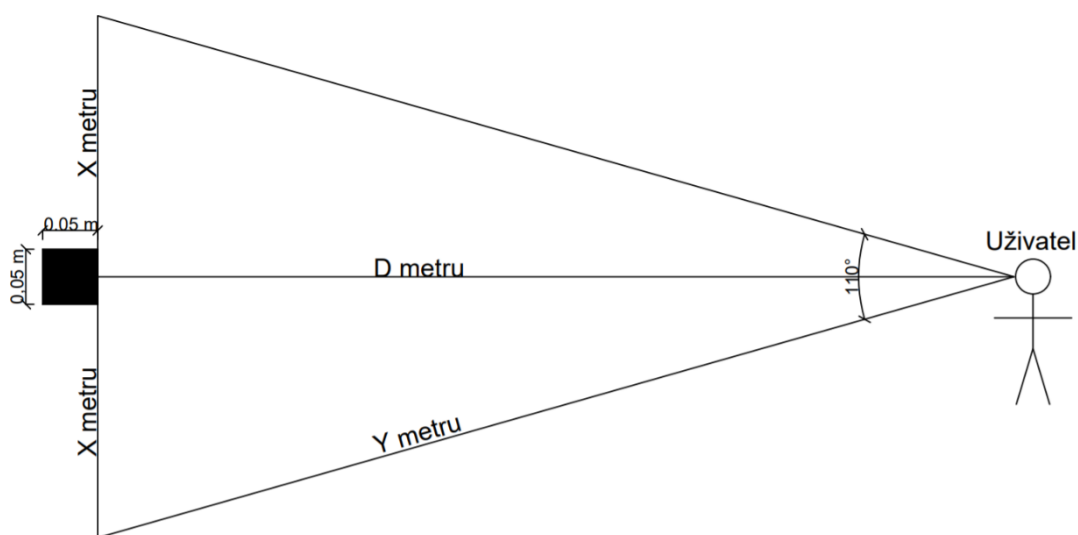


Obr.15: Návrh architektury montáže fasády (zdroj vlastní)

9. Porovnání požadavků na zobrazení detailů

Kvalita zobrazení jednotlivých prvků závisí na rozlišení displeje a použité aplikaci. Kvalita zobrazení prvku, vytvořeného například v aplikaci Revit, se bude lišit na displeji počítače a v HMD brýlích. Vzhledem k tomu, že rozlišení displeje (počet pixelů) je větší než rozlišení HMD zařízení, stejný prvek bude mít odlišnou kvalitu a různý počet pixelů při zobrazení. Aby uživatel byl schopen vidět správné rozměry včetně přípustné tolerance, v rámci této bakalářské práce autorka provede výpočet potřebné kvality zobrazení pro reprezentaci zemních prací ve virtuální realitě. Pro tento účel bude porovnána vzdálenost dosahu lopaty stavebního stroje a kvalita zobrazení kostky o rozměrech 5x5 cm, která byla vytvořena v aplikaci Revit. Rozměr kostky byl vybrán z požadavku na kvalitu provedení zemních prací. Přípustná tolerance provedení stavební jámy je ± 50 mm pro délkovou a šířkovou odchylku a ± 42 mm pro dno výkopu.

Zorné pole v HMD brýlích Oculus Rift má rozptyl 110° a kvalita zobrazení je 1280x1440 pixelů. Pomocí těchto údajů vypočítáme počet pixelů pro zobrazování kostky z různé vzdálenosti. (Obr.16)



Obr.16: Schéma vzdálenosti uživatele od virtuálního objektu (zdroj vlastní)

Vzorec pro výpočet kvality v závislosti na vzdálenosti uživatele:

D – vzdálenost uživatele od kostky(m)

Y – vzdálenost od okraje zorného pole uživatele (m)

X – polovina rozptylu zorného pole (m)

$$Y = D / \cos 55^\circ$$

$$X = \sqrt{Y^2 - D^2}$$

Pro zjištění kvality zobrazení přepočítáme počet pixelů podle následujícího vzorce:

C – počet pixelů pro zobrazení prvku

$$C = (0,05 * 1280) / (2 * X)$$

Dle porovnání požadavků na zobrazení detailů pro vybrané stavební procesy autorka této bakalářské práce porovnává požadavky na zobrazení detailů, vzdálenost pozorovatele a kvalitu těchto detailů ve virtuální realitě.

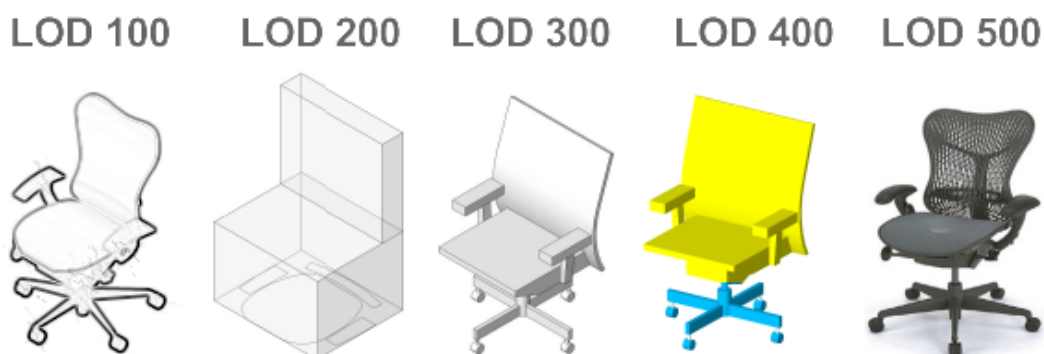
Tab. 2 Výpočet kvality zobrazení (zdroj vlastní)

Stroj (rypadlo)	Vzdálenost dosahu lopaty	Vzdálenost pozorovatele a kvalita zobrazení
Doosan DX140LC-5	Maximální dosah kopání 7660–9380 mm	Vzdálenost pozorovatele je zaokrouhlena na 10 metrů. $Y = 10 / \cos 55^\circ = 17,43 \text{ m}$ $X = \sqrt{17,43^2 - 10^2} = 14,27 \text{ m}$ $C = 0,05 * 1280 / 28,54 = 2,24 \text{ pixelů}$
Doosan DX10Z	Maximální dosah kopání je od 3093 mm do 5520 mm	Zaokrouhlíme-li vzdálenost na 6 metrů, poté výpočet je následující: $Y = 6 / \cos 55^\circ = 10,46 \text{ m}$ $X = \sqrt{10,46^2 - 6^2} = 8,57 \text{ m}$ $C = 0,05 * 1280 / 17,14 = 3,73 \text{ pixelů}$
CAT 300.9D	Maximální dosah kopání je od 2900 mm	Zaokrouhlíme-li vzdálenost na 6 metrů, poté výpočet je následující: $Y = 3 / \cos 55^\circ = 5,23 \text{ m}$ $X = \sqrt{5,23^2 - 3^2} = 4,28 \text{ m}$ $C = 0,05 * 1280 / 17,14 = 7,47 \text{ pixelů}$

Výpočet byl proveden pro tři kategorie rypadel, které mají různý dosah lopaty. Podle maximálního dosahu lopaty jsme schopni vypočítat minimální pozorovací vzdálenost uživatele. Na základě této vzdálenosti byl proveden výpočet pro zjištění minimálně potřebného počtu pixelů. Z tohoto výpočtu vychází, že čím dále se nachází pozorovatel od virtuálního objektu, tím menší počet pixelů je potřebný pro jeho zobrazení.

Mluvíme-li o procesech, u kterých je zapotřebí zobrazení drobných detailů (například při montáži fasády) a kde uživatel je schopen se přiblížit k virtuálnímu objektu, je nutné předem definovat požadovanou úroveň podrobnosti tzv. LOD vytvořeného objektu. LOD – angl. Level of Development neboli Level of Detail – grafická a informační podrobnost modelu. Pro tuto bakalářskou práci bude LOD bráno jako Level of Detail, kdy se zvýšením LOD se zvyšuje i grafická podrobnost prvků. Díky konzultaci se zkušeným pracovníkem se autorka dozvěděla, že skutečné fasády vytvořené v aplikaci Revit mají LOD 300-350 a podle požadavků investora mohou být udělány až v LOD 400-500. Vzhledem k tomu, že simulace musí odpovídat skutečnému procesu provádění, je nezbytně nutné vytvořit kvalitní dílčí prvky konstrukcí. Pro korektní vytvoření simulace ve VR musí být poskytovány modely, které budou obsahovat konkrétní návrh jednotlivých detailů konstrukcí tzv. LOD400.

LOD - Level Of Development



Obr. 17: Přehled LOD [52]

10. Převod 3D modelu do VR

Pro přenos vytvořených 3D modelů do virtuální reality existuje několik speciálních softwarů, které můžeme rozlišit podle náročnosti práce, kvality zobrazení a formy výstupních modelů. Zobrazení modelů se zajišťuje buď v renderování nebo fotorealistické kvalitě. Podle formy výstupního modelu rozlišujeme především:

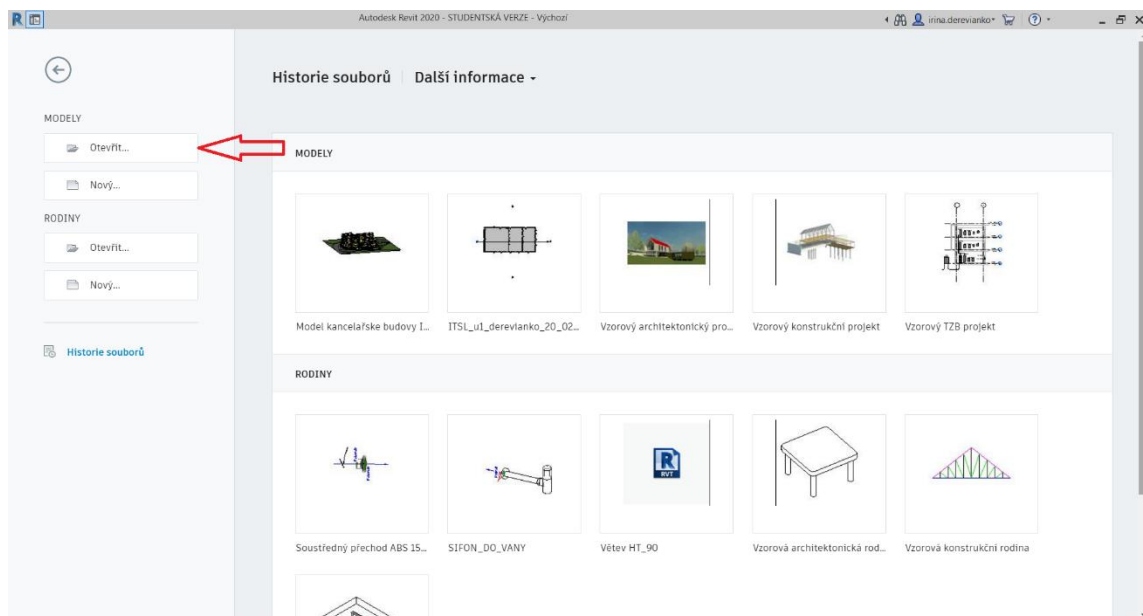
1. **statický panoramatický 360° pohled**, kdy se model zobrazuje z jednoho konkrétního místa. Uživatel se může dívat jen kolem sebe. Tento způsob zobrazení může být použit například pro ukázkou klientovi, jak bude vypadat budoucí stavba.
2. **plně průchozí model**, který poskytuje uživatelům neomezený pohyb uvnitř vytvořeného modelu. Pomocí tohoto způsobu zobrazení se uživatel může podívat na model z jakéhokoliv místa a projít celou budovu. Tento způsob je vhodný pro přehled modelů projektantem, protože poskytuje více vizuálních informací než 2D pohledy/půdorysy/řezy nebo obyčejný 3D pohled. Též může být použit pro ukázkou klientovi.
3. **průchozí interaktivní model**, ve kterém se také můžeme volně pohybovat, a navíc umožňuje získat informace o určitých virtuálních objektech. Tento model stejně jako plně průchozí model poskytuje možnost prohlížení celého modelu a umožňuje uživateli prohlížet kolize, zobrazovat informace o jednotlivých částech a poznámky jiných účastníků projektu. Tento způsob je vhodný zejména pro spolupráci projektantů a jiných účastníků přípravných prací.

Pro účely dané bakalářské práce se autorka rozhodla použít Autodesk Revit a model kancelářské budovy z předmětu ITSL (informační technologie L) po domluvě s vyučujícím předmětu:

- 1) První způsob přenosu 3D modelu v programu Revit je **zobrazení 360° panoramatického pohledu**. Výhodou této metody je relativně levný HW. Uživatel potřebuje mít k dispozici pouze VR brýle, například Samsung Gear VR nebo Google cardboard a smartphone s přístupem k internetu. Další výhodou je to, že nejsou zapotřebí žádné další softwary. Nevýhodou je pohled pouze z jednoho místa.

Detailní popis metodiky po tomto způsobu přenosu Revit-modelu do virtuální reality je následující:

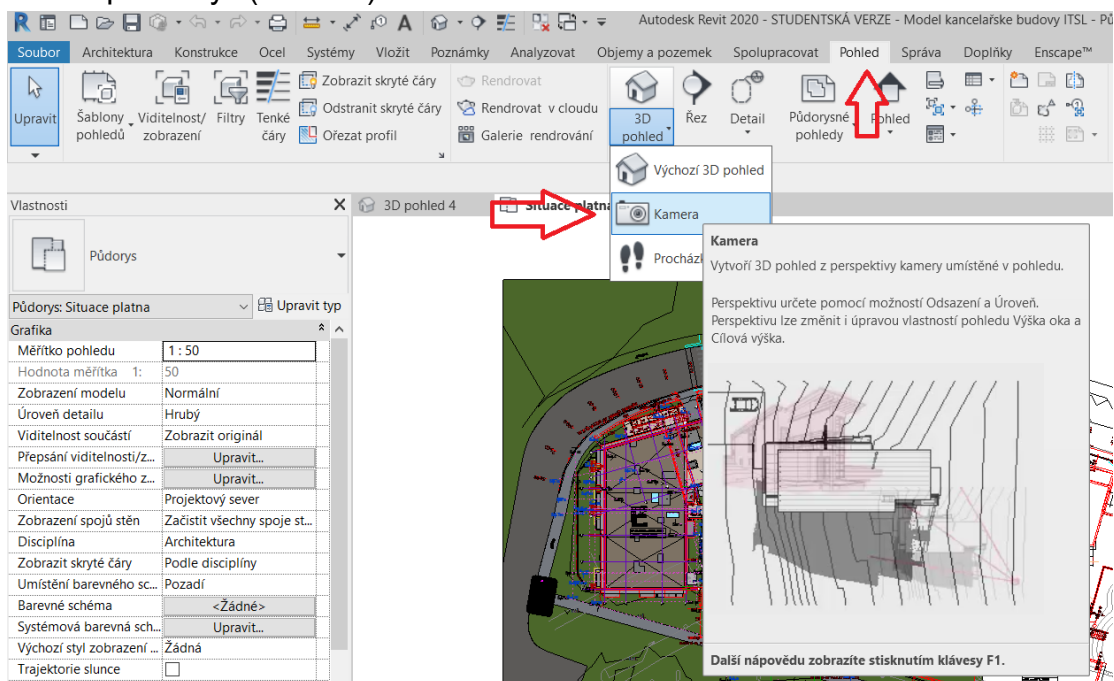
- Po otevření aplikace si nejdříve musíme vybrat mezi otevřením již uloženého projektu, nebo vytvořením nového projektu a otevřením/vytvořením nové rodiny. Autorka se rozhodla pro otevření dříve vytvořeného projektu. (Obr.18)



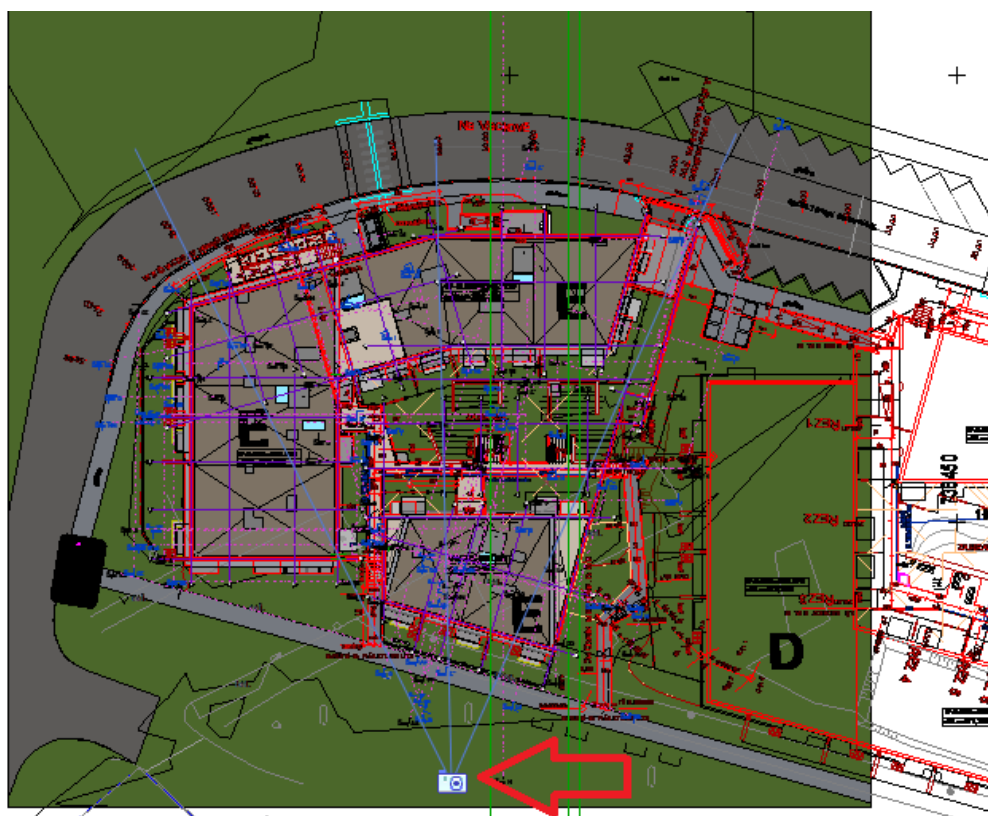
Obr. 18: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 1 (zdroj vlastní)

- otevření projektu máme možnost použít již zpracované pohledy nebo vytvořit si nové 3D pohledy. Pro tvorbu nového 3D pohledu přejdeme do panelu „Pohled“, kde jsou 3 možnosti: „Výchozí 3D pohled“, „Kamera“ a „Procházka“. Pro tuto práci bude použita „Kamera“. (Obr.19) Kameru umístíme v jakémkoli pohledu, například: půdorysu nebo 3D pohledu. (Obr.20) Poté, co

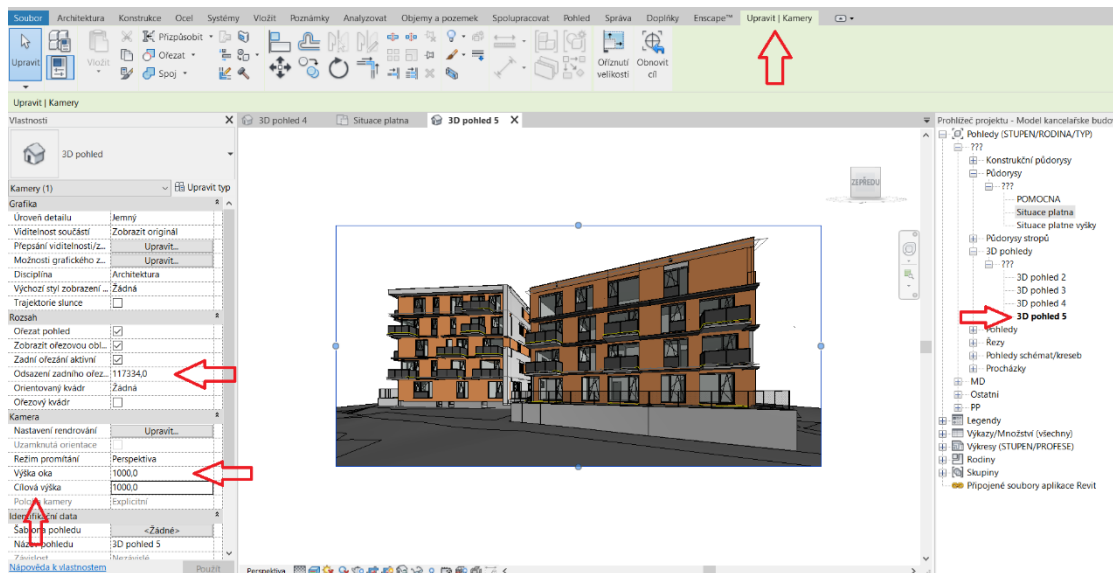
rozmístíme kameru, bude vytvořen nový pohled a zobrazí se panel „upravit | kamery“. V tomto panelu se dají upravovat určité parametry kamery: výška oka, cílová výška atd. Vytvořený pohled se zobrazí v paletě „prohlížeč projektu“ ve složce „3D pohledy“ (Obr. 21).



Obr.19: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 2 (zdroj vlastní)

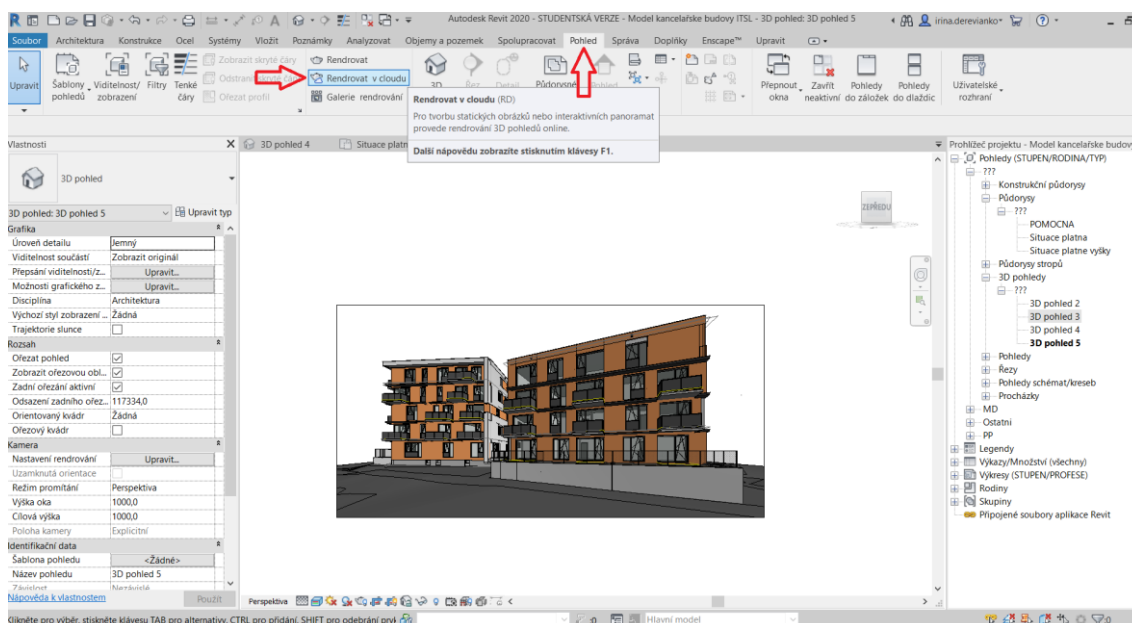


Obr.20: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 3 (zdroj vlastní)

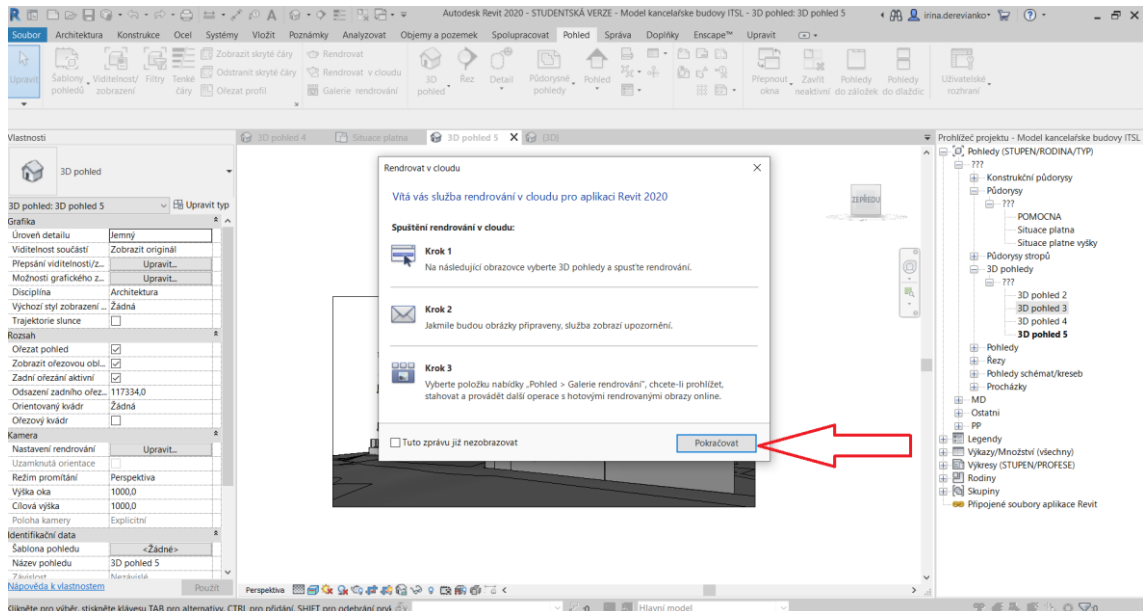


Obr. 21: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 4 (zdroj vlastní)

- Dalším krokem je převod vytvořeného pohledu do panoramatické 360° scény. Pro tento účel přejdeme do záložky „pohled“ a vybereme funkci „renderování v cloudu“. (Obr. 22) Následně se zobrazí okno s dalšími kroky. Stiskneme „pokračovat“. (Obr. 23)

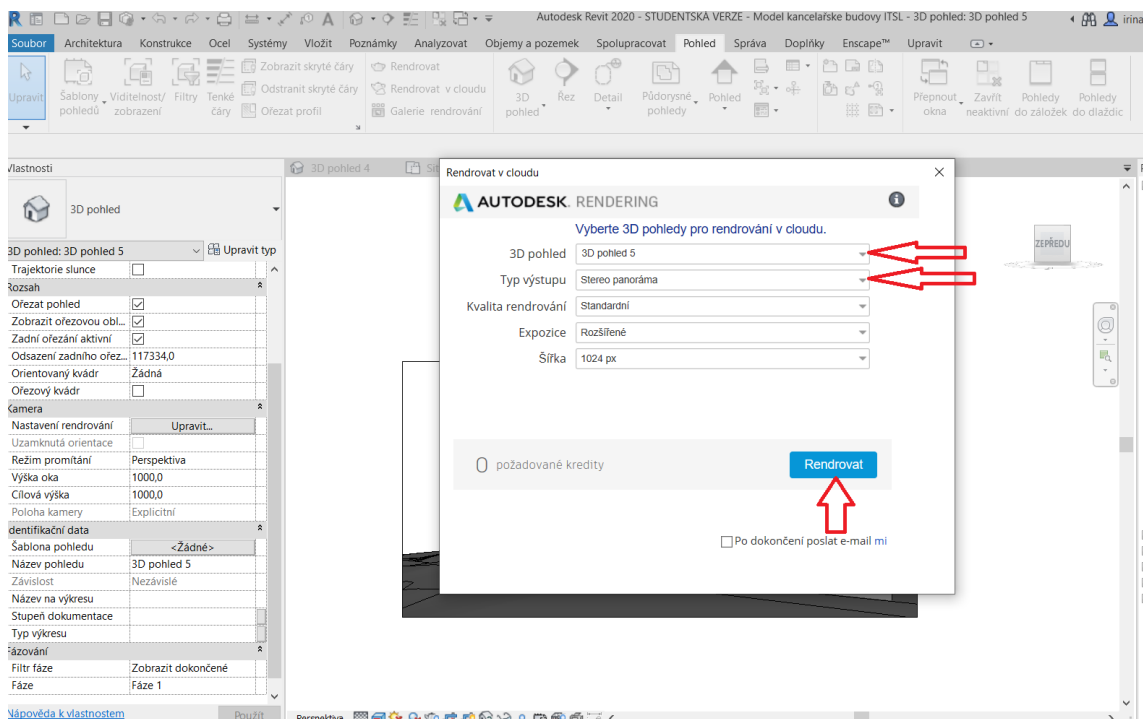


Obr. 22: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 5 (zdroj vlastní)



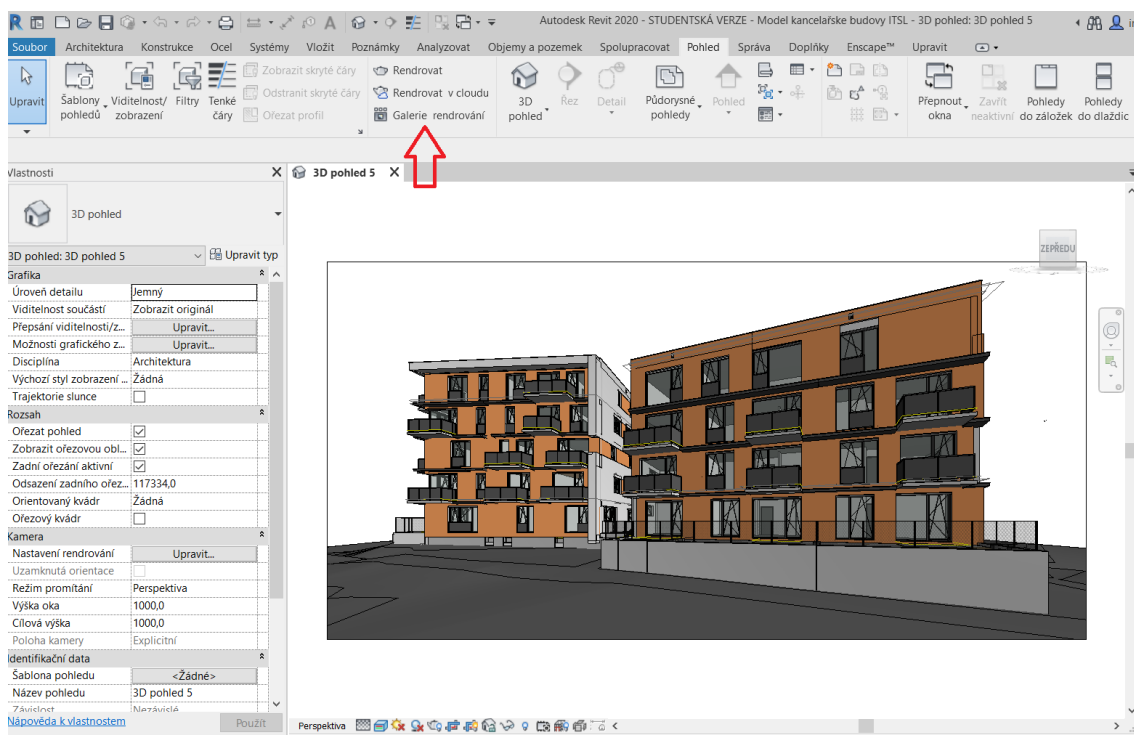
Obr. 23: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 6 (zdroj vlastní)

- Po tomto kroku se zobrazí okno, kde můžeme vybrat potřebný pohled a nastavit jeho vlastnosti: typ výstupu, kvalitu renderování, expozice a šířka. Pro zobrazení 360° panoramy musíme nastavit typ výstupu „Stereo panorama“. A stiskneme „rendrovat“ (Obr. 24)

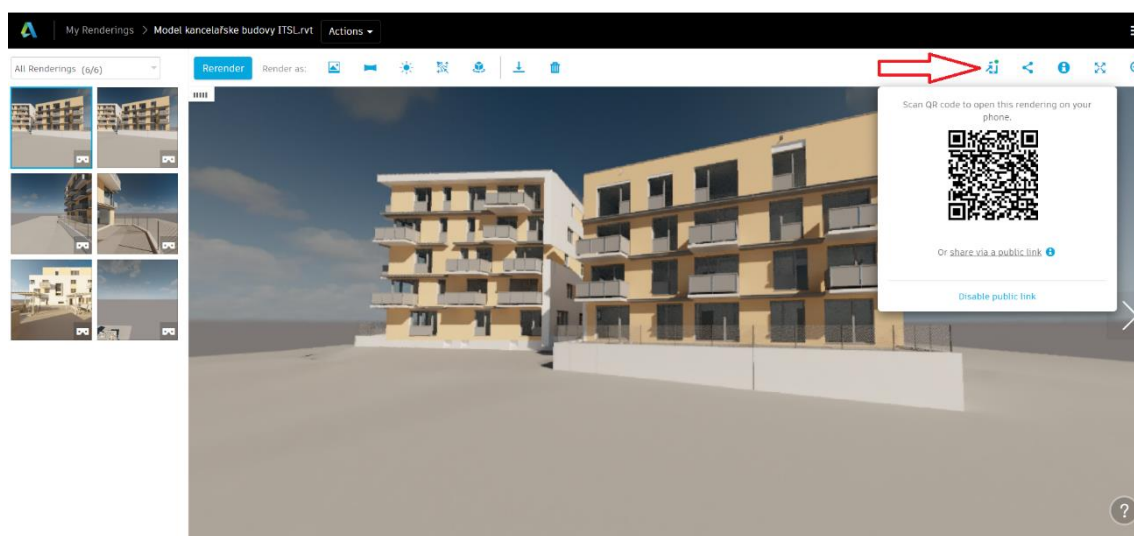


Obr. 24: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 7 (zdroj vlastní)

- Po dokončení renderování jdeme do panelu „Galerie renderování“. (Obr.25) Poté se nám otevře internet prohlížeč, kde si můžeme prohlížet a stahovat panoramatický pohled. Pro zobrazení vytvořeného panoramatického pohledu na chytrém telefonu zmačkneme obrázek mobilního telefonu a naskenujeme vytvořený QR kód. Po naskenování kódu se v chytrém telefonu zobrazí vytvořený pohled. (Obr. 26)



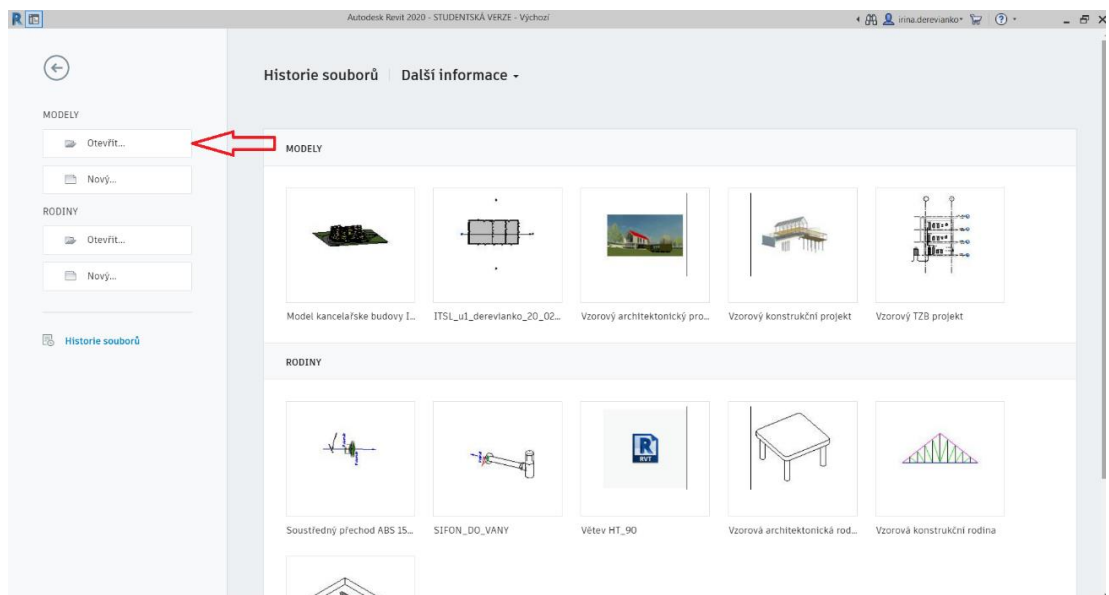
Obr. 25: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 8 (zdroj vlastní)



Obr. 26: Tvorba panoramatického 360° pohledu krok 9 (zdroj vlastní)

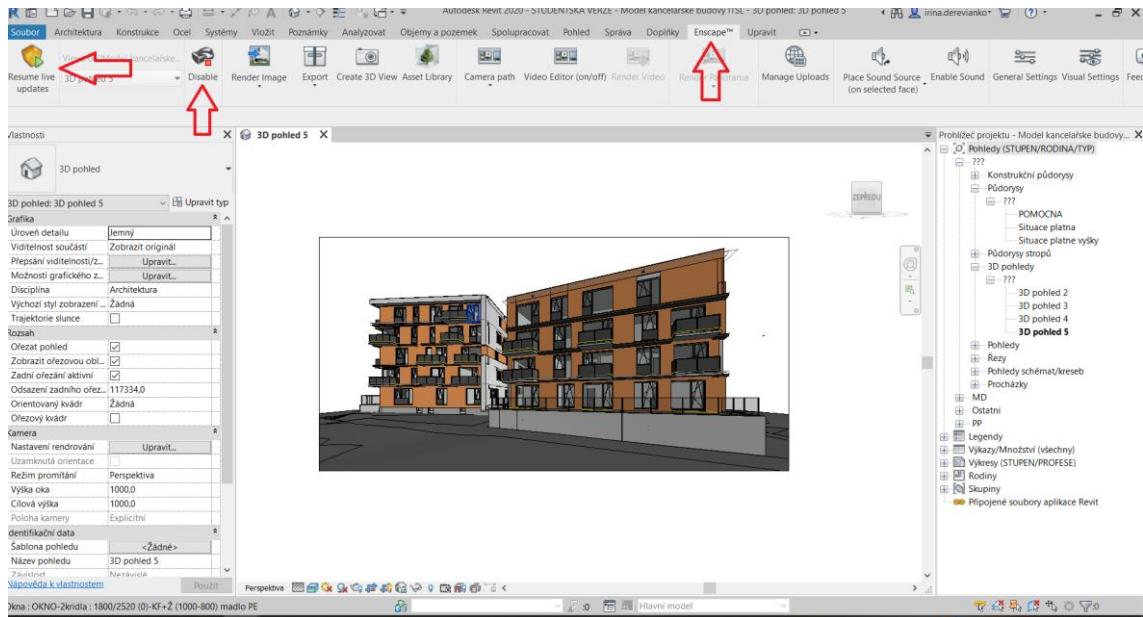
2) Druhou variantou převedení 3D modelu do virtuální reality je **integrace virtuální reality do systému CAD**. Pro toto řešení musíme do aplikace REVIT nebo Sketchup 2020 nainstalovat plug-in Enscape. Je to výhodné a nenáročné řešení pro zavedení 3D modelu do virtuální reality. Enscape poskytuje možnost vizualizace plně průchozího modelů.

- Prvním krokem je otevření aplikace REVIT a volba mezi otevřením předem uloženého modelu, nebo vytvořením nového. Autorka se rozhodla otevřít dříve uložený projekt. (Obr. 27)



Obr. 27: Převed 3D modelů pomocí plug-inu Enscape krok 1 (zdroj vlastní)

- Po otevření modelu musíme dalším krokem vybrat panel „Enscape“. Dále vybrat v panelu nástrojů ikonku z brýle „disable“ a následně „resume Live updates“. (Obr. 28) Po tomto kroku se nám na displeji otevře okno vizualizace, ve kterém se bude zobrazovat plně průchozí pohled stejný s pohledem ve VR brýlích. Pohyb ve virtuálním pohledu probíhá pomocí klávesnice a myši. (Obr. 29)



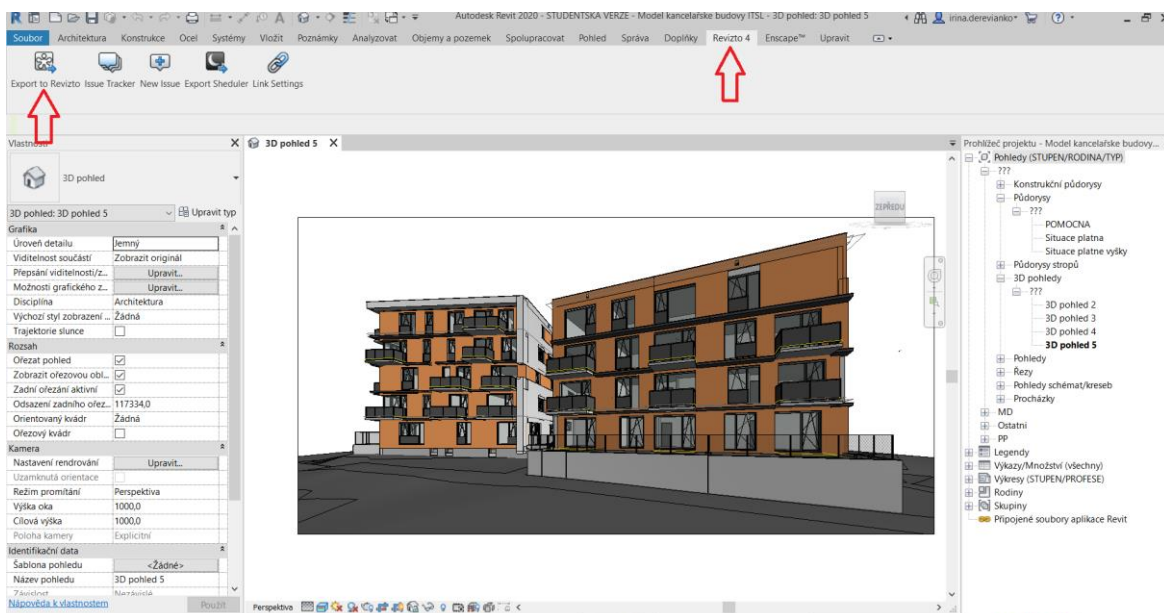
Obr. 28: Převod 3D modelů pomocí plug-inu Enscape krok (zdroj vlastní)



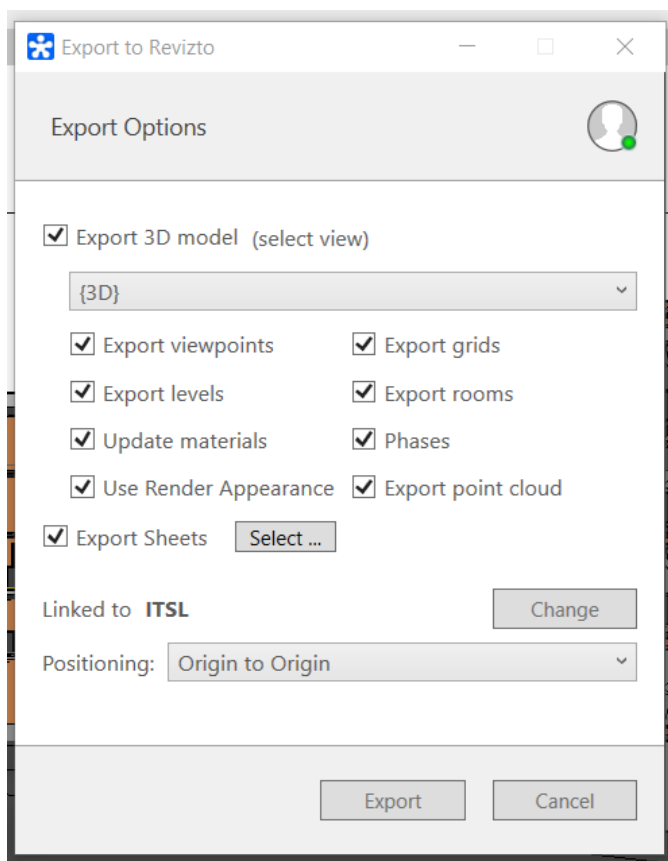
Obr. 29: Převod 3D modelů pomocí plug-inu Enscape krok 3 (zdroj vlastní)

3) Třetí možnost pro převádění BIM 3D modelu do virtuální reality je **použití aplikace Revizto a pluginu Revizto+**. Aplikace má VR podporu 3D nástroje jako je Revit, Navisworks, AutoCAD, Civil 3D, SketchUp, ArchiCAD a Rhinoceros. Výhodou tohoto softwaru je možnost prohlížet projekt a provádět kontrolu kolize a průzkum BIM dat ve virtuální realitě. Aplikace Revizto je určena nejen pro vizualizaci modelu, ale navíc poskytuje možnost týmové spolupráce a komunikace v rámci projektu v reálném čase.

- Prvním krokem je export REVIT modelu do aplikace Revizto. Pro tento účel přejdeme do záložky „Revizto 4“ a na panelu vybereme ikonku „Export to Revizto“. (Obr.30) Po tomto kroku se otevře nové okno, ve kterém můžeme zvolit, co přesně chceme exportovat, a stiskneme tlačítko „export“. (Obr.31)

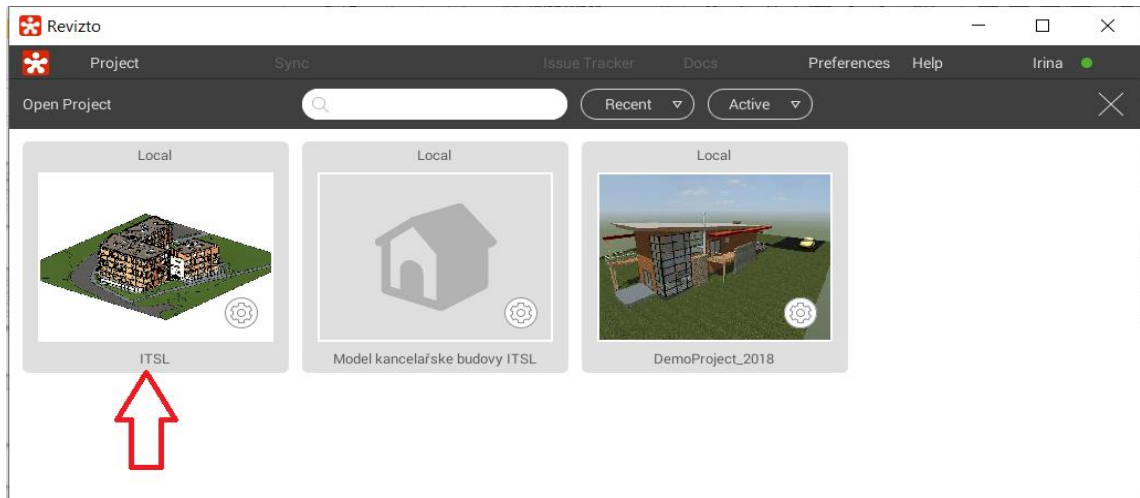


Obr. 30: Převod modelu pomocí aplikace Revizto krok 1 (zdroj vlastní)



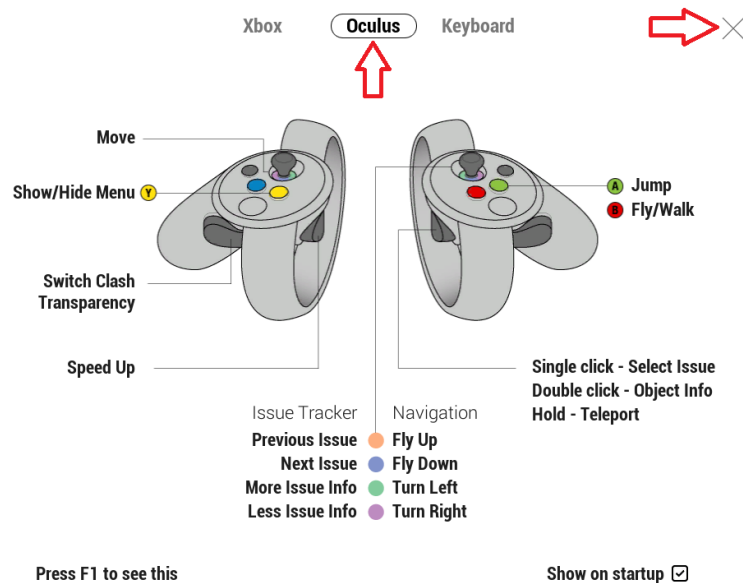
Obr. 31: Převod modelu pomocí aplikace Revizto krok 2 (zdroj vlastní)

- Po dokončení exportu otevřeme aplikaci Revizto Oculus Viewer a exportovaný model. (Obr. 32)



Obr. 32: Převod modelu pomocí aplikace Revizto krok 3 (zdroj vlastní)

- Interakce s modelem může být prováděna pomocí ovladače Oculus Touch, klávesnice a myši nebo ovladače Xbox. Zvolíme si potřebný ovladač a zavřeme okno výběru. (Obr. 33)



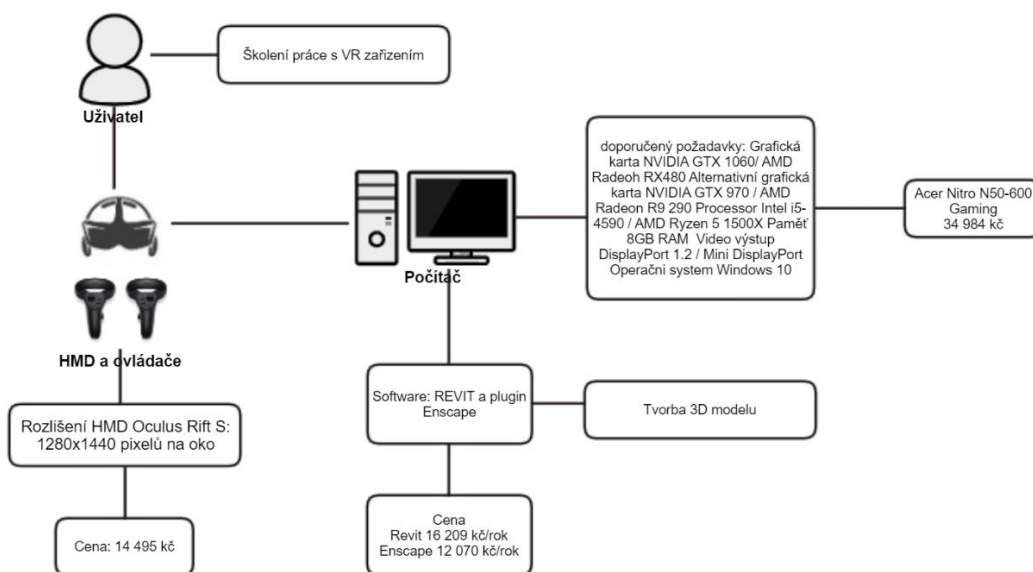
Obr. 33: Manuál pro ovladače v aplikaci Revizto (zdroj vlastní)

- Po tomto kroku se v brýlích a na displeji počítače zobrazí plně průchozí model. (Obr.34)



Obr. 34: Procházka budovou ve VR (zdroj vlastní)

- 4) Existuje i další možnost přenosu 3D modelu do VR, která bude jen krátce popsána v této části práce, a to z důvodu nemožnosti získat studentskou licenci. Pro tento způsob přenosu je nutné použít jeden z následujících nástrojů post-processingu: 3DS MAX společně se STINGRAY nebo REVIT a REVIT LIVE od společnosti Autodesk. Tato metoda umožňuje dosáhnout vysoce kvalitní vizualizace modelu. Nevýhodou je náročnost této metody. Práce s těmito nástroji klade velké nároky na zkušenost pracovníků a mimo jiné je časově náročnou metodou. (Obr.35)



Obr. 13: Návrh architektury pro převod Revit modelu do VR (zdroj vlastní)

11. Diskuze

Podle provedeného průzkumu můžeme konstatovat, že v současné době nejsou technologie virtuální reality ve stavebním oboru připraveny pro širokou implementaci. Tato technologie vyžaduje připravenost softwaru a vysoce výkonný HW.

Pokud uvažujeme o vzdáleném řízení strojů, potřebujeme, aby výrobce vybavil své stroje potřebným hardwarem ještě ve fázi výroby. Společnost Doosan, která jedna z prvních představila tuto technologii, uvedla, že: „Poslední test ukazuje, že stavební stroje lze ovládat kdekoli na světě prostřednictvím vzdáleného připojení, které otevírá obrovské možnosti do budoucna“. [53] Z tohoto výroku lze usoudit, že technologie je použitelná, ale potřebuje ještě zdokonalit.

Uvažujeme-li o virtuální realitě jako školícím nástroji, lze konstatovat, že tato technologie není příliš náročná na HW, nicméně vyžaduje přípravu zvláštního softwaru. Na bázi výsledků provedeného průzkumů ohledně možnosti použití technologie VR pro trénink složitých manuálních činností lze usoudit, že z hlediska nákladů (cenová politika výroby simulace se pohybuje v rozmezí 4900 až 11000 USD) a časové náročnosti na vypracování simulace není vhodné aplikovat tuto metodiku na nestandardizované stavby. Každá stavba je unikátní, avšak se vždy najdou shodné procesy a pracovní postupy, pro které bude tato technologie přínosná.

V současnosti má technologie virtuální reality největší význam v oblasti vizualizace pro prohlížení modelů architektury nebo pro ukázkou klientům. Převod 3D modelu do VR není složitý pro realizaci. Pro přehled modelu ve VR můžeme použít jak HMD brýle, tak i smartphone a jednoduché brýle, například Google Cardboard atd. Pro tento účel existuje více různých softwarů, které mohou poskytnout odlišné výstupy, buď to statické panoráma, nebo plně průchozí model.

Závěr

V současné době je technologie Virtuální reality používána v různých oblastech, např. v lékařství, průmyslu, vojenském výcviku, vzdělávání atd. Používání virtuální reality v těchto oblastech ukázalo, že tato technologie přináší mimořádné výhody oproti tradičním způsobům vizualizace a reprezentace procesů a informací.

V první části této bakalářské práce jsou představeny jednotlivé druhy dimenzí, jejich specifikace a rozlišení. Rovněž byly popsány fyzické, digitální a analogové nástroje pro zobrazení jednotlivých dimenzí. Čtenář se také seznámil s technologií pro tvorbu obsahu.

Druhá část bakalářské práce se zabývá vysvětlením pojmu virtuální realita, rozšířená realita a smíšená realita. Rozlišení těchto pojmů je důležité pro pochopení odlišných principů fungování zmíněných technologií. Nedílnou součástí jsou zařízení pro vstup a interakci s virtuální realitou.

Vzhledem k tomu, že se tato bakalářská práce zabývá implementací technologie virtuální reality, tak součástí této části práce jsou též příklady využití uvedené technologie v různých oblastech života. Příklady současné implementace a využití technologie virtuální reality ve stavebnictví jsou popsány v samostatné kapitole.

Další část bakalářské práce se zabývá možností použití technologie pro vybrané stavební činnosti. Na základě hypotézy autorka této práce popsala možnosti implementace VR technologie na etapě zemních prací a montáže složitých fasád. V této části práce jsou také ukázány způsoby a jednotlivé kroky pro zavedení 3D Revit modelu do virtuální reality.

Z výsledků práce vyplývá, že technologie VR je použitelná, ale v současné době není připravena pro širokou implementaci ve stavebnictví. Implementace technologie VR ve vybraných procesech potřebuje vysoce výkonný HW a vhodný SW, což se odráží na vysokých finančních nárocích.

Seznam literatury:

- [1] „2D,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/2D>.
- [2] W. Robitza, „3D Vision: Technologies and Applications“.
- [3] Daniel Smalley, Ting-Chung Poon, Hongyue Gao, Joshua Kvavle, Kamran Qaderi, „Volumetric Displays: Turning 3-D Inside-Out,“ Copyright © 2020, [Online]. Available: https://www.osa-opn.org/home/articles/volume_29/june_2018/features/volumetric_displays_turning_3-d_inside-out/.
- [4] „CO JE 3D STEREOSKOPIE?,“ © Copyright 2005-2011 GALI-3D, s.r.o., [Online]. Available: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-princip-3d/>.
- [5] „AKTIVNÍ 3D STEREOSKOPICKÁ TECHNOLOGIE,“ © Copyright 2005-2011 GALI-3D, s.r.o., [Online]. Available: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-aktivni-3d/>.
- [6] „3D TECHNOLOGICKÁ KNIHOVNA - Pasivní 3D stereoskopie,“ © Copyright 2005-2011 GALI-3D, s.r.o., [Online]. Available: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-pasivni-3d/>.
- [7] „3D POLARIZAČNÍ MODULÁTOR (aktivně-pasivní projekce),“ [Online]. Available: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-3d-modulator/>.
- [8] „3D AUTO-STEREOSKOPICKÉ MONITORY (3D bez brýlí),“ © Copyright 2005-2011 GALI-3D, s.r.o., [Online]. Available: <http://cs.gali-3d.com/autostereoskopie-3d/>.
- [9] „3D TECHNOLOGICKÁ KNIHOVNA - Anaglyf (červeno-modré 3D brýle),“ [Online]. Available: <http://cs.gali-3d.com/stereoskopie-anaglyf-3d/>.
- [10] „Malířství,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Mal%C3%AD%C5%99stv%C3%AD>.
- [11] „Grafika,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Grafika>.

- [12] TOM HARRIS, „Jak kamery fungují,“ [Online]. Available: <https://electronics.howstuffworks.com/camera.htm>.
- [13] „Stereofotoaparát,“ [Online]. Available: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Stereofotoapar%C3%A1t>.
- [14] „ntchosting,“ [Online]. Available: <https://www.ntchosting.com/encyclopedia/multimedia/3d-graphics/>.
- [15] „MAPT.,“ 24 10 2014. [Online]. Available: <http://mart-museum.ru/personnel/3d/>.
- [16] „BIM Point,“ [Online]. Available: <https://www.bim-point.com/a-co-je-vlastne-ten-bim&language=1>.
- [17] „360-degree video,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/360-degree_video#cite_note-4.
- [18] „10 things I wish I knew before shooting 360 video,“ [Online]. Available: <https://www.cnet.com/how-to/360-cameras-comparison-video-things-to-know-before-you-buy/>.
- [19] S. Mamdaní, „Understanding Video Resolutions,“ 16 11 2015. [Online]. Available: <https://www.borrowlenses.com/blog/understanding-video-resolutions/>.
- [20] „4K resolution,“ [Online]. Available: https://en.wikipedia.org/wiki/4K_resolution.
- [21] D. Brunner, „Frame Rate: A Beginner’s Guide,“ [Online]. Available: <https://www.techsmith.com/blog/frame-rate-beginners-guide/>.
- [22] „What Is Video Bitrate? 4 Things You Need To Know,“ [Online]. Available: <https://moviemaker.minitool.com/moviemaker/what-is-video-bitrate.html>.
- [23] „Complete List of VR Camera Systems 2019,“ 07 2019. [Online]. Available: <https://delight-vr.com/blog/complete-list-of-vr-cameras-2019/>.

- [24] J. Mejer, „DETU Twin review,“ 19 10 2017. [Online]. Available: <https://camerajabber.com/detu-twin-review/>.
- [25] [Online]. Available: <https://theta360.com/en/about/theta/z1.html>.
- [26] P. G. M. a. P. G. FUCHS, Virtual reality: concepts and technologies. 2e édition, Boca Raton, FL: CRC Press, 2011.
- [27] W. R. SHERMAN a A. B. CRAIG, Understanding Virtual Reality : Interface, Application, and Design., San Francisco: CA: Morgan Kaufmann, 2003.
- [28] T. S. M. H. T.S. Mujber, „Virtual reality applications in manufacturing process simulation,“ *Journal of Materials Processing Technology*, č. ISSN 0924-0136, 2004.
- [29] E. Lombardo, „Study of an Interactive and Total Immersive Device with a Personal 3D Viewer and Its Effects on the Explicit Long-Term Memories of the Subjects,“ *Virtual, Augmented and Mixed Reality*, č. e-ISBN 978-3-319-07458-0, 2014.
- [30] „Rift S,“ [Online]. Available: https://www.oculus.com/rift-s/?locale=en_US.
- [31] A. k. O. L. Joel Hesch, „FB Artificial intelligence,“ [Online]. Available: <https://ai.facebook.com/blog/powered-by-ai-oculus-insight/>.
- [32] J. STRICKLAND, „Virtual Reality and the CAVE,“ Copyright © 2020 HowStuffWorks, a division of InfoSpace Holdings, LLC, a System1 Company, 2020. [Online]. Available: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear2.htm>.
- [33] „VisCube™ M4, M5,“ [Online]. Available: <http://www.visbox.com/products/cave/viscube-m4/>.
- [34] „The Difference Between Virtual Reality, Augmented Reality And Mixed Reality,“ [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/quora/2018/02/02/the-difference-between-virtual-reality-augmented-reality-and-mixed-reality/#5e10751a2d07>.

- [35] „The Important Difference Between Virtual Reality, Augmented Reality and Mixed Reality,“ Bernard Marr, [Online]. Available: <https://www.forbes.com/sites/bernardmarr/2019/07/19/the-important-difference-between-virtual-reality-augmented-reality-and-mixed-reality/#5460271835d3>.
- [36] „IGI Global DISSEMINATOR of KNOLEDGE,“ [Online]. Available: <https://www.igi-global.com/dictionary/human-motion-analysis-and-simulation-tools/50427>.
- [37] T. H. a. W. W. Gabyong Park, „Hand Tracking with a Near-Range Depth Camera for Virtual Object Manipulation in an Wearable Augmented Reality,“ *Virtual, Augmented and Mixed Reality* , č. LNCS 8525, 2014.
- [38] P. F. Hervé Mathieu, „Manual motor interfaces,“ v *VirtualReality: Concepts and Technologie*, CRC Press, Taylor & Francis Group, 2011.
- [39] J. Strickland, „Virtual Reality Clothing,“ [Online]. Available: <https://electronics.howstuffworks.com/gadgets/other-gadgets/VR-gear4.htm>.
- [40] „Virtual reality treatment for Post Traumatic Stress Disorder,“ [Online]. Available: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-healthcare/ptsd.html>.
- [41] „How virtual reality is shaping the healthcare industry,“ [Online]. Available: <https://www.vrbound.com/features/how-virtual-reality-is-shaping-the-healthcare-industry>.
- [42] „Fighter pilots invented a revolutionary way for surgeons to peer inside people's skulls,“ [Online]. Available: <https://www.businessinsider.com/virtual-reality-brain-surgery-2016-7>.
- [43] „Virtual Reality in the Military,“ [Online]. Available: <https://www.vrs.org.uk/virtual-reality-military/>.
- [44] C. Bonton, „Supporting constructability analysis meetings with Immersive Virtual Reality-based collaborative BIM 4D

simulation," *Automation in Construction*, Sv. %1 z %2page 1-15, č. ISSN 0926-5805, 2018.

- [45] T. A. a. L. I. G. Bouchlaghem N., „VIRTUAL REALITY APPLICATIONS IN THE UK's," 1996.
- [46] „6 Companies Changing Construction With VR," [Online]. Available: <https://vrroom.buzz/vr-news/business/6-companies-changing-construction-vr>.
- [47] „How are construction companies worldwide using AR and VR," 9 srpen 2019. [Online]. Available: <https://www.immotef.com/news/2019/8/9/how-are-construction-companies-worldwide-using-ar-and-vr>.
- [48] ČSN 73 3050 - *Zemní práce. Všeobecné ustanovení.*; říjen 1987 - únor 2010 (neplatná).
- [49] I. M. S. S. Y. Y. a. K. Y. Sekizuka R, „System to Evaluate the Skill of Operating Hydraulic Excavators Using a Remote Controlled Excavator and Virtual Reality. *Front. Robot. AI* 6:142. doi: 10.3389/frobt.2019.00142," 2020 01 09. [Online].
- [50] „Humaneyes," [Online]. Available: <https://www.humaneyes.com/collections/vuze-camera/products/vuze-plus-camera>.
- [51] „How Much Does VR Training Simulator Development Cost?," [Online]. Available: <https://www.avrspot.com/MUCH-VR-TRAINING-SIMULATOR-DEVELOPMENT-COST/>.
- [52] „Jak zvolit úroveň LOD," [Online]. Available: <https://www.bimfo.cz/Aktuality/Jak-zvolit-uroven-LOD.aspx>.
- [53] „Doosan showcases 5G remote excavator in Munich," [Online]. Available: http://www.koreatimes.co.kr/www/tech/2019/04/133_266855.html.
- [54] „Press Releas," 2020. [Online]. Available: https://www.doosan.com/en/media-center/press-release_view/?id=20171901&page=3&.

[55] „VR Applications: 21 Industries already using Virtual Reality,“
[Online]. Available: <https://virtualspeech.com/blog/vr-applications>.

Seznám tabulek:

TAB. 1: ROZLIŠENÍ DISPLEJE (ZDROJ VLASTNÍ)..... 25

TAB. 2 VYPOČET KVALITY ZOBRAZENÍ (ZDROJ VLASTNÍ)..... 53